



## 아연도금강판의 CO<sub>2</sub> 용접특성(1) - 용접부 결함의 종류와 특성 -

이 종 봉\* · 안 영 호\* · 박 화 순\*\*

\* 포항제철 기술연구소

\*\* 부경대학교 재료공학과

## CO<sub>2</sub> Weldability of Zn Coated Steel Sheet (1) - Weld Defects and Its Characteristics in Welds -

Jong-Bong Lee\*, Young-Ho An\* and Hwa-Soon Park\*\*

\* Technical Research Lab., Pohang Iron & Steel Co., Ltd., Pohang 790-785, Korea

\*\* Dept. of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

### Abstract

Characteristics of the weld defect, such as a blowhole and a pit in lap-jointed fillet CO<sub>2</sub> welds of Zn-coated steel sheet were studied in order to make clear the sequence of the blowhole formation during welding.

Main conclusions obtained are as follows :

- 1) Blowhole, wormhole and pit were found in fillet welds, although the optimum welding condition of 200A-23V-100cm/min was applied.
- 2) Zn was only detected at the solidification boundary at the early stage of the blowhole formation.
- 3) Most of the blowholes was started to form at lap-joint by the Zn vapor. With increasing of the Zn vapor and its pressure, the blowhole was developed to the bead surface until the completion of weld solidification.
- 4) The behavior of the blowhole in growth was similar to that of the columnar dendrite during welding.

(Received September 27, 1999)

Key Words : Zn coated steel sheet, CO<sub>2</sub> welding, Lap-joint fillet welding, Weld defect, Blowhole

### 1. 머리말

최근 표면처리강판 중에서도 특히 아연도금강판은 경제성 측면에서 유리하고, 표면이 미려할 뿐아니라 내식성도 우수하다는 점 때문에 자동차를 중심으로 건축 및 가전분야에 이르기까지 적용범위가 점차 확대되고 있다. 그러나 이러한 강재를 아크 용접하는 경우, 특히 겹치기 필릿 용접부에는 blowhole 및 pit와 같은 결함이 다수 발생하여 용접품질 및 생산성이 저하하는

원인이 되고 있다<sup>1-3)</sup>. 그 동안 이러한 용접결함을 방지하기 위하여 발생원인<sup>4-8)</sup> 및 적정 시공기술 등에 관한 연구<sup>1,2,9-13)</sup>가 다수 수행되어 상당한 개선이 이루어졌다. 그러나 결함발생에 영향을 미치는 인자가 매우 다양하고 또한 이들이 대부분 복합적으로 작용하기 때문에, 아직도 결함의 발생기구를 포함하여 불명확한 점이 많으며, 관련 연구가 지속되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 아연도금량이 비교적 적은 강재에 한정하여 아크 용접시에 발생하는 결함의 특성과 형성과정을 명확히 하고자 하였다. 즉 CO<sub>2</sub> 용접법으로 겹치

기 필릿용접하는 경우에 발생하는 결함의 형상적인 특성을 검토하였다. 또 이들 결함의 내부를 상세히 관찰하고 분석함으로써 용접결함의 형성과정에 대해서도 검토하였다.

### 2. 시험재 및 실험방법

시험에 사용한 모재는 SECC에 상당하는 두께 1.6mm의 전기 아연도금강판으로서, 도금량은 20/20g/m<sup>2</sup> 정도이다.

용접시험에는 CO<sub>2</sub> 용접법을 사용하였으며, 아래보기 자세로 겹치기 필릿용접을 실시하였다. 사용한 시험편의 형상 및 용접과정에 대한 모식도를 Fig.1에 나타내었다. 시험편은 300Lx75W 크기의 시험판 두 배를 30mm 만큼 서로 겹친 후, 상부에서 가압하여 두 판재 사이의 gap을 영으로 유지하였다. 또 용접시 토치각도는 60도, 아크길이는 15mm가 되도록 일정하게 하였고, 사용한 용접조건은 220A-23V-100cm/min을 기준으로 하였다. 이 조건은 용접 생산성을 고려하여 비교적 고전류, 고속도의 범위에서 결

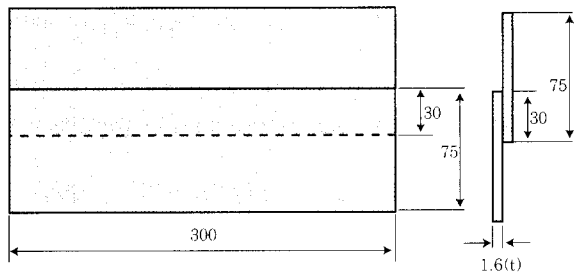
함 발생률이 낮은 최적의 조건으로서, 예비실험을 통하여 설정한 것이다. 이 때 용접재료는 KS D7025 YGW11에 상당하는 시판재인 직경 1.2mm의 solid 와이어를 사용하였다. 사용한 용접재료의 화학조성 및 기계적 성질은 Table 1에 나타내었다.

