

特輯 : 용접재료의 연구개발 동향

표면처리 강판용 MAG 용접재료의 개발동향

方國守·金雨烈

Developments of MAG Welding Wires for Surface-treated Steels

Kook-soo Bang and Woo-yeol Kim



방국수/부경대학교/
1955년생/철강 및 비철
재료의 용접성 및 용접재
료 개발



김우열/부경대학교/
1946년생/브레이징, 솔
더링의 삼입금속 개발 및
열교환기 제조

1. 서론

아연도금 강판 (Zn계, Zn-Fe계, Zn-Ni계 등), 도장처리 강판, 유기복합도금 강판 등 표면처리 강판의 사용량 및 사용비율은 자동차, 건설, 용기, 가전 기기 등의 분야를 중심으로 지속적으로 증가하여, 일본의 경우 1989년에 벌써 1,730만 톤을 사용하여 전체 조강 사용량의 약 16%를 점유하고 있다¹⁾. 더구나 보수의 최소화 (maintenance free)나 재활용 (recycling)이라는 사회적 요구로 볼 때 이들 강판의 수요는 금후 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이러한 표면처리 강판의 용접에는 현재까지 점용접이 주종을 이루고 있으나 최근 자동차, 건축 등의 분야에서 아크용접을 적용하는 곳이 늘어나고 있다. 자동차 분야의 경우 차체에서는 구조상 점용접이 어려운 부분 (front, rear member 등)이나, 일부 부품 (front, rear suspension 등)에서 아크용접이 적용되고 있다²⁾.

표면처리 강판을 아크 용접하면 용접시의 가열에 의한 도금 층의 용융 및 증발에 따라 다음과 같은 특유의 문제가 생긴다. ① 피트 (pit), 기공 (blowhole) 등과 같은 기공결함의 발생, ② 아크의

불안정 및 스파터의 발생, ③ 아연 흄 (fume)의 발생. 이 중 특히 기공결함은 용접이음부의 강도부족이나 비드 외관을 해치기 때문에 큰 문제로 된다. 본 해설에서는 표면처리 강판의 아크 용접시 발생하는 기공결함의 발생원인과 대책을 개략적으로 살펴보고, 기공억제를 위한 용접재료 측면에서의 연구·개발 성과를 소개하고자 한다.

2. 기공결함의 발생원인

아연도금 강판에서의 기공결함은 맞대기 (butt) 용접에서는 잘 생기지 않으나 겹침 필릿 (lap fillet) 용접에서 많이 발생한다. 강판의 도금 층을 일부 제거하여 상하 강판 중 어느 강판이 결함발생의 원인이 되는지를 조사한 결과, 적어도 한 강판에 도금 층이 존재하면 기공이 발생한다고 보고되고 있다³⁻⁴⁾. 또한 상하 강판의 밀착정도에 따라서도 영향을 받아 두 강판이 밀착하여 있으면 기공이 많이 발생하지만 간격 (gap)을 설치하면 발생이 저하한다는 사실도 보고되고 있다. Figure 1에 와이어 송급속도가 각각 5, 6, 7m/min인 경우 간격에 따른 기공 발생율의 예를 나타내었다⁵⁾. 이러한 사실로

부터 기공은 용접아크 열에 의하여 접침부의 강판 사이에 존재하는 아연이 기화하여 아연증기로 용융금속 층에 방출된 후, 응고시에 부상·이탈되지 못하고 남은 것으로 추측된다. 접침 필릿 용접금속에 잔류한 기공결함을 Fig. 2에 모식적으로 나타내었는데 상하 강판 접침 부분의 단부로부터 용접비드 표면을 향하여 부상한 형상을 나타내고 있다. 이러한 기공의 내벽면을 EDX로 분석하면 아연의 농도가 관찰된다는 보고도^{4,6)} 이런 발생기구를 뒷받침하고 있다.

