

시편 예열 온도가 FCW 용착금속의 확산성 수소량에 미치는 영향

김동윤* · 황인성* · 김동철*[†] · 강문진*

*한국생산기술연구원 용접접합연구실용화그룹

Effect of Preheat Temperature on Diffusible Hydrogen Content in Weld Metal Deposited using Flux Cored Wire

Dong Yoon Kim*, In Sung Hwang*, Dong Cheol Kim*[†] and Moon Jin Kang*

*Welding & Joining R&BD Group, KITECH, Incheon, 406-840, Korea

[†]Corresponding author : dckim@kitech.re.kr

(Received April 22, 2014 ; Revised April 23, 2014 ; Accepted April 25, 2014)

Abstract

Cold cracking of weldment is one of the most serious welding problems. A sufficient quantity of diffusible hydrogen, a residual stress, and a sensitive microstructure are the causes of cold cracking. Removal of any one of these factors can be used to prevent cold cracking. Application of flux cored arc welding process is increasing due to high productivity and easiness of welding. In addition, to prevent cold cracking in the HAZ or weldment, preheat temperature and interpass temperature have to be controlled. In this study, the effect of preheat temperature on the levels of diffusible hydrogen in the weld metal deposited using flux cored wire was examined. The levels of preheat temperature of base metal specimen were ambient temperature, 50, 100 and 150 °C respectively. The result showed that the increase of preheat temperature was a linear relationship with reduction of diffusible hydrogen content in weldment.

Key Words : Diffusible hydrogen content, Hydrogen induced cracking, Flux cored wire, Preheat temperature, Delay time

1. 서 론

철강 용접 시 용접부에서 발생하는 저온균열은 수소 취성현상에 의한 것이다. 저온균열의 발생 원인은 여러 가지가 있으며, 그 중 하나가 용접부에 존재하는 확산성 수소이다. 이러한 용접부 확산성 수소는 대부분 용접재료로부터 유입된다.

플럭스 코어드 와이어는(Flux cored wire)는 산업 현장에서 우수한 작업성과 높은 생산성으로 인해 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 상온 보관 시 흡습 등에 의하여 용접 시 용접부 확산성 수소가 발생된다는 단점이 있다. 그래서 현재 저수소계 용접재료 개발이 활발히 진행되어지고 있지만, 아직 산업 현장에서는 흡습에 취약한 플럭스 코어드 와이어가 사용되고 있는 실정이다.

산업 현장에서는 플럭스 코어드 와이어 사용 시 예열

및 층간온도, 용접재료 보관 등을 보다 엄격하게 관리하여 용접부 확산성 수소를 저감시켜 저온균열 발생을 최소화하고 있다.

Kiefer는 용접 공정변수에 따른 용접부 확산성 수소량을 평가하였다. 용접 공정변수 중 용접전류 및 전압이 증가하면 용접부 확산성 수소가 증가하고, 팁-모재간 거리(CTWD, contact tip-to-workpiece distance)가 증가하면, 용접부 확산성 수소는 감소한다고 보고하였다¹⁾. Sierdzinski 등은 동일한 입열 조건에서 CTWD가 감소하거나 용접 전류가 증가함에 따라 확산성 수소량이 증가한다고 보고하였다²⁾. Kuebler 등은 용접 입열량과 용접부 확산성 수소량의 관계를 확인하였으며, 용접 비드의 크기는 확산성 수소의 관계가 있다고 보고하였다³⁾. Han 등은 용접 공정변수에 따른 확산성 수소를 측정하고, 공정변수와 확산성 수소의 관계를 회귀분석을 통해 확인하였다⁴⁾. 그리고 Kim 등은 대기조건 및

용접조건의 영향에 따른 용접부 확산성 수소의 영향에 대하여 보고하였다⁵⁾. 이리하듯 용접공정변수와 확산성 수소와의 관계에 대한 연구가 많이 진행되어지고 있다.

또한 용접부 확산성 수소를 감소시키는 연구도 진행되고 있다. Flanigan 등은 후열온도와 용접부 확산성 수소의 관계를 보고하였다. 후열온도 100, 270, 425, 750, 1200°F 조건에서 시간 경과에 따른 용접부 잔류 수소량을 측정하였는데, 후열 온도가 증가할수록 용접부 수소가 외부로 빨리 확산되는 것을 확인하였다⁶⁾. 그리고 Lee 등은 다층 서브머지드 용접에서 층간온도와 저온균열의 관계에 관한 연구에서 층간온도가 30C 이하의 경우 균열이 발생하였지만 100 ~ 120°C 의 층간온도 유지 시 균열이 발생하지 않았다고 보고하였다⁷⁾.