용접 중 발생한 결함들은 비드에 평행 및 수직방향의 절단면에 대하여 형상을 관찰하고, 일부 결함의 내부는 SEM(주사전자현미경) 관찰 및 EDX 분석을 실시하였다.

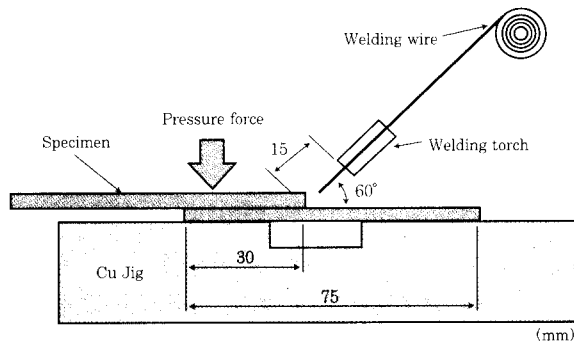
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 용접결함의 형태적 특징

Photo.1은 용접부의 겹침부를 기점으로 비드에 평행한 절단면에 대한 현미경 조직사진을 나타낸 것이다. 용접부의 결함은 주로 두 판의 겹침부를 시작점으로 하여 발생되고 있지만, 일부는 발생기점이 용접부 내부에 위치하며, 결함들은 대부분 길쭉한 bar 및 풍선형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) Specimen shape



(b) Welding procedure

Fig.1 Illustration of specimen shape and welding procedure

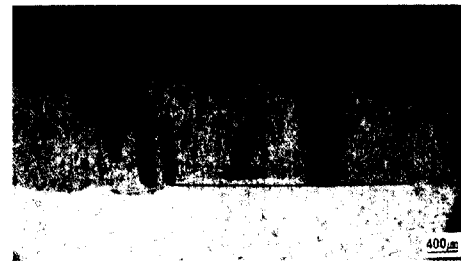


Photo.1 Typical weld defects at the longitudinal cross-section (220A-23V-100cm/min)

Photo.2는 용접비드에 수직인 절단면에 나타난 결함 중 전형적인 blowhole의 사진을 나타낸 것이다. 대부분의 blowhole은 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이 둥근 풍선모양을 나타내며, 풍선의 주입구는 두 판의 겹침부에 위치하고 있다. 그러나 이러한 형태의 blowhole은 종종 기점부가 겹침부가 아닌 용접금속 중에 위치하고 있는 모습도 관찰할 수 있었다. 따라서 대부분의 blowhole은 겹침부에서 생성되어 용융지 표면쪽으로 확장되면서 성장하지만, 그 과정에서 결함의 발생환경에 따라 기점부는 이동될 수도 있다고 판단된다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of deposited metal used

Chemical composition (wt.%)					Tensile property			vE <sub>-30</sub> (J)	Remarks
C	Si	Mn	P	S	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)		
0.09	0.52	1.07	0.015	0.009	450	560	30	140	SM70G

다. 또한 blowhole은 간혹 (b)와 같이 타원 형태로 비드 표면근방의 용접금속 중에 갇힌 형태로 잔존하기도 하였다. 이러한 blowhole은 그 형태로부터 생성기점을 추측하기가 곤란하고, 또 잔존하는 위치적 특징을 고려한다면, 두 판의 겹침부에서 생성된 것이 아니고 외부로부터 혼입된 가스가 미처 확산되지 못한 상태에서 응고가 완료됨으로써 용접금속 중에 잔존하여 형성된 것으로 판단되었다. 이와 같이 blowhole은 모두 용융지 내부에서 발생되며, 그 후 아연증기와 같은 가스의 압력 및 연속 공급상태, 용융금속의 표면장력, 온도, 교반상태 등에 따라 성장하고 이동하는 것으로 추측된다. 그러나 크레이터부 근방의 용접 응고 종료부에서는 위에서 설명한 형태와는 다소 다른 특징을 나타내는 blowhole이 존재하는 것이 확인되었지만, 이러한 blowhole의 형성기구 및 형태에 대해서는 다음에 보고하고자 한다<sup>14)</sup>.