이상과 같이 기공의 발생기구는 대략적으로 유추가 가능하나 실제상황은 좀 더 복잡하다. 접침 필릿이음부의 상하 강판 사이에 도금 층 대신 아연箔 (10 μ m 두께, 아연부착량 약 70g/m² 상당)을 삽입하여 용접한 경우에는 기공이 전혀 발생하지 않는다는 실험결과가 보고되고 있다³⁾. 이러한 결과는 기공발생이 아연의 존재 그 자체뿐만 아니라 존재상태에도 영향을 받는다는 것을 의미한다. 大谷 등은³⁾ 도금 강판의 조도를 쇼트 블라스트 (shot

blast)을 이용하여 대폭 변경한 시험편 (전기아연도금 강판, 부착량 50g/m²)을 사용하여 기공의 발생을 조사하였다. Figure 3에서 보는 것처럼 기공발생의 정도는 표면조도에 따라 다르다. 즉 표면조도가 작을수록 기공발생이 작아 평균조도가 0.1 μ m의 경우 일반 냉연강판과 동일한 수준을 나타내고 있다. 그들은 이러한 이유를 표면조도가 용융아연의 배제에 영향을 미치기 때문이라고 설명하였다. 즉 도금 층의 아연은 모두 증발하여 용융금속 층으로 방출되는 것이 아니라 일부는 용융단계에서 배제되는데, 이 배제과정에 표면조도가 영향을 미친다고 설명하였다. 따라서 도금 층의 종류가 달라 용융온도에 차이가 나면 기공발생도 큰 영향을 받을 것으로 판단된다.

이상의 재료적인 측면뿐만 아니라 용접시공 조

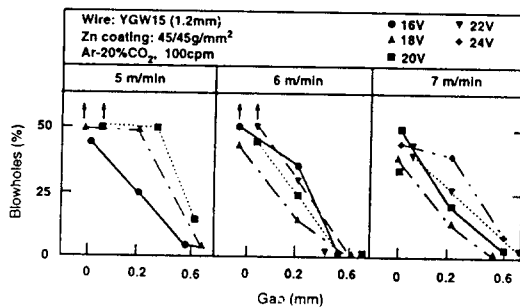


Fig 1. Effect of gap amount on the occurrence of blowholes⁵⁾

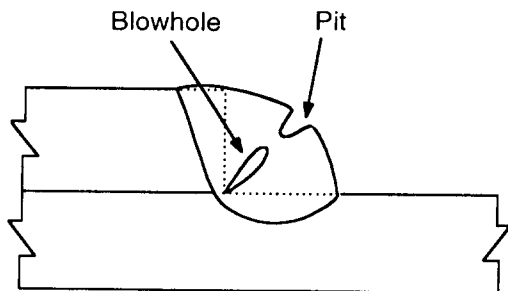


Fig 2. Schematic illustration of blowhole and pit in a weld joint

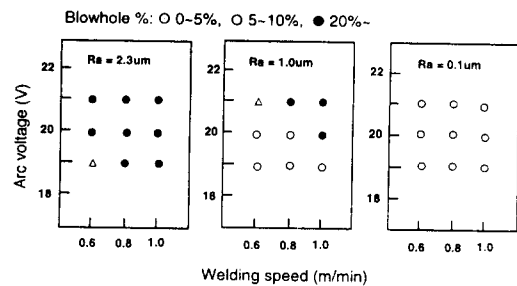


Fig 3. Effect of surface roughness on the occurrence of blowholes³⁾

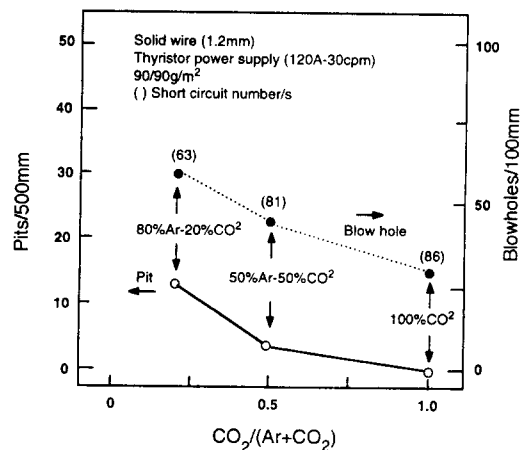


Fig 4. Effect of shield gas composition on the occurrence of blowholes and pits¹⁾

건도 기공발생에 영향을 미친다. Figure 4에 시일드 (shield) 가스 조성에 따른 기공발생 경향을 나타내었다³⁾. 그림에서 보는바와 같이 Ar과 CO₂의 혼합가스 보다 100% CO₂ 가스를 사용한 경우가 기공발생이 적다. 이것은 CO₂ 성분이 증가할수록 용융금속의 교반이 활발하여 기공의 부상이 촉진되기 때문으로 알려져 있다. 그러나 혼합가스에서도 아크가 대단히 안정한 경우에는 아연증기가 쉽게 빠져나가 기공발생이 적어지는 경우도 있다. 용접속도의 영향에 대하여서는 Fig. 5에 한 예를 나타내었다⁴⁾. 그림에서 보는바와 같이 용접속도가 40cm/min 이상이 되면 피트가 급증한 후 50~60cm/min 이상에서 거의 포화하고 있음을 나타내고 있다. 이 외에도 용접전류가 증가할수록, 용접 자세가 수평자세에서 입향하진자세가 될수록 기공발생이 증가한다고 알려져 있다⁶⁾. 용접전원으로서 는 일반적으로 펄스전원이 사용되는데 펄스전원의 종류에 따라서도 기공발생이 영향을 받는다고 알려져 있다. 이상에서 개략적으로 살펴본 바와 같이 표면처리강판의 기공결합에는 사용하는 강판,

