

GMA용접에서 확산성수소량에 미치는 대기수분량의 영향

김재학 · 김희진 · 서준석 · 유희수

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

Jae-Hak Kim, Hee-Jin Kim, Jun-Seok Seo and Hoi-Soo Ryoo

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 용접재료마다 확산성수소량을 측정하여 결과치를 제시하는 것이 일반적이며, 확산성수소량은 용접재료를 구분하거나 평가하는 기준이 된다. 한편 용접현장에서는 필요 예열온도를 산출함에 있어 필히 고려되는 항목이 확산성수소량이다. 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. 만약 공기가 유입되는 양이 많게 되면 동일한 용접재료라고 하더라도 대기 중의 수분함량변화에 따라 확산성수소량 측정치는 차이를 보이게 되는 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 대기조건에 영향을 확실히 파악하여 필요하면 측정치를 보정할 수 있어야 한다. 이에 저자들은 문헌 조사를 통하여 얻어진 결과를 용접방법 별로 분류하여 1차 보고한 바 있는데²⁾, 본 기술보고에서는 보다 광범위하게 실시한 문헌조사 결과를 토대로 1차 보고에서 미진하였던 사항을 보완코자 하였으며, 문헌조사 결과에서 다소 이해하기 어려운 부문에 있어서는 실제 실험을 실시하여 대기조건에 영향을 보다 명확히 정립하고자 하였다.

2. 문헌조사

2.1 피복아크용접(SMAW)

확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 Salter³⁾가 최초로 보고하였는데, 그는 대기의 상대습도에 따라 저수소계 피복아크용접봉의 확산성수소량이 약 3 ml/100g 정도 차이가 날 수 있음을 보고 하였다. 그 후 Wortel⁴⁾은 체계적인 실험을 통하여 대기의 영향을 보다 극명하게 보여주었는데, 저자들은 이들의 결과에 근거하여 동일한 수동용접봉이라고 하더라도 여름에 측정된 결과와 겨울에 측정된 결과 사이에는 최대 3ml/100g의 편차를 보여 줄 수 있다고 보고한 바 있다²⁾. 이러한 계절적인 영향은 Dickehut⁵⁾ 등이 3년 동안에 걸쳐 확산성수소량을 측정된 결과를 Fig. 1과 같이 보고함으로써 증명되었는데, 이 그림에서 보듯이 확산성수소량은 1년을 주기로 일정하게 변화하고 있다. 즉 피복아크용접에 있어서 대기조건은 확산성수소량 측정 결과에 지대한 영향을 미치며, 동일한 용접봉이라고 하더라도 대기의 영향 때문에 여름에 측정된 확산성수소량은 겨울에 측정된 결과치 보다 높을 수밖에 없다는 것이다.

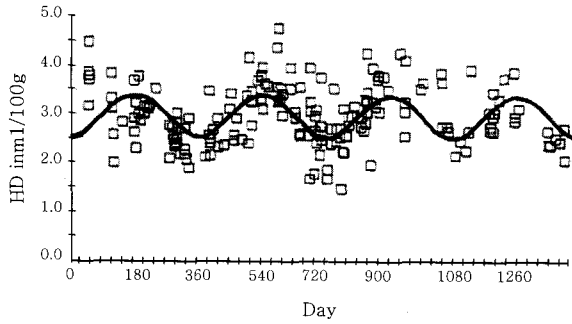


Fig. 1 Result of diffusible hydrogen content measured for 3 years with SMAW process⁵⁾

TWI의 Hart는⁶⁾ 대기의 영향을 체계적으로 분석하여 수식화하였는데, 실험에 의해 측정된 확산성수소량 (HD)을 식(1)과 같이 표현하였다. 즉 HD를 용접재료가 가지는 고유의 확산성수소량, (HD)₀,과 대기 중의 수분 혼입으로 인해 추가되는 수소량, (HD)_{atm},의 합으로 표현한 것이다. 그리고 (HD)_{atm}은 대기 중의 수분량(moisture content, MC)과 직선적인 관계가 있음을 확인하고 식(2)와 같이 표현하였다.