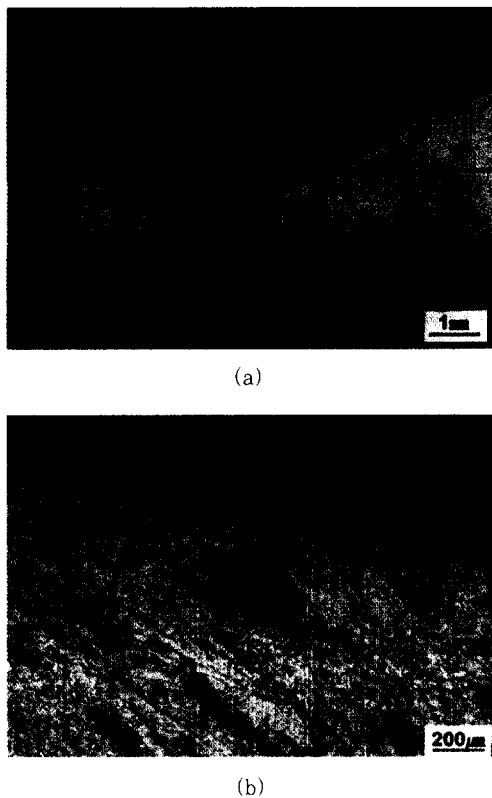


Photo. 2 Cross-section of a typical blowholes (220A-23V-100cm/min)

통상 넓은 범위에서의 blowhole에는 wormhole도 포함된다. 그러나 본 연구에서의 wormhole은 생성과정과 형태면에서 blowhole과는 약간 다른 특징을 나타냄을 확인할 수 있었다. Photo.3은 wormhole의 현미경 조직사진을 나타낸 것으로, wormhole은 (a)와 같이 주로 겹침부의 기점에서 생성되어 주상정 방향으

로 좁고 길쭉하게 성장하며, (b)와 같이 겹침부의 기점으로부터 분리되어 용융지 표면으로 이동하는 과정에서 응고가 완료되어 용접금속 중에 잔존하는 경우에도 이러한 형태는 유지됨을 알 수 있었다. 그러나 그 형태적 특징으로부터 wormhole은 blowhole과 같이 외부로부터 가스가 혼입되는 경우에는 생성되지 않는 것으로 판단된다.

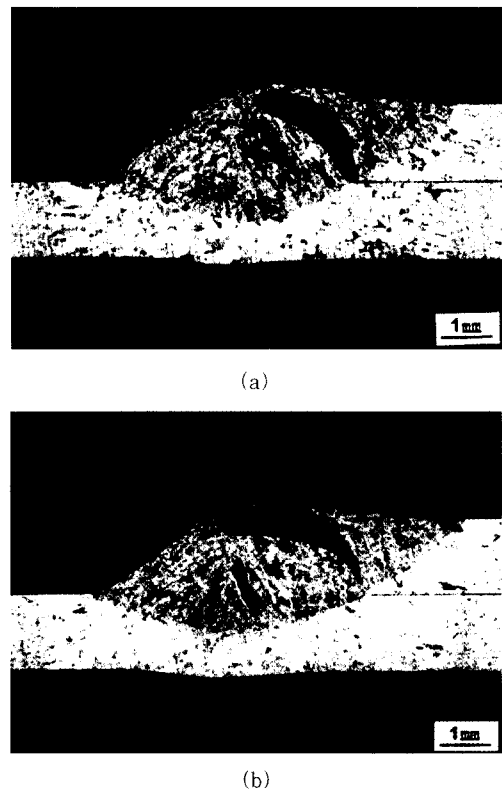


Photo. 3 Cross-section of a typical wormholes (220A-23V-100cm/min)