본 연구에서는 용접 시편의 예열온도에 따른 용접 후 용접부의 확산성 수소량을 정량적으로 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 확산성 수소량 측정 방법

본 연구에서 확산성 수소량을 측정하기 위하여 AWS A4.3⁸⁾ 규격을 이용하였고, JIS, ISO 규격을 참조하였다.

확산성 수소량을 측정하는 과정에는 두 가지 단계가 있다. 첫째는 용접시편을 제작하는 과정이고, 다른 하나는 용접부에서 확산되는 수소를 측정하는 것이다. 용접 시편으로 사용된 강재는 SM490으로, 25(W) × 40(L) × 12(t)mm 의 크기로 가공하고, 가공된 시편은 탈수소 처리를 한다. 그리고 구리 재질로 제작된 수냉 지그에 시편을 고정하고 BOP(Bead-on-plate)용접을 실시하여 용접 시편을 제작한다. 용접 종료 후 5 초 이내 얼음물에 장입한 뒤 액체질소에 장입시켜 용접부의 수소 방출을 억제시킨다. 그 후 용접 시편 주변의 스페터와 슬래그를 1분 내에 제거하면, 용접 시편 준비가 완료된다. 그 후 포집기에 시편을 넣고, 45°C의 온도에 72시간 동안 포집한 후 확산성 수소량을 측정한다.

일반적으로 용접부 확산성 수소량을 측정하는 방법에는 수은치환법, 글리세린치환법, 가스크로마토그래프법(GC법)의 세 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 안정성

과 정확도가 뛰어나며, 광범위하게 적용되고 있는 가스 크로마토그래프법을 이용하여 확산성 수소량을 측정하였다. 측정 장비의 외관은 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 실험 조건

본 실험의 목적은 시편 예열온도에 따른 용접부 확산성 수소량의 거동을 평가하는 것이다. 그래서 첫 번째로 상온 시 용접시편에 대하여 용접부의 확산성 수소량이 용접 후 시간에 따라 어떻게 변하는지 정량적으로 평가하였으며, 두 번째로 시편 예열온도를 변화시켜 용접부 확산성 수소량을 평가하였다.

용접재료는 플렉스 코어드 와이어 AWS A5.20 E71T-1C (JIS T49J 0 T1-1 CA-U H10) 1.2Φ를 사용하였다. 일반 현장에서 많이 사용하고 있는 상용 용접재료이며, 이 용접재료의 JIS규격에 H10 라고 표기되어 있는데, 용접 시 용접부 확산성 수소량이 10ml/100g 이라는 것을 의미한다.

일반적인 플렉스 코어드 와이어의 경우 상온 보관 시 흡습에 의하여 용접 시 용접부 확산성 수소량이 증가하기 때문에 매 실험마다 새로운 용접재료를 사용하였다. 모든 실험은 동일한 용접조건에서 수행하였으며, 용접 조건은 Table 1과 같다.

2.2.1 용접 후 용접부 대기 노출 시간에 따른 확산성 수소량 평가방법

일반적으로 용접부 확산성 수소량을 측정하기 위하여 용접이 종료됨과 동시에 시편을 얼음물에 장입한 뒤 액체질소에 넣어 냉각시킨다. 이때 장입시간의 변화를 주면, 용접 후 용접부가 대기에 노출되는 시간을 모사할 수 있다. 이를 이용하여 용접부 수소가 외부로 확산되는 시간을 변화시켜 용접부 확산성 수소량을 측정하였다. 시편 대기 노출 시간은 0(5초), 1, 5, 10, 30, 60분으로 하였다.

2.2.2 시편 예열온도에 따른 용접부 확산성 수소량 평가방법

시편 예열 온도는 50, 100, 150°C 3개 수준으로 하

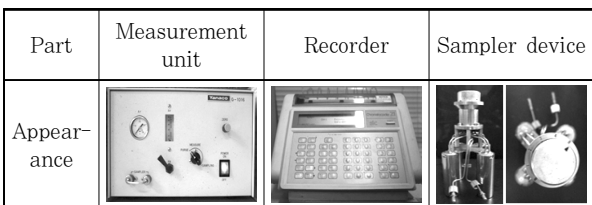


Fig. 1 The appearance of measurement equipment

Table 1 Welding conditions

	Condition
Current / Voltage	270A / 29.0V
Welding speed	35cpm
Shielding gas	100% CO ₂ (25 ℓ /min)
CTWD	25mm