$$HD = (HD)_0 + (HD)_{atm} \quad (1)$$

$$(HD)_{atm} = E \times (MC) \quad (2)$$

여기서, E = 비례상수 또는 기율기

(ml/100g per gH₂O/m³)

MC = 대기 중의 수분량 (gH₂O/m³)

상기한 식(2)에서 보여준 비례상수(E)는 용접 중에 대기로부터 수소가 유입되는 정도를 보여주는 척도인 것이다. Hart는 개인적으로 수집한 자료와 공개된 시험결과를 취합하여 비례상수(E) 값을 계산하여 보고하였는데, 보고된 내용을 Table 1에서 보여 주고 있다. 이 표에서 보듯이 비례상수 값은 용접봉에 따라 편차가 심하여 0.068~0.308 범위에 있으며, 이들의 평균치는 0.129이다. 따라서 대기 중의 수분량이 10gH₂O/m³ 증가하게 되면 피복아크용접봉의 확산성수소량은 평균적으로 약 1.3ml/100g 정도 높아지게 되는 것이다.

이상에서 기술한 바와 같이 피복아크용접에서는 용접재료 별로 차이가 있기는 하지만 많은 시험결과가 축적되어 있으며, 이들은 모두 대기 수분량이 증가할 수록 확산성수소량이 증가함을 일관되게 보여 주었다.

Table 1 Summary of slope values(E) in SMAW⁶⁾

Consumable type	Slope, E (mlH ₂ O/100g per gH ₂ O/m ³)
E7018-1 (6 electrodes)	0.103
E7018G (5 electrodes)	0.082
E7028 (4 electrodes)	0.110
E9018G (3 electrodes)	0.066
E7018-A1 (2 electrodes)	0.123
E7018	0.105
Basic	0.090
E7016	0.211
E7016	0.252
E7016	0.132
E7018	0.132
E7018	0.104
Basic	0.068
Basic	0.068
Basic	0.113
E7018 (long arc)	0.080
E7018 (short arc)	0.120
Basic	0.180
Basic (very low hydrogen)	0.308
Overall average slope	0.129
E7016 average slope	0.198
E7018 average slope	0.104

2.2 서브머지드아크용접(SAW)

저자들이 수행한 문헌조사 중에서 SAW에 관한 것은 Hart의 보고서가⁶⁾ 유일한 것이었다. Hart는 4가지 용접플럭스(플럭스 A, B, C, D)에 대해서 3가지 서로 다른 대기조건(대기 중의 수분량: 8, 21, 32gH₂O/m³)에서 확산성수소량을 측정하였는데, 측정결과를 Table 2에서 보여주고 있다. 이 표에서 보듯이 수분량이 증가함에 따라 확산성수소량이 증가하는 경향은 보이지만 증가 정도는 극히 미미하여 비례상수(E) 값은 0.005~0.05의 범위에 있으며 평균값은 0.03에 지나지 않는다. 피복아크용접(SMAW)에서 보여준 값(0.129)과 비교하여 보면, 이는 극히 적은 값일 뿐만 아니라 시험과정에서 플럭스가 대기로부터 흡수되었을 가능성 및 확산성수소량 측정시험의 시험오차(약 ±10%) 등을 고려한다면 이 정도의 영향은 대기의 영향이라고 단정하기는 어렵다고 판단된다. 비록 한편의 논문에 근거한 것이지만 SAW에서는 플럭스 타입에 관계없이 측정오차 범위 내에서 대기의 영향은 없다고 보는 것이 타당할 것이다²⁾.