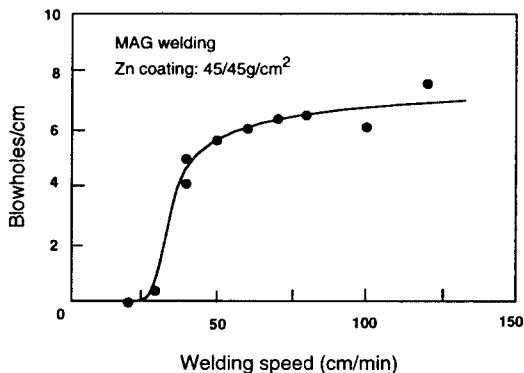


Fig 5. Effect of welding speed on the occurrence of blowholes⁴⁾

용접시공 조건, 전원 등이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 각 요인에 대한 세심한 주의가 필요하다.

3. 아연도금 강판용 MAG 용접재료

기공결합 억제를 위한 용접재료 측면에서의 연구개발도 활발하여 일본을 중심으로 전용의 용접재료가 개발되고 있다. Shinoda 등은⁷⁾ 용융아연도금 강판 (도금층 두께 60~70 μ m)에 표면장력이 다른 두 종류의 솔리드 와이어를 사용하여 80%Ar-20%CO₂ 분위기로 MAG용접을 행한 후 기공결합 발생을 조사하였다. Table 1에 사용한 와이어 및 용접금속의 화학성분을 나타내었다. 용접전류를 180A로 일정하게 유지하여 아크전압을 13~22V로 변경하며 용접한 후, 비드 20mm에 존재하는 기공과 피트의 면적변화를 조사한 결과를 Figs. 6과 7에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 기공과 피트의 면적이 와이어 A에서는 아크전압 15~21V에 걸쳐 많이 존재하는데 비하여 와이어 B에서는 21V에 가까운 고전압 측에서만 조금 존재한다. 이러한 차이를 나타내는 이유를 그들은 와이어의 표면장력 차이로 설명하였다. 즉 Fig. 8에서 보는바와 같이 와이어 B는 A에 비하여 낮은 표면장력을 나타낸다. 고속도 VTR을 사용하여 용융지의 흐름을 관찰한 결과, 표면장력이 낮은 와이어 B에서는 용융금속의 대류가 용융지 바깥에서 안쪽으로 일어나며, 또한 바닥에서는 응고계면을 따라 큰 대류가 일어나 기공의 부상분리가 쉬워져 기공결합이 감소한다고 하였다. 한편 酒井 등은⁸⁾ 기공의 발생과 성장을 억제한다는 좀 더 적극적인 시도를 행하고 있다. 즉 와이어의 Mn, Si를 증가시켜 용융금속의 점도를 높이면 기공의 성장이 억제되어 결

Table 1. Chemical compositions of welding wires and deposited metals⁷⁾

		C	Si	Mn	P	S	O
Welding wires	Wire A	0.03	0.87	1.42	0.013	0.019	0.005
	Wire B	0.05	0.51	1.01	0.017	0.018	0.010
Deposited Metals	Wire A	0.07	0.51	1.03	0.019	0.017	0.031
	Wire B	0.07	0.28	0.71	0.021	0.016	0.047