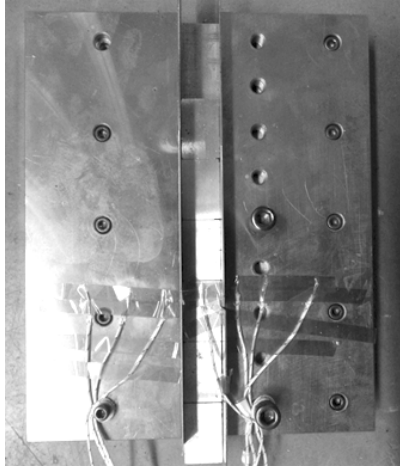


Fig. 2 Welding jig and specimen

Table 2 The atmospheric conditions during experiments with various exposure time

	Ambient temperature (°C)	Humidity (%)	Temperature of specimen (°C)
First experiment	18.3	55	19.5
Second experiment	17.6	60	19.7

여 용접부 확산성 수소량을 평가하였다.

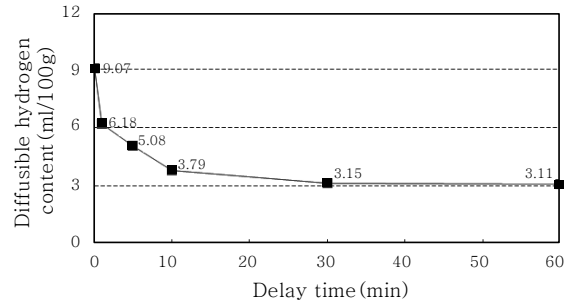
그리고 용접 중 시편이 급속히 냉각되는 것을 막기 위하여 용접지그를 일반강재로 제작하였고, 지그 크기는 300(W) × 500(L) × 50(t)mm이다. 용접지그 및 시편은 Fig. 2와 같다.

3. 실험 결과

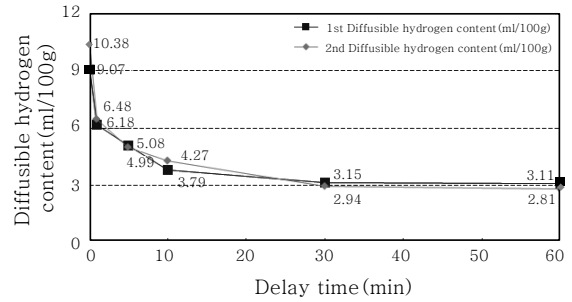
3.1 용접 후 용접부 대기 노출 시간에 따른 확산성 수소량

용접부 확산성 수소량은 총 2회에 걸쳐 측정을 하였다. 1차 실험 후 3일 뒤 2차 실험을 실시하였으며, 그때의 대기조건은 Table 2에 나타내었다.

Fig. 3은 용접부 확산성 수소량을 측정한 결과이다. Fig. 3(a)는 1차 실험한 결과를 보여주고 있다. 1차 용접 후 대기 노출 시간이 5초 이내일 때 용접부 확산성 수소량은 9.07ml/100g 이었으며, 1분 후 6.18ml/100g 으로, 용접 직후 대비 약 32% 감소, 5분 후 5.08ml/100g 으로 약 44% 감소, 그리고 10분 후 3.79ml/100g 으로, 약 58% 감소하였다. 30분이 지난 후 3.15ml/100g 으로 65% 정도 감소하였고, 60분이 지난 경우 30분과 유사한 결과를 보였다. 용접부 대기 노출시간이 30분이 지나면 확산성 수소량이 용접 직후



(a) 1st diffusible hydrogen content



(b) 1st and 2nd diffusible hydrogen content

Fig. 3 The diffusible hydrogen content according to air exposure time of weldment

Table 3 The atmospheric conditions during experiments with various preheat temperatures

preheat temperature(°C)	Ambient temperature(°C)	Humidity (%)	Temperature of specimen (°C)
50	23.1	70	50 ~ 56
100	23.7	87	105 ~ 110
150	24.2	73	154 ~ 160

대비 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3(b)는 1차 및 2차 실험한 결과를 동시에 보여 주고 있다. 2차 실험 역시 1차와 유사한 형태로 용접부의 대기노출 시간이 길어질수록 확산성 수소량이 점점 감소하고 있다는 것을 보여주고 있다.

3.2 시편 예열온도에 따른 용접부 확산성 수소량

시편 온도 50°C, 100°C, 150°C로 예열 후 용접을 수행하였다. 용접 시 대기 조건은 Table 3과 같았다.