한편 blowhole이나 wormhole이 용융지 내부에서 생성되어 표면으로 성장하는 과정에서 결함이 표면에 표출된 상태로 응고가 완료되면 pit가 형성되는 것으로 알려져 있다. Photo.4는 본 실험에서 관찰된 전형적인 pit의 현미경 조직사진을 나타낸 것으로, 내부의 결함이 비드 표면까지 연결되어 있음을 볼 수 있다. 또한 결함의 생성 기점부는 용접금속 중에 위치하고 있지만 그 끝단이 뾰족한 형태를 나타냄으로써 초기에는 겹침부에서 생성되었지만 성장과정에서 이동한 것으로 생각된다. 한편 pit의 형태는 주로 비드 표면부 및 기점부위가 다소 넓고, 비드 표면부 바로 아래쪽은 다소 좁아지는 호로병과 같은 형상을 나타냄을 알 수 있다. 이 결과에 대해서는 다음에 상세히 보고하겠지만<sup>14)</sup>, 이러한 특징적인 형태는 pit가 형성된 후 재충진과정을 거침으로써 나타나는 것으로 판단된다.

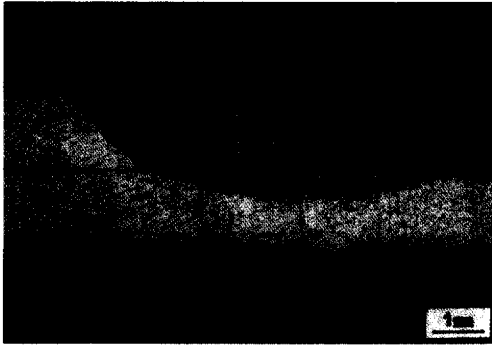
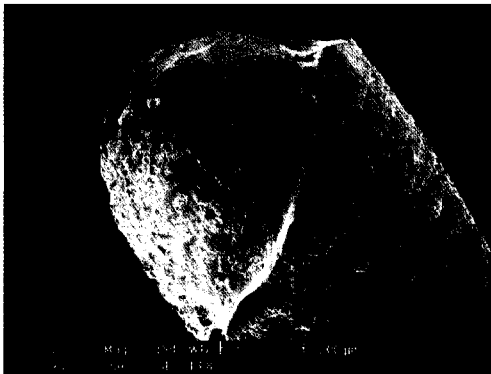


Photo. 4 Cross-section of a typical pit (220A-23V-100cm/min)

### 3.2 Blowhole 내부의 특징

Photo.5는 용접비드에 수직한 절단면에서 관찰된 전형적인 blowhole의 내부를 상·하부로 구분하여 SEM으로 관찰한 예를 나타낸 것이다. 먼저 결합 상·하부의 전체적인 형상과 크기의 변화로부터, 결합은 생성과 동시에 폭 방향으로 확장하지만, 폭 방향으로의 성장은 즉시 정체되고 주로 길이방향으로 성장이 지속되었음을 알 수 있다. 두 판재의 겹침부 기점근방의 사진인 (b)에 의하면, 결합의 하부는 표면이 비교적 매끈하며, 두 판의 겹침부로부터 상부쪽으로 줄



(a) Upper part

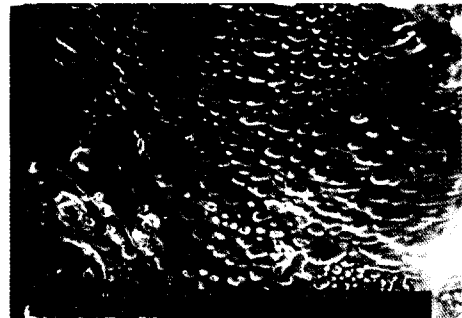


(b) Lower part

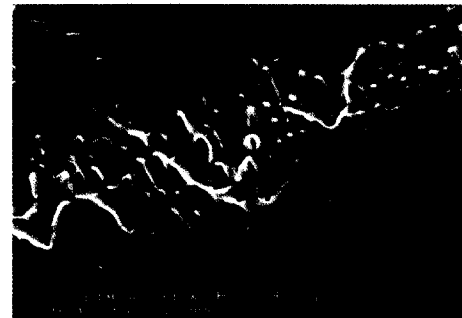
Photo. 5 SEM images within the blowhole

무늬가 좁은 간격으로 형성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 무늬는 하부의 아래쪽에서 집중적으로 관찰되며, 상부로 갈수록 간격이 넓어지고 형상도 불분명해짐을 알 수 있다. 또한 결합의 중·상부에서는 하부에 비해 표면이 약간 거칠어지며, 띠상으로 부분적인 돌기가 존재함을 볼 수 있다. 한편 결합의 상부에서는 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 우측상단에서 좌측하단으로 비스듬히 경계선이 존재하고, 경계선의 상부에는 전체적으로 돌기가 분포하고 있으며, 오목하고 둥근 형상을 나타내고 있다.