2.3 플럭스코어드아크용접(FCAW)

FCA용접은 보호가스를 사용하는 경우(dual-shielded FCAW)와 사용하지 않는 경우(self-shielded FCAW)

Table 2 Results of diffusible hydrogen measurement for SAW process⁶⁾

Flux (type)	Moisture content in air (gH ₂ O/m ³)			Slope, E
	8	21	32	
A (agglomerated)	6.5	6.2	7.4	0.041
B (agglomerated)	2.7	3.2	3.3	0.027
C (agglomerated)	1.7	2.1	1.9	0.005
D (fused)	3.3	3.8	4.3	0.050

로 나누어 검토하였다. 먼저 보호가스를 사용하는 경우에 있어서는 몇몇 연구자들이 수행한 시험 결과가 있는데, 먼저 Matsushita 등은⁷⁾ 대기조건의 영향이 크게 나타남을 보여 주었다. 그들의 시험결과를 Table 3에서 보여 주고 있는데, 대기조건(온도 및 상대습도)의 차이가 그다지 크지 않음에도 확산성수소량은 2배 이상의 차이를 보여 주고 있다. 그리고 Norman 등은⁸⁾ FCAW 용접재료에 대해 확산성수소량을 측정하였는데, 동일 날짜에 측정하더라도 오전에 측정한 결과치가 오후에 측정한 결과치 보다 높게 나타남을 확인하였다. 그들은 이러한 차이를 대기조건이 변화함으로 나타나는 현상이라고 설명하였다.

그러나 상기한 경향과 상반된 결과도 보고되었다. Hart는⁶⁾ 두 가지 FCAW 용접재료(루타일계 및 염

Table 3 Results of diffusible hydrogen measurement for FCAW process⁷⁾

Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	HD Content (ml/100g)
20.5~24.0	30~35	~2.1
27.2~27.8	38~53	~5.2

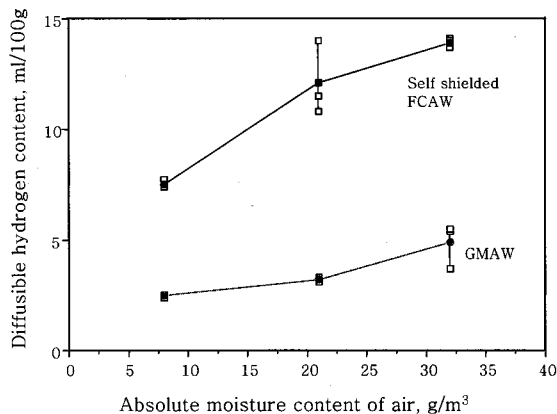


Fig. 2 Effect of absolute moisture content of the air on the diffusible hydrogen content in dual-shielded FCAW process⁶⁾.

기성계)에 대해 서로 다른 대기조건(대기 중의 수분량: 8, 21, 32gH₂O/m³)에서 시험한 결과를 보고하였는데, 그의 결과를 도표화 한 것이 Fig. 2이다. 이 그림에서 보듯이 확산성수소량은 수분량 변화에 상관없이 거의 일정한 수준을 유지하고 있어서 대기조건의 영향은 없다고 하였다. 저자들도 E71T-1계(루타일계) FCAW재료에 대해 확산성수소량을 측정하고, 측정결과를 공기 중의 수분량에 대해 검토한 결과로부터 대기조건의 영향은 극히 적은 것으로 보고한바 있다^{1,2)}.

이상과 같이 보호가스를 사용하는 FCAW에서는 연구자들에 따라 상이한 결과를 보여 주고 있지만, Hart 및 본 저자들의 시험이 보다 체계적으로 수행된 것이기 때문에 이들의 결과로부터 대기의 영향을 판단하는 것이 타당할 것이다. 따라서 FCAW의 확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 무시할 수 있을 정도로 작거나 없다고 하는 것이 타당할 것이다.

한편 보호가스를 사용하지 않는 FCAW(self-shielded FCAW)에서는 용접아크가 플럭스에서 발생하는 가스에 의해서 보호되기 때문에 아크분위기는 피복아크용접과 유사하다고 할 수 있다. 그러나 self-shielded FCAW에서는 가스 발생량이 적기 때문에 대기 혼입이 증가하여 확산성수소량은 대기조건에 보다 민감하게 반응할 것으로 예상된다. 실제로 self-shielded FCAW에서의 확산성수소량과 대기조건의 상관관계는 Fig. 3과 같은데⁶⁾ 대기 중의 수분량이 증가함에 따라 확산성수소량이 급격히 증가함을 알 수 있다. 직선의 기울기는 0.277로써 피복아크용접에서 보여준 기울기(0.129)보다 두 배 이상으로 큰 수치이다. 결국 self-shielded FCAW에서는 공기의 혼입이 무척 많아서 대기조건이 확산성수소량에 미치는 영향이 매우 크다는 것이다. 이러한 결론은 self-shielded