시편 예열온도에 따른 용접부 확산성 수소량은 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 상온에서의 확산성 수소량은 앞의 3.1절 1차 실험의 결과이다. 용접시편을 예열하지 않고 상온상태에서 용접하고 용접부에 대한 확산성 수소량을 측정한 경우 9.07ml/100g 이었으며, 50°C 로 시편 예열한 경우 6.92ml/100g, 100°C 예열한 경우 5.20ml/100g, 150°C 예열한 경우 4.98ml/100g 로

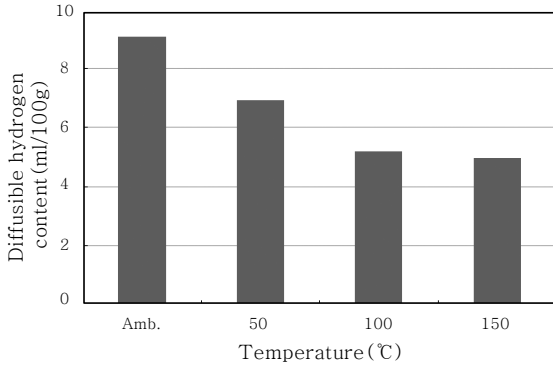


Fig. 4 Diffusible hydrogen content according to preheat temperature of specimen

시편 예열 온도가 증가할수록 용접부의 확산성 수소량은 감소하였다. 용접시편을 50°C, 100°C, 150°C 예열한 경우의 확산성 수소량은 용접시편을 예열하지 않았을 경우 대비 각각 24%, 43%, 45% 만큼 감소한 수소량이 측정되었다. 50°C, 100°C로 예열한 경우는 확산성 수소량이 급격하게 감소하였지만 150°C 인 경우에는 상대적으로 감소량이 적었다.

4. 결 론

용접시편 예열 온도에 따라 용접부 확산성 수소량의 변화에 관련된 연구를 수행하였다.

1) 상온에서 용접부 대기 노출 시간을 변화시켜 용접부 확산성 수소량을 측정된 결과 10분 이내에 급속히 감소되었으며, 30분까지 용접부 수소량이 점점 감소하는 것을 확인하였다.

2) 예열온도 50°C 의 경우 상온대비 약 24% 감소하였고, 100°C 시편 예열 시 43% 감소, 150°C시편 예열 시 45% 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3) 용접부의 대기 노출 시간이 증가할수록, 시편 예열온도가 증가할수록, 용접부 확산성 수소량은 상온 대비 급격히 감소하였다.

산업 현장에서 다층 용접시 용접부 확산성 수소를 저감시켜 저온균열을 예방하기 위해서는 예열/층간 온도 뿐만 아니라 층간 용접 대기시간까지 고려한 용접시공을 수행할 필요가 있다.

Reference

1. J. H. Kiefer: Effect of moisture contamination and welding parameters on diffusible hydrogen, *Welding Journal*, **75-5** (1996), 155-s to 161-s
2. M. S. Sierdzinski and S. E. Ferree: New flux cored wires control diffusible hydrogen levels, *Welding Journal*, **77-2** (1998), 45-48
3. R. Kuebler, M. Pitrn and L. Pitrun: The effect of welding parameters and hydrogen levels on the weldability of high strength Q&T steel welded with FCAW consumables, *Australasian Welding Journal*, **45** (2000), 38-47
4. D. W. Han, K. S. Bang, H. C. Jeong and J. B. Lee: Quantitative Analysis on the Effects of Welding Parameters on Diffusible Hydrogen Contents in Weld Metal Produced by FCAW Process, *Journal of KWJS*, **28-2** (2010), 174-179
5. J. H. Kim, J. S. Seo, H. J. Kim and H. S. Ryoo: Effect of Welding Heat Input on Diffusible Hydrogen Content, *Journal of KWJS*, **25-3** (2007), 225-227 (in Korean)
6. A. E. Flanigan and E. U. Lee: On the escape of dissolved hydrogen from weld metal, *Welding Journal*, **45-10** (1966), 477-s to 480s
7. H. W. Lee and S. W. Kang: The relationship between residual stresses and transverse weld cracks in thick steel plate, *Welding Journal*, **82-8** (2003), 225-s to 230-s
8. ANSI/AWS A4.3-93: Standard methods for determination of the diffusible hydrogen content of martensitic, bainitic, and ferritic steel weld metal produced by arc welding, American welding society, USA