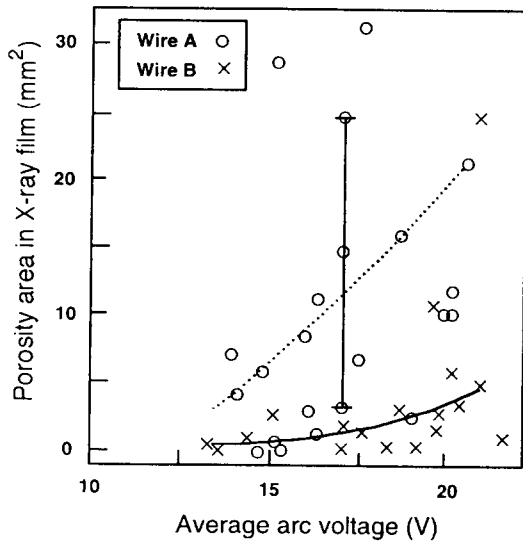


Fig. 6. Effect of arc voltage on the occurrence of blowholes⁷⁾

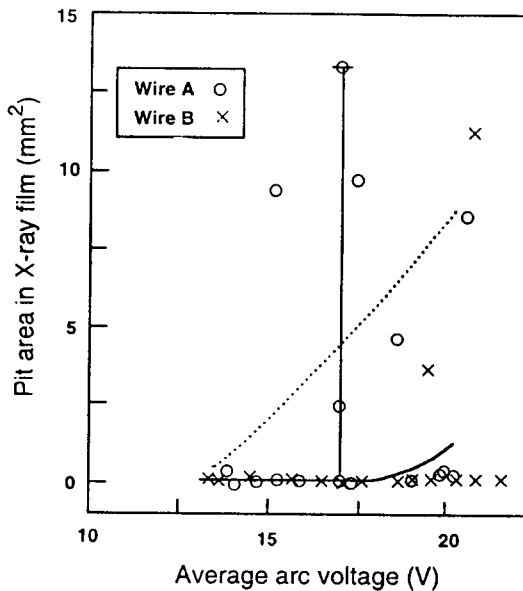


Fig. 7. Effect of arc voltage on the occurrence of pits⁷⁾

함발생을 억제시킬 수 있다고 하였다. 그들은 이러한 결과를 토대로 펄스 MAG용 “아연도금강판용 솔리드 와이어”의 개발을 보고하고 있다. 직경 1.2mm의 개발 와이어를 사용하여 80%Ar-20%CO₂

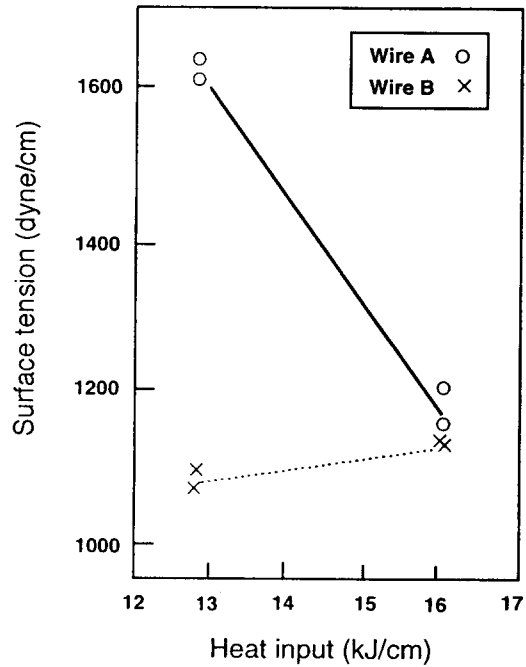


Fig. 8. Effect of heat input on the surface tension⁷⁾

분위기에서 펄스전원을 사용하여 용접조건 240A-120cm/min로 접침 필릿용접한 경우의 기공과 피트 발생정도를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 통상의 솔리드 와이어 (JIS YGW 12)에 비하여 기공결함, 특히 기공이 대폭 저하되었음을 볼 수 있다.

솔리드 와이어 뿐만 아니라 CO₂용접에 적용되는 메탈게 플럭스 코어드 와이어도 개발되고 있다. 藍田 등은⁶⁾ 부착량이 대단히 많은 합금화 용융아연도금 강판 (90/90g/mm²)을 사용하여 통상의 솔리드 와이어 (JIS YGW 12)와 메탈게 플럭스 코어드 와이어 (JIS YFW 24)로 표준용접조건 (1.2mm ϕ , 120Ax60cm/min, CO₂)으로 용접한 후, 비드 500mm 중의 피트 수 및 100mm 중의 기공의 수를 측정하였다. 그 결과 메탈게 플럭스 코어드 와이어가 피복층으로 용접한 경우와 비슷하게 아주 적은 기공결함을 나타내었다고 보고하였다. 이것은 메탈게 플럭스 코어드 와이어가 솔리드 와이어에 비하여 용입이 작아 아연증기의 발생이 적고, 슬래그의 생성도 솔리드 와이어 정도에 불과하여 아연증기의 방출이 용이하며, 또한 아크의 단락상