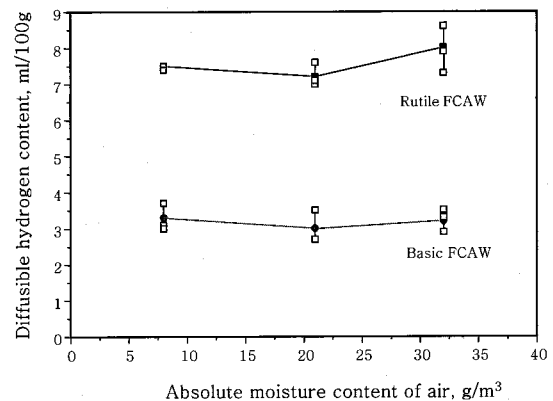


Fig. 3 Effect of absolute moisture content of the air on the diffusible hydrogen content in self-shielded FCAW and GMAW process⁶⁾

FCAW 용착금속의 화학조성에서 질소성분이 매우 높게 나타난다는 사실에 의해서도 입증되는 것이다⁹⁾.

2.4 가스메탈아크용접(GMAW)

GMAW는 솔리드와이어에 보호가스를 사용하기 때문에 대기조건의 영향이 적거나 거의 없을 것으로 예상되는 기법이다. 그러나 Hart가 보고한 결과를 보면⁶⁾, Fig. 3에서 보여 주듯이, 대기 중의 수분량이 증가함에 따라 확산성수소량이 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 그리고 직선의 기울기는 약 0.102인데, 이러한 기울기는 SMAW의 평균치(0.129)와 유사할 정도로 큰 수치이기 때문에 GMAW에서의 대기조건의 영향은 상당히 크다고 할 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 2에서 보여준 dual-shielded FCAW의 경우와 커다란 차이를 보여 주는 것이다. GMAW 및 dual-shielded FCAW 모두 보호가스를 사용하는 기법임에도 불구하고 GMAW에서만 대기조건의 영향이 크게 나타나고 있는 것이다. Hart는 이러한 차이에 대해 적절한 해석을 하지 못하고 오히려 이러한 결과를 토대로 보호가스의 보호 능력이 GMAW에서는 크게 저하하는 것이라고 하였다.

3. 기술보고의 배경

상기한 문헌조사 결과를 종합하여 보면, 확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향은 용접기법에 따라 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 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 확인하고¹⁰⁾, 그러한 결과는 Hart의 결과와 동일함을 본 학술지에 보고한 바 있다^{1,2)}. 문제는 GMAW에 있어서 대기의 영향이 크게 나타난다고 보고한 Hart의 실험결과이다. 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. 본 기술

보고에서는 그러한 시험내용 및 결과를 보고하고자 하는 것이다.

4. 실험방법

본 실험의 목적이 GMAW에서 확산성수소량에 미치는 대기의 영향을 규명하는 것이기 때문에 대기 중에 함유한 수분량 만을 변수로 하여 확산성수소량 측정시험을 수행하였다. 시험이 진행되는 동안 대기조건을 일정하게 유지하기 위해 항온항습실을 자체 제작하였다. 항온항습실은 콘테이너 박스를 개조하여 제작하였는데, 콘테이너 박스 내부의 온도는 별도의 항온설비 없이도 일정 온도를 유지할 수 있어서 내부에는 항습설비만을 설치하여 임의의 습도를 설정할 수 있도록 하였다. 용접전원은 외부에 설치하고 그 밖의 용접장비(토치 및 토치 이송장치)와 시편제작에 필요한 지그류는 내부에 설치하였다.(Fig. 4) 그리고 대기조건을 제외한 모든 시험변수를 동일하거나 일정하게 유지하였다. 용접와이어(ER120S-1, 직경: 1.2mm)는 한 개의 스펀에 감긴 와이어만을 사용하였으며, 보호가스(Ar+5%CO₂) 또한 한 개의 봄베에 저장된 가스만을 사용하였다. 모든 시험은 동일한 용접조건에서 수행되었으며, 사용된 용접조건은 Table 4와 같다. 확산성수소량측정은 GC장비를 사용하였으며 포집조건은 45℃에서 72시간으로 하였다. 측정에 사용된 시편의 크기는 25(W) × 12(T) × 40(L)mm이었다.