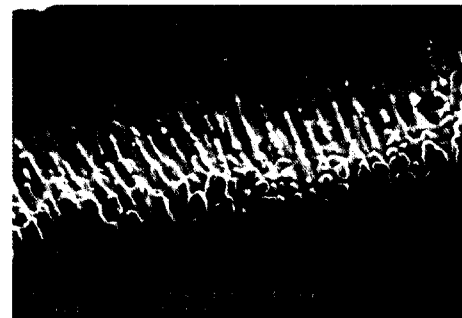
Photo.6은 Photo.5 중에서 ①, ②, ③으로 표시한 각 부위를 고배율로 관찰한 것이다. 비교적 하부쪽인 ①에서 상부쪽인 ②로 갈수록 응고조직인 수지상정의 형태가 약간 불명료하게 되고, 부드러운 형상으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 특히 최상부인 ③에서는 돌



(a) Near ①



(b) Near ②



(c) Near ③

Photo. 6 SEM image and EDX result within the blowhole

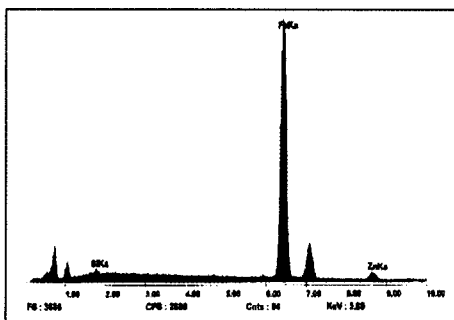
기들의 경계부가 부드럽고 둥근 형상을 보이며, 비교적 고르게 분포하고 있음을 볼 수 있다.

이러한 결합의 전체적인 형상적인 특징은 용접부에서 일반적으로 볼 수 있는 주상정조직의 발달경향과 일치하여 이들 사이에는 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되었다. 즉 위에서 관찰한 결합의 형상에 의하면, 하부에서 생성된 가스가 압력의 상승과 함께 상부로 이동하며, 특히 좌측하단에 비해 우측상단으로 빠르게 이동한다는 사실을 추측할 수 있다. 이러한 가스는 시간의 경과와 함께 결합을 성장시키면서 최상부에 모이게 되지만 압력이 낮아지게 되고, 용융지 표면의 응고도 진행되어 더 이상 결합의 성장에 기여하지 못하게 됨으로써 회전운동을 하면서 역할을 마무리하는 것으로 생각된다.

한편 Photo.7(a)는 Photo.5(b)에 나타낸 blowhole 내면의 하부만을 BSE(Back Scatter Electron Image)로 더욱 확대하여 관찰한 사진으로서, 겹침부로부터 상당히 고압의 가스가 분출한 듯한 형상을 명확히 관찰할 수 있다. 또한 ㉔로 표시한 발생 초기의 결정립계에 상당하는 경계면에서는 (b)에 나타낸 바와 같이 소량의 아연이 검출됨을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 아연은 blowhole의 내부에 존재하는 수지상정의 돌기를 포함한 어떤 면에서도 검출되지 않았다.



a) Magnified view of lower part of blowhole



b) EDX result of ㉔ near (a)

Photo.7 Back scatter electron image near lower part of blowhole

### 3.3 Blowhole의 형성과정에 대한 검토

이상에서 기술한 용접결합의 관찰 및 분석결과로부터 두 판재의 겹침부에서 생성되는 blowhole은 다음과 같은 과정을 거쳐 형성된다고 추정할 수 있다. 즉 결합은 겹침부를 기점으로 하여 아연 증기와 같은 가스가 고압으로 분출됨으로써 형성되기 시작하며, 가스압이 증가함에 따라 성장하게 된다. 결합의 성장은 열류의 흐름을 따라 주로 폭 방향보다 길이 방향으로 이루어지며, 특히 길이 방향을 기준으로 하여 아래쪽보다 위쪽으로 이동이 빠르게 진행됨으로써 일반적인 주상정의 성장경향과 유사한 형태로 이루어진다. 이러한 가스는 생성 기점으로부터 불연속적으로 공급될 수 있으며, 공급되는 전체 가스량이 일정하다면 결합의 성장과 함께 결합내부의 가스량 및 압력은 저하하게 될 것이다. 이와 같이 blowhole의 내부에 잔존하는 소량의 저압가스는 결합의 성장에 더 이상 기여하지 못하고, 또 용융지 표면은 온도가 저하함에 따라 응고가 진행되기 때문에, 생성된 blowhole은 비드표면 근처에서 성장을 멈추게 된다. 이 때 소량의 저압가스는 blowhole의 최상부로 몰려 회전하면서 그 중 일부는 확산 등을 통해 외부로 방출되는 것으로 생각된다.