태가 안정하여 용융금속의 교반이 양호하기 때문이라고 하였다. Figures 10~12에는 상기 표준용접 조건으로 thyristor 용접전원을 사용하여 90/90g/m² 도금강판에 용접한 경우 와이어 플럭스 중의 C, Ti, P, S, Mn, Si 성분이 기공발생에 미치는 영향을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 C, Ti, P의 증가는 기공의 저감에 유효하나, Mn, Si의 영향은 크지 않다. 이러한 이유로서 C는 단락수를 증가시켜 아연증기의 부상을 촉진하기 때문이며,

Ti는 용융금속의 점도를 증대시켜 기공의 발생·성장을 억제시키기 때문이라고 하였다. 한편 P의 효과에 대하여서는 P가 Zn과 화합물을 형성하여 기공발생을 억제하기 때문이라고 하였다. Figure 13에는 이러한 결과를 토대로 개발한 "아연도금강판용 메탈계 플럭스 코어드 와이어"의 내기공성을 통상의 솔리드 와이어와 비교하여 나타내었다⁵⁾. 그림에서 보는바와 같이 메탈계 플럭스 코어드 와이어의 피트 발생수는 솔리드 와이어에 비하여 약 1/10로 감소하고 있다. 더구나 스파터의 발생량도 약 1/2로 감소한다. 이러한 와이어의 장점은 통상

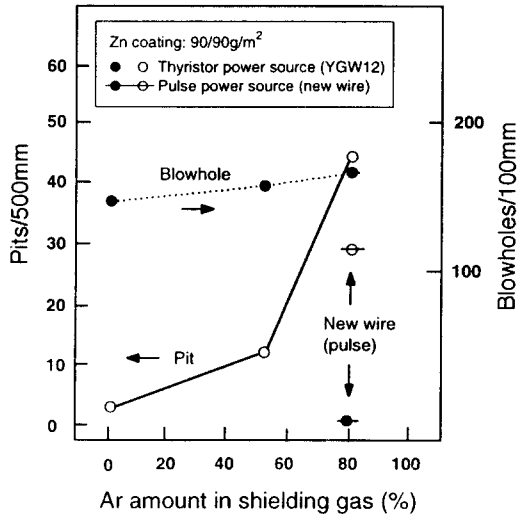


Fig 9. Comparison of blowholes and pits formation between conventional and newly developed wires⁵⁾

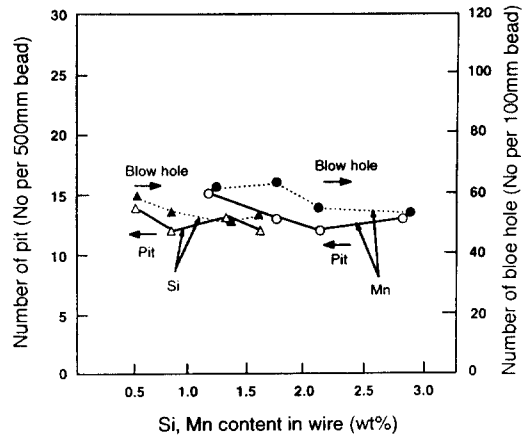


Fig 11. Effect of Si and Mn on the occurrence of blowholes and pits⁵⁾

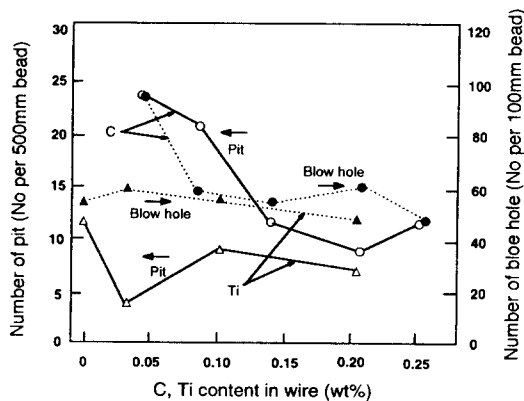


Fig 10. Effect of C and Ti on the occurrence of blowholes and pits⁵⁾

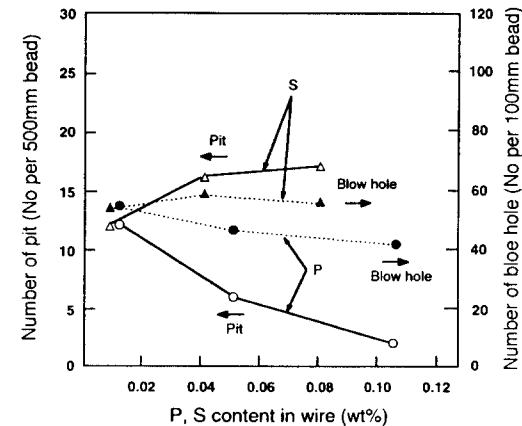


Fig 12. Effect of P and S on the occurrence of blowholes and pits⁵⁾

의 용접전원에서 충분히 발휘되지만 인버터 방식의 전원과 조합하여 사용하면 그 효과가 특히 크다고 한다.