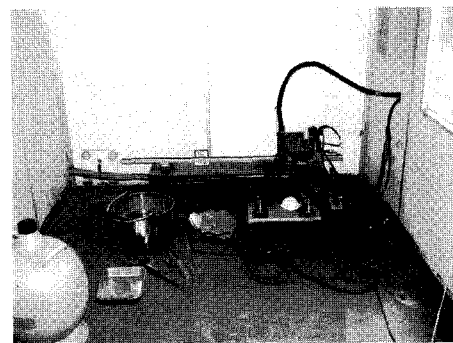


Fig. 4 Test setup equipped in the environmental chamber to keep constant temperature and humidity

Table. 4 Welding condition employed in this investigation

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

그리고 기타 시험조건 및 방법은 ISO 3690 규격을 준수하였다¹¹⁾. 시험은 모두 3차 걸쳐 수행되었는데, 이는 보다 신뢰성 있는 결론을 도출키 위한 것이었다.

5. 실험결과

5.1 1차 실험 결과

1차 실험의 목적은 향온향습실의 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 5에서 보여 주고 있다. 향온향습실의 온도는 25~27℃ 범위에서 일정하게 유지되었으며, 상대습도는 34%와 88%의 범위에서 임의대로 설정할 수 있음을 확인하였다. 이에 두 가지 대기조건을 설정하여 시험을 수행하였는데, 각각의 조건에서 대기수분량은 8.68과 20.09g/m³이었다. 본 연구소에서 보유하고 있는 GC장비에는 두 개의 샘플러가 구비되어 있기 때문에 대기조건을 두 가지로 한정하였던 것이다. 각각의 샘플러에는 동시에 4개의 시편을 장입할 수 있어서 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. 시험결과에 있어 특이한 점은 고습도 조건에서 시험한 첫 번째 시편에서 두드러지게 높은 결과(2.73ml/100g)를 보여 주고 있다는 것이다. 이로 인하여 표준편차가 크게 증가하는 원인이 되었다.

5.2 2차 실험 결과

1차 실험결과의 재현성을 검증하기 위해 수분량이 보다 높은 대기 조건에서 동일한 시험을 반복하였다. 2차 실험에서의 대기조건은 Table 6과 같은데 각각의 조건에서 환산된 대기수분량은 12.73과 25.64g/m³이었다. 이들은 1차 시험에 비해 약 5g/m³ 정도 높은 조건들이다. 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. 따라서 확산성수소량이 증가된 원인이 대기조건의 영향이라고 단정하기에는 증가량이 너무 적은 것으로 판단되었다.

Table 5 Results of diffusible hydrogen measurement for the first test

Specimen No.	Atmosphere condition		Absolute moisture content (g/m ³)	HD content (ml/100g)		Standard deviation	Sampler No.
	Temp. (°C)	Humidity (%)		Individual	Average		
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			

Table 6 Results of diffusible hydrogen measurement for the second test

Specimen No.	Atmosphere condition		Absolute moisture content (g/m ³)	HD content (ml/100g)		Standard deviation	Sampler No.
	Temp. (°C)	Humidity (%)		Individual	Average		
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			

5.3 3차 실험 결과

1차 실험에서는 대기조건의 영향이 없는 것으로 나타났다지만 2차 실험에서는 비록 시험 오차범위이기는 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. 3차 실험에서는 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 7은 대기조건과 각각의 조건에서 측정된 확산성수소량 결과치를 보여주는 것인데, 수분량 증가에 따라 수소량이 직선적으로 증가하는 경향은 보여 주지 않았다.

