

GMA용접에서 확산성수소량에 미치는 대기수분량의 영향

Effect of Moisture Content of Air on Diffusible Hydrogen Content in GMAW Process

김제학, 서준석, 김희진, 유희수
한국생산기술연구원

1. 서 론

고장력강 또는 저합금강 등의 용접부에서 나타나는 저온균열은 수소취성 현상에 의해 발생하는 균열이다. 저온균열 발생 원인에는 여러 가지 인자가 있는데, 그 중의 하나가 용접부에 존재하는 확산성수소(diffusible hydrogen)이다. 용접부의 확산성수소는 주로 용접재료로부터 유입되기 때문에 용접재료를 구분 및 평가, 예열온도산출의 기준이 된다. 그러나 과거의 사례를 보면 동일한 용접재료라고 하더라도 측정기관에 따라 그리고 측정시점에 따라 커다란 차이를 보여 주어 생산자와 수요자 사이에서 측정치의 신뢰성에 대한 논란이 자주 발생하고 있다¹⁾. 이러한 차이는 측정방법, 용접조건, 대기조건 등이 상이하기 때문에 발생하는 것인데, 측정방법 및 용접조건은 측정자들이 협의하여 동일하게 하면 해결되는 문제이지만 대기조건은 측정시점 및 측정 위치에 따라 변화할 수밖에 없는 실험 변수이다.

확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 대기 중에 함유된 수분(moisture)이 용접 과정에서 공기와 함께 아크부에 유입되어 나타나는 결과이다. 그럼으로 공기가 유입되는 정도에 따라 확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 결정되는 것이다. 공기 중의 수분량(절대습도)은 온도와 상대습도의 함수로 나타나는데, 온도가 높을수록 그리고 상대습도가 높을수록 대기 중의 수분량은 증가하게 된다. 그럼으로 용접재료의 확산성수소량을 측정함에 있어 확산성수소량에 미치는 대기조건을 확실히 파악하여 필요하면 측정치

를 보정할 수 있어야 한다. 이에 본 저자들은 문헌조사결과 확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 용접기법에 따라 많은 차이가 있음을 확인하였다.

용접아크가 플럭스에 의해 대기로부터 완전히 보호되는 SAW에서는 대기의 영향이 거의 나타나지 않지만, 보호가스를 사용하지 않는 SMAW와 self-shielded FCAW에서는 공기를 완전히 차단하지 못하여 대기의 영향이 매우 크다는 것이다. 그런데 보호가스를 사용하는 dual-shielded FCAW 및 GMAW에서는 상반된 결과를 보여주고 있어서 이들에 대한 대기의 영향은 추가적인 검증이 요구되었던 것이다.

저자들은 이미 FCAW에 대한 검증시험을 수행하여 대기의 영향이 극히 적음을 확인하고³⁾, 그러한 결과는 Hart가 보고한 결과와 동일함을 본 학술지에 보고한 바 있다^{1,2)}. 문제는 GMAW에 있어서 대기의 영향이 크게 나타난다고 보고한 Hart의 실험결과이다.⁴⁾ FCAW와 GMAW는 모두 보호가스를 사용하는 기법임으로 대기의 영향이 동일하여야 함에도 불구하고 Hart의 시험결과에서는 서로 다르다고 보고되어 있는 것이다. 이에 저자들은 GMAW에서 대기조건의 영향을 추가적으로 검증해 볼 필요가 있다고 판단하고 체계적인 시험을 수행하게 되었다.

2. 실험방법

GMAW에서 확산성수소량에 미치는 대기의 영향을 규명하기 위해 대기 중에 수분량만을 변수

로 하여 확산성수소량 측정시험을 수행하였다. 시험이 진행되는 동안 대기조건을 일정하게 유지하기 위해 콘테이너 박스를 개조하여 항온항습실을 자체 제작하였다. 내부 온도는 항온설비 없이도 일정온도가 유지되어 항습설비만 설치하였다. 용접전원은 외부에 설치하고 그 밖의 용접장비(토치 및 토치 이송장치)와 시편제작에 필요한 지그류는 내부에 설치하였다.(Fig. 1) 그리고 대기조건을 제외한 모든 시험변수를 동일하거나 일정하게 유지하였다. 용접와이어(ER120S-1, 직경: 1.2mm)는 한 개의 스폴에 감긴 와이어만을 사용하였으며, 보호가스(Ar+5%CO₂) 또한 한 개의 봄베에 저장된 가스만을 사용하였다. 모든 시험은 동일한 용접조건에서 수행되었으며, 사용된 용접조건은 Table 1와 같다. 확산성수소량측정은 GC 장비를 사용하였으며 포집조건은 45℃에서 72시간으로 하였다. 측정에 사용된 시편의 크기는 25(W) × 12(T) × 40(L)mm이었다. 그리고 기타 시험조건 및 방법은 ISO 3690 규격을 준수하였다¹¹⁾. 시험은 모두 3차 걸쳐 수행되었는데, 이는 보다 신뢰성 있는 결론을 도출키 위한 것이었다.