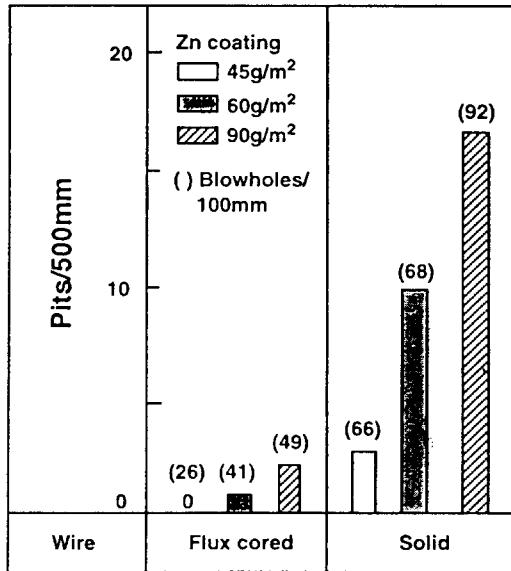


Fig 13. Comparison of blowholes and pits formation between flux cored and solid wires⁹⁾

4. 페인트도장 강판용 MAG 용접재료

조선, 교량 등에 사용되는 shop primer 도장 강판도 필릿용접을 행하면 피트나 기공 등의 기공성 결함이 많이 발생하여 문제가 된다. 따라서 기공 결함을 방지하기 위하여 일반적으로 용접속도를 제한하거나 혹은 도장을 제거하기도 한다. 대표적인 shop primer는 무기zinc primer와 washer primer로 이들이 전체 primer의 90% 이상을 점유하고 있다. 이들 primer는 용접 중에 분해하여 각종 가스를 생성하는데 생성가스의 조성 및량은 primer의 종류와 두께에 따라 다르다. Table 2에 무기zinc primer와 washer primer 분해시 생성되는 가스의 조성 과량의 예를 나타내었는데 이들 여러 가스 중에서 기공의 형성에는 H₂가스의 영향이 가장 크다고 한다¹⁰⁾.

常富 등은¹¹⁾ primer 도장강판의 기공결함이 수소에 기인한다는 점에 착안하여 용접금속 수소량이 피트발생에 미치는 영향을 조사하였다. 피복재 중

Table. 2 Composition and amount of thermally dissociated gases¹⁰⁾

	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	ml/mg
Washer primer	48.3	-	0.1	-	51.6	-	0.703
Inorganic primer	50.8	-	tr.	0.1	49.1	-	0.064

합수광물인 sericite (SiO₂ 49%, Al₂O₃ 32%, K₂O 8%, 결정수 5%)의 함유량을 변경한 용접봉을 사용하여 수평 필릿용접을 행한 후, 용접금속 중 모든 기공의 수, 길이 2mm 이상의 기공의 수, 그리고 피트의 수를 조사한 결과를 Fig. 14에 나타내었