한편 blowhole의 발생에는 주로 아연증기가 관여되고 있다고 판단된다. 즉 겹침부의 기점에서 아연증기가 가스화 되고, 이 때 가스와 용융금속과의 계면장력이 충분하지 못하여 가스가 용융금속 측으로 이행함으로써 blowhole이 생성한다. 또한 blowhole이 형성되는 초기과정에서 아연은 통상 입계에 흡수되며, blowhole이 성장하는 상부쪽에서 아연이 검출되지 않는 것은 시험재의 아연도금량이 비교적 적고, blowhole의 표면적이 확대됨으로써 아연의 확산층이 얇아졌기 때문인 것으로 생각된다.

이상과 같은 결과로부터 용접 중 결합의 형성에는 아연증기와 같은 가스의 발생량 및 압력이 대단히 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다. 그러나 통상 결합의 형성에 영향을 미치는 가스량은 용접 열에 의해 증기화되는 전체량 중에서 특히 용융지 내에 갇히게 되는 가스에 한정되며, 또한 이 때의 가스압력은 증기압으로서 가스량과 비례하겠지만, 생성되는 기점의 크기에 따라 상이할 수 있기 때문에 실제로 용접 중 발생하는 가스량 및 압력을 정량화하기는 쉽지 않다. 본 연구에서와 같이 아연도금강판을 아크용접법으로 겹치기 필릿용접하는 경우, 강판의 위치에 따른 아연의 거동을 검토한 결과에 의하면<sup>2)</sup>, 스파터의 발생 및 blowhole의 형성에는 Fig.2에 표시한 B2, C1 및 C2 부분에 존재하는 아연층이 관여하지만, 그 중에서도 B2 부근

의 아연층이 가장 큰 영향을 미친다고 하였다. 또한 본 실험에서 사용한 용접조건과 유사한 220A-23V-120cm/min의 조건으로 MAG 용접한 겹치기 필릿 용접부에 대하여 겹침면의 용융선(FL)으로부터 거리에 따른 온도분포를 실측한 결과에 의하면<sup>3)</sup>, FL+3mm 이내에서는 아연의 용융온도인 419℃ 이상이 되어 아연도금층은 용접 열에 의해 용융되고, 특히 FL+0.7mm 이내에서는 아연의 비점온도인 906℃ 이상으로 가열된다고 하였다. 물론 이러한 가열범위는 용접조건에 따라 다소 상이할 수 있다. 그러나 이상의 결과를 참고한다면, 본 실험에서 용접결합의 형성에 직접적으로 관여한 아연도금층은 B2 위치에서 FL+1mm 이내의 좁은 범위에 존재하는 것이며, 사용한 시험재의 도금량도 아연도금강판으로서는 비교적 적은 편이기 때문에 가스 발생량은 그다지 많지 않을 것으로 생각된다. 따라서 아연도금강판의 용접부에 발생하는 결함을 방지하기 위해서는 비록 가스의 발생량이 소량인 경우에도 이러한 가스를 외부로 배출시킬 수 있도록 시공조건에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

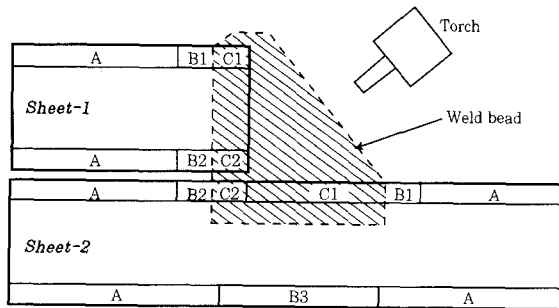


Fig. 2 Classification of Zn-coated layer in lap-jointed fillet welds

#### 4. 결 론

본 연구는 자동차를 중심으로 여러 산업분야에서 사용범위가 확대되고 있는 아연도금강판의 CO<sub>2</sub> 용접부에 발생하는 결함의 종류와 특성 및 그 형성과정을 명확히 하기 위한 것으로, 겹치기 필릿 용접부에서 발생하는 결함의 종류 및 형상을 검토하였다. 또 이들 결함의 내부를 상세히 관찰하고 분석도 병행하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 아연도금강판의 겹치기 필릿 용접부에서는 200A-23V-100cm/min의 적정조건을 적용하는 경우에도 다소의 wormhole, blowhole 및 pit가 발생되었다.