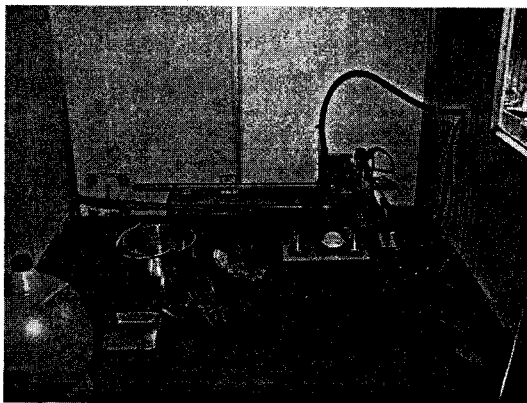


Fig.1 Test setup equipped in the environmental chamber to keep constant temperature and humidity.

Table. 1 Welding condition employed in this investigation.

Current (A)	280
Voltage (V)	33
Speed (cm/min)	30
CTWD (mm)	25
Flow rate (ℓ/min)	25

3. 실험결과

3. 1 1차 실험 결과

1차 실험의 목적은 항온항습실의 성능, 즉 대기수분량의 허용 범위를 확인하고 확인된 범위 내에서 두 가지 조건을 선정하여 확산성수소량 측정시험을 수행하는 것이었다. 사용된 대기조건 및 각각의 조건에서 측정된 확산성수소량을 Table 2에서 보여 주고 있다. 대기조건은 최대치, 최소치 두 가지 조건으로 설정하여 시험을 수행하였으며, 각각의 조건에서 대기수분량은 8.68과 20.09g/m³이었다. 각각의 조건에서 4개의 시편(총 8개 시편)을 제작하여 확산성수소량을 측정하였는데, 측정된 확산성수소량의 평균치는 1.95과 1.90ml/100g이었다. 즉 수분량이 2배 이상 증가하였음에도 불구하고 확산성수소량은 거의 동일한 수준을 유지하였던 것이다.

Table 2. Results of diffusible hydrogen measurement for the first test.

Specimen No.	Atmosphere condition		Absolute moisture content (g/m ³)	HD content (ml/100g)		STDEV.	Sampler No.
	Temp. (°C)	Humi. (%)		Indi.	Avg.		
1	27	34	8.68	2.15	1.95	0.23	1
2				1.91			
3				2.09			
4				1.65			
5	25	88	20.09	2.73	1.90	0.57	2
6				1.69			
7				1.68			
8				1.48			

3. 2 2차 실험 결과

1차 실험결과와 재현성을 검증하기 위해 수분량이 보다 높은 대기 조건에서 동일한 시험을 반복하였다. 2차 실험에서의 대기조건은 Table 3과 같은데 각조건에 대기수분량은 12.73과 25.64g/m³이었다. 이들 조건에서 측정된 확산성수소량의 평균치는 1.79 및 2.08ml/100g이었고 표준편차는 0.3ml/100g 이하이다. 대기수분량이 2배 정도 증가하였음에도 확산성수소량은 0.3ml/100g 정도 밖에 증가하지 않았는데, 표준편차가 0.3ml/100g 수준임을 고려하면 시험오차 범위 내에서 증가한 것이다. 즉 확산성수소량이 증가된 원인이 대기조건의 영향이라고 단정하기에는 증

가량이 너무 적은 것으로 판단되었다.

Table 3. Results of diffusible hydrogen measurement for the second test.

Specimen No.	Atmosphere condition		Absolute moisture content (g/m ³)	HD content (ml/100g)		STDEV.	Sampler No.
	Temp (°C)	Humi. (%)		Indi.	Avg.		
1	32	38	12.73	2.05	1.79	0.19	1
2				1.66			
3				1.62			
4				1.83			
5	29	90	25.64	2.36	2.08	0.31	2
6				2.32			
7				1.74			
8				1.88			

3. 3 3차 실험 결과

1차 실험에서는 대기조건의 영향이 없는 것으로 나타났지만 2차 실험에서는 비록 시험 오차범위 이기는 하지만 영향이 있는 것으로 나타났다. 그리고 이들은 모두 두 가지 조건(수분량이 높은 조건과 낮은 조건)에 대해서만 측정하였기 때문에 전반적인 경향을 파악할 수 없었다. 따라서 보다 다양한 대기 조건에서 확산성수소량을 측정하여 전반적인 경향을 확인하기 위하여 3차 실험을 수행하였다. 대기수분량을 18~28g/m³ 범위 내에서 4가지 조건을 설정하고 각각의 조건에서 두 개씩의 용접시편(총 8개 시편)을 제작하였다. 3차 실험에서는 동일 조건에서 제작된 두 개의 시편을 Sampler 1과 2에 하나씩 장입함으로써 Sampler의 영향을 배제하였다. Table 4은 대기 조건과 각각의 조건에서 측정한 확산성수소량 결과치를 보여주는 것인데, 수분량 증가에 따라 수소량이 직선적으로 증가하는 경향은 보여 주지 않았다.