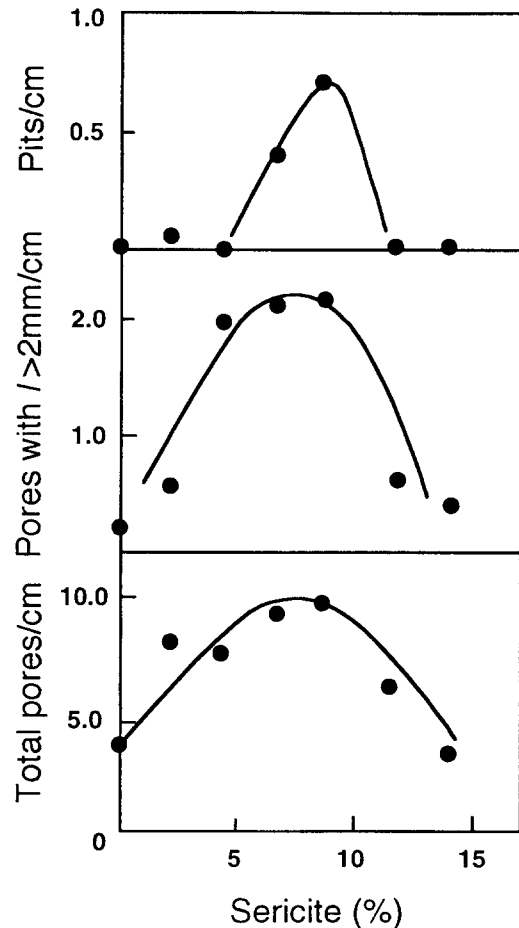


Fig 14. Effect of sericite amount on the occurrence of blowholes and pits¹¹⁾

다. 그림에서 보는바와 같이 sericite가 증가할수록 피트가 증가하나, 8~9% 이상이 되면 (확산성수소량으로 15~17%) 오히려 감소하는 경향을 나타낸다. 그들은 이러한 경향을 Chalmer가 제안한¹² 가스 방출속도와 용융금속 응고속도의 상대적인 관계를 이용하여 다음과 같이 설명하였다.

(1) 용고속도 < 가스 방출속도의 경우: 기공이 생성하여도 용고속도가 기공의 성장속도보다 빠르기 때문에 작은 구형의 기공이 된다.

(2) 용고속도 = 가스 방출속도의 경우: 기공의 기액계면과 용고면이 거의 같은 높이를 유지하며 성장하여 관상의 기공으로 된다.

(3) 용고속도 > 가스 방출속도의 경우: 가스 방출이 기공으로 빠르게 일어나기 때문에 기공의 성장이 현저하며, 어느 정도까지 성장하면 기공내의 가스는 잔류가스를 남겨놓고 기포로 되어 용융지 밖으로 빠져나간다.

따라서 일정 용고속도에서 용융금속의 수소농도가 높게됨에 따라 (1)의 상태로부터 (3)의 상태로 변화하여 기공내의 가스가 기포로 부상하여 기공이 소멸되던가 혹은 작은 기공으로 된다고 설명하였다.

鈴木 등은¹⁰ 이상의 실험결과를 정리하여 용접속도가 느린 경우 용접금속 확산성수소량에 따른 피트의 발생 경향을 Fig. 15와 같이 제안하고 있다.

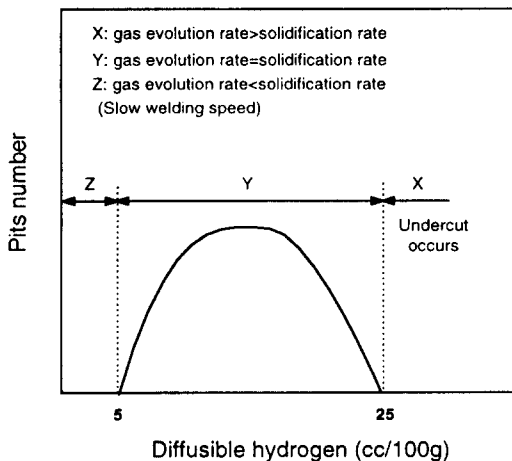


Fig 15. Schematic illustration of the relationship between pits formation and diffusible hydrogen amount¹⁰

그림에서 보는바와 같이 기공결함이 적은 용접재료는 확산성수소가 적은 Z영역을 이용하는 것과 확산성수소가 많은 X영역을 이용하는 것, 두 가지를 생각할 수 있다. 먼저 Z영역을 이용하는 용접재료는 수소가스 발생이 적은 무기zinc primer 도장 강판에 적용되는 것으로, 심레스 (seamless) 형태의 저수소 루틸 (rutile)계 플럭스 코어드 와이어가 개발되어 있다. 개발 와이어는 확산성수소량이 1~2cc/100g (가스 크로마트그래피)을 나타내며 용융금속의 교반을 목적으로 불화물과 탄산염 등이 첨가되어 있다. 하지만 이들 첨가량이 지나치게 많으면 스파터가 증가하고 언드컷 (undercut)이 발생하기 때문에 첨가량을 와이어 중량으로 약 0.5% 이하로 억제한다고 한다. 또한 슬래그의 연화점을 전자세용접용 와이어보다 약 100°C 정도 낮게 하여 가스의 방출이 용이하도록 한다. Figure 16에 본 개발 와이어와 종래의 전자세용접용 플럭스 코어드 와이어를 사용하여 무기zinc primer 도장 강판을 수평필릿 용접하였을 때 피트 발생경향을 비교하였다¹⁰. 그림에서 보는바와 같이 개발 와이어는 종래 와이어보다 고속도로 용접하였을 경우 피트의 발생이 적다. 하지만 이러한 와이어를 사용하더라도 primer의 두께가 증가하면 피트의 발생이 증가하기 때문에 primer의 두께를 표준 두께인 15~20μm로 관리하는 것이 필요하다고 한다.