2) 겹치기 필릿 용접부를 기점으로 한 blowhole은 다음과 같은 과정을 거쳐 형성된다고 추측되었다. 즉, blowhole은 두 판재의 겹침부에서 아연의 증기와 같

은 가스가 고압으로 분출됨으로써 형성되기 시작하며, 가스압이 증가함에 따라 주로 주상정의 성장방향을 따라 성장한다. 한편 결함의 성장과 함께 가스량 및 압력은 저하하고, 또한 용융금속의 표면장력 및 온도도 저하됨으로써 blowhole은 성장을 멈추게 된다. 이 때, blowhole의 내부에 잔존하는 소량의 저압가스는 최상부로 몰려 회전하면서 그 중 일부는 확산 등을 통해 외부로 방출되는 것으로 추정되었다.

3) Blowhole은 주로 겹침부의 기점에서 아연증기가 공급되어 생성되며, 그 초기과정에서 아연은 입계에 흡수된다. 그러나 blowhole이 성장한 상부쪽에서는 아연이 검출되지 않았으며, 이것은 시험재의 아연도금량이 비교적 적고, blowhole의 표면적이 확대됨으로써 아연의 확산층이 얇아졌기 때문이라고 생각되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 竹之内 優, 冷水孝夫 : 表面處理鋼板의 아크 용접, 溶接學會誌, 60-6(1991), 490-494
2. 松井仁志 : めつき鋼板의 아크 용접, 溶接學會誌, 66-6(1997), 423-427
3. K.Yasuda, S.Nakano, T.Yamaguchi, T.Komatsu and T.Nakajima : Avoidance of Blowhole in Arc Welding of Galvanized Steel Sheets, The 5th International Symposium of the Japan Welding Society, April, Tokyo (1990), 785-790
4. 亞鉛めつき鋼板의 용접手引作成委員會 : 亞鉛めつき鋼板의 용접手引, (社) 鋼材俱樂部(1977)
5. 向井喜彦, 西村 新, 中島淳雄, 奥 清司 : 亞鉛めつき鋼板의 CO<sub>2</sub> 용접에 關する研究, 溶接學會論文集, 7-1(1989), 70-75
6. 石崎敏三, 横谷眞一郎 : 氣孔生成의 機構, 溶接學會誌, 50-9(1981), 898-904
7. E.N.Gregory : Welding zinc coated steel, WELDING COATED STEEL, TWI, 5-12
8. 山田忠昭, 小林 實 : パルスMAG 용접에 對ける 브로-홀에 對하여, 溶接學會論文集, 3-4(1985), 822-830
9. 松井仁志, 鈴木 弘, 山田幹雄 : 溶融亞鉛めつき薄鋼板의 고속 아크 용접에 對ける 氣孔의 低減, 溶接學會論文集, 15-3(1997), 476-483
10. 松井仁志, 山田幹雄 : 溶融亞鉛めつき薄鋼板의 아크 용접施工法에 對する 基礎研究, 溶接學會論文集, 15-3(1997), 484-493
11. 松井仁志, 鹽野谷 哲 : 溶融亞鉛めつき鋼板의 용접에 對ける 溶融池振動에 對하여 氣孔의 低減, 溶接學會論文集, 16-1(1998), 45-50
12. M.Kamada, Y.Kanbe, T.Suzuki and S.Maki : Flux Cored Electrode for Zinc Primer-Painted Steel Plate, Welding Jr., 72-3(1993), 49-54
13. 安田功一, 中野昭三郎, 小松忠男, 中島 正 : 亞鉛めつき鋼板 아크 용접에 對하여 氣孔發生防止劑의 開發, 溶接技術, 37-2(1989), 94-98
14. 이종봉, 안영호, 박화순 : 아연도금강판의 CO<sub>2</sub> 용접특성(2), 대한용접학회지, 18-2(2000) 게재예정