Table 4. Results of diffusible hydrogen measurement for the third test.

Specimen No.	Atmosphere condition		Absolute moisture content (g/m ³)	HD content (ml/100g)		Sampler No.
	Temp (°C)	Humi. (%)		Indi.	Avg.	
1	26	78	18.83	2.03	1.93	1
2				1.84		2
3	28	84	22.65	1.67	2.40	1
4				3.13		2
5	32	72	24.11	1.84	2.02	1
6				2.20		2
7	33	77	27.19	2.33	2.21	1
8				2.10		2

3.4 시험결과의 종합 및 검토

모든 시험결과를 종합하여 도표화 한 것이 Fig. 2이다. 수분량이 8~27g/m³의 범위에서 변화함에도 확산성수소량은 거의 일정한 수준을 유지하고 있으며, 28개의 측정치 중에서 26개가 2.0±0.5 ml/100g의 범위 내에 산포하고 있다. 이러한 결과로부터 GMAW에서 확산성수소량에 미치는 대기 조건의 영향은 없는 것으로 판단된다.

그러나 GMAW에서 대기의 혼입이 전혀 없다고 하는 것은 아니다. 왜냐하면 GMAW 용착금속의 질소함량이 모재나 와이어의 질소함량보다도 높게 나타나기 때문이다. 실제로 용착금속의 질소량을 분석하여 보면 20~30ppm 수준인데, 용접과 이어나 모재의 질소함량은 10ppm 이하이었다. 이는 대기 중으로부터 질소가 혼입되었다는 것을 의미한다. 단지 공기의 80%가 질소임으로 극히 소량의 공기가 혼입되어도 질소량은 크게 증가할 수 있는 것이다. 그러나 상대습도가 높다고 하더라도 공기 중의 수분분압은 극히 낮기 때문에 확산성수소량에 미치는 영향은 무시할 수 있을 정도로 적을 것으로 판단된다. 한편 확산성수소량 측정시험에서는 시험오차가 크게 나타나고 있기 때문에 대기의 영향이 적을 경우에는 이를 온전히 규명할 수 없는 것이 현실이기도 하다. 따라서 Fig. 5에서 보여주는 데이터 편차는 확산성수소량을 측정하는 시험과정에서 오는 오차이며, 이러한 오차범위 내에서 대기의 영향은 인식할 수 없을 정도로 적다는 것이다.

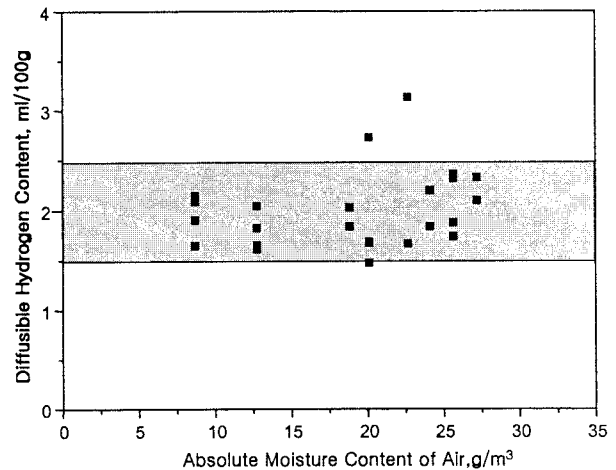


Fig.2 Summary of test results.

4. 결 론

GMAW에서 대기조건이 확산성수소량에 미치는 영향을 규명하기 위하여 항온항습실 내에서 다양한 대기조건을 만들어 각각의 조건에서 확산성수소량을 측정하였는데, 측정 결과로부터 대기조건의 영향은 확인할 수 없었다. 즉 GMAW 용접재료의 확산성수소량은 대기조건의 영향을 받지 않는다는 것이다. 비록 대기의 영향이 있다고 하더라도 그 영향은 시험오차($\pm 0.5 \text{ ml}/100\text{g}$)보다 극히 작은 양일 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Jae-Hak Kim, Hee Jin Kim, Hoi-Soo Ryoo, Jin-Hyun Koh: Current problems in the measurement of diffusible hydrogen content, Journal of KWS, 23-3 (2005), 215
2. Hee Jin Kim: Effect of air condition on diffusible hydrogen content, Journal of KWS, 23-2 (2005), 111
3. Hee Jin Kim: Final Report on the Evaluation of Diffusible Hydrogen Content, Report No. 04-GO-1-0025, KITECH, Korea (2005)
4. P. H. M. Hart: The influence of atmospheric moisture at the time of welding on weld hydrogen level, Welding and Cutting 4-2 (2005), 94

후 기

본 연구는 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행되었고 이에 감사드립니다.