한편 확산성수소가 많은 Z영역을 이용하는 용접재료로는 수소 가스 발생이 많은 washer primer 도장 강판에 적용되는 C형 단면의 루틸계 플럭스 코

Pits/m	40					
	30					
	20					
	10					
	0					
Speed (cpm)	35	50	70	35	50	70
Diameter	1.4 mm			1.4 mm		
Wire	New			Conventional		

Fig 16. Comparison of pits formation between conventional and newly developed wires¹⁰

어드 와이어가 개발되어 있다. 하지만 확산성수소의 증가는 아크의 불안정을 일으켜 언더컷을 많이 발생하기 때문에 수소원으로서 합수광물보다는 부착수와 수소화금속을 적극 사용한다고 한다. 이러한 와이어를 사용하여 washer primer 도장 강판을 용접한 경우의 피트 발생경향을 종래의 전자세용 접 와이어를 사용한 경우와 비교하여 Fig. 17에 나타내었다¹⁰⁾. 그림에서 보는바와 같이 본 와이어의 사용에 의하여 피트의 발생이 억제 가능함을 알 수 있다.

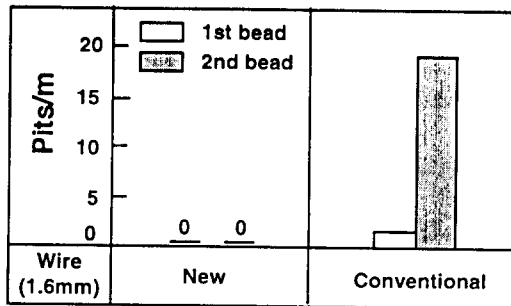


Fig 17. Comparison of pits formation between conventional and newly developed wires¹⁰⁾

5. 맺 음 말

자동차 및 자동차부품에의 표면처리 강판의 급속한 적용확대에 대하여 점용접에 관한 연구는 많이 행하여져 있지만 아크용접에 관한 연구는 상대적으로 작다. 향후 표면처리 강판의 지속적인 적용확대 추세를 감안하면 아크 용접시 일어나는 문제에 대한 해결이 시급하다고 하겠다. 본 해설에서 살펴본바와 같이 표면처리 강판의 아크 용접시 가장 큰 문제로 되는 기공발생은 사용강판, 용접 조건, 전원, 용접재료 등 많은 요인에 의하여 영향을 받아, 어느 한 요인만의 독립적인 연구개발보다는 이들 모든 요인에 대한 종합적인 연구개발이 필요하리라 생각된다. 특히 용접재료의 측면에서는 제품의 고부가가치화를 목표로 전용 와이어의 개발이 시급하다.

참 고 문 헌

1. 溶接技術, 2月 (1994), 93
2. 尾崎 外: 自動車部品におけるマク"溶接の現状と合理化對策, 溶接技術, 2月 (1991), 68
3. 大谷 外: 亞鉛めっき鋼板のアーク溶接性について, 溶接學會全國大會講演概要集, 第52集 (1993), 60
4. 安田 外: 亞鉛めっき鋼板のアーク溶接用氣孔發生防止材の開発, 溶接技術, 2月 (1989), 96
5. 向井 外: 亞鉛めっき鋼板のCO₂溶接に関する研究 溶接學會論文集, Vol. 7 (1989), 71
6. 藍田 外: 亞鉛めっき鋼板のマク"溶接における氣孔に関する研究, 溶接學會全國大會講演概要集, 第44集 (1989), 216
7. T. Shinida et al: Effect of Surface Tension on the Weldability in GMA welding, 5th International Symposium of the Japan Welding Society, April (1990), 791
8. 酒井芳也: マク"溶接用溶接材料の現状と合理化對策, 溶接技術, 2月 (1991), 88
9. 菅哲男: メタル系フラックス入りワイヤによる溶接の合理化, 溶接技術, 2月 (1989), 78
10. 鈴木 外: 耐フoライマ性フラックス入りワイヤの實用化, 溶接技術, 2月 (1989), 86
11. 常富 外: 水平すみ肉溶接時水素による氣孔, 溶接學會誌, Vol. 44 (1975), No. 2, 105
12. B. Chalmers: Principles of Solidification, 1964, John Wiley & Sons Inc.