5.4 시험결과와 종합 및 검토

3차에 걸친 시험결과를 종합하여 도표화 한 것이 Fig. 5이다. 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 대기조건의 영향은 없는 것으로 판단된다. 이러한 결론은 Hart의 실험결과와는 상이한 것이기 때문에 향후 다른 연구자에 의해 검증될 필요가 있다고 본다. 그러나 본 보고에서 제시한 결론은 8가지의 대기조건에서 시험한 결과에 근거한 것인데 반하여, Hart의 실험은 단지 3가지 조건에 한정되어 있기 때문에 신뢰성 측면에 있어서 본 보고에서 제시한 결론이 보다 타당할 것으로 생각된다.

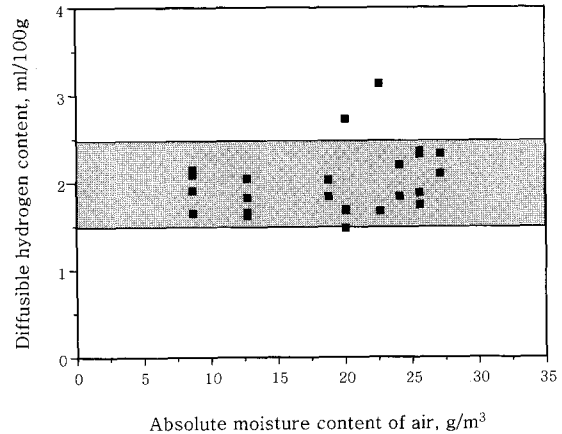


Fig. 5 Summary of test results

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, 용접와이어나 모재의 질소함량은 10ppm 이하이었다. 용착금속의 질소함량이 용접와이어 보다 높다는 것은 대기 중으로부터 질소가 혼입되었다는 것을 의미하는 것이기 때문에 GMAW의 아크 내부로 공기가 일부 혼입된다고 보아야 할 것이다. 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 시험 오차가 크게 나타나고 있기 때문에 대기의 영향을 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.

Table 7 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)	Humidity (%)		Individual	Average	
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

6. 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 량일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 기술보고는 국방과학기술연구소에서 주관하는 민군겸용 기술개발사업의 일환으로 수행되었으면, 이에 본 사업을 지원을 하여 주신 관계자 여러분들께 감사드립니다.

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. G. R. Salter: Hydrogen absorption in arc welding, *British Welding Journal*, **10-6** (1963), 316
 4. J. C. van Wortel : Reproducibility and reliability of hydrogen measurements at a level of less than 5ml per 100g deposit weld metal (SMAW)", *IIW Doc. II -1212-93* (1993)
 5. G. Dickehut, U. Hotz: Effect of climatic conditions on diffusible hydrogen content in weld metal, *Welding Journal*, **71-1** (1991), 1s
 6. 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
 7. M. Matsushita, S. Liu: Hydrogen control in steel weld metal by means of fluoride addition in welding flux, *Welding Journal*, **80-10** (2000), 295s
 8. D. Nolan and M. Pitrun : A comparative study of diffusible hydrogen test methods, *Australasian Welding Journal* **48 fourth quarter** (2003), 36
 9. 용접접합편람, 대한용접학회 (1998), 561
 10. Hee Jin Kim: Final Report on the Evaluation of Diffusible Hydrogen Content, Report No. 04-GO-1-0025, KITECH, Korea (2005)
 11. ISO 3690 : Welding and allied process determination of hydrogen content in ferritic steel arc weld metal, International Standard second ed. (2000)



- 김재학(金載學)
- 1979년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접부 확산성수소량 측정
- e-mail: kjh0479@kitech.re.kr



- 서준석(徐俊錫)
- 1979년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접재료개발
- e-mail: jss3953@kitech.re.kr



- 김희진(金喜珍)
- 1953년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접전원파형제어, 용접재료개발
- e-mail : kimhj@kitech.re.kr



- 유희수(柳會洙)
- 1965년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 디지털용접전원개발, 자동제어, 집합조직
- e-mail : hsrwoo@kitech.re.kr