

## 확산성수소량에 미치는 용접입열의 영향

김재학 · 서준석 · 김희진 · 유희수

### Effect of Welding Heat Input on Diffusible Hydrogen Content

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

#### 1. 서 론

철강용접부에서 확산성수소(diffusible hydrogen)는 저온균열을 발생시키는 주요 인자가 되기 때문에 용접 재료를 선정함에 있어 확산성수소량은 주요한 평가 항목이 된다. 더구나 최근 고장력강의 사용량이 증대하고 800MPa급 강재의 적용이 확대됨에 따라 용접재료에 대한 확산성수소량 저감 요구는 더욱 증가하게 되었다. 이러한 수요자들의 요구에 대응하여 용접재료 생산자들은 확산성수소량이 5ml/100g 이하인 극저수소계 용접 재료를 개발하여 시판하고 있다. 그런데 용접재료의 확산성수소량은 대기조건, 용접조건, 측정자의 숙련도 등에 의해 영향을 받기 때문에 동일한 용접재료를 사용한다고 하더라도 조건의 차이 또는 숙련도의 차이로 인하여 측정치에 편차를 주게 된다. 확산성수소량이 큰 경우에는 이러한 편차가 무시될 수 있겠지만 극저수소계인 경우에는 이러한 편차가 상대적으로 크게 나타나기 때문에 이에 대해 검토가 필요한 것이다. 그리고 편차가 무시할 수 없는 정도로 크다고 판단되는 경우에는 이에 대한 대책도 수립할 필요가 있다.

본 기술보고에서는 국내 중공업사에서 가장 많이 사용하는 FCAW 용접재료를 대상으로 대기 및 용접조건에 따른 확산성수소량 변화 정도를 확인하고, 각각에 대한 대처방안을 제시하고자 하였다.

#### 2. 문헌 조사

##### 2.1 대기조건의 영향

SMAW에 있어서 대기조건이 확산성수소량에 미치는 영향은 여러 연구자들에 의해 확인되었으며<sup>1,2)</sup>, 이들의 시험결과를 근거로 하여 동일한 수동용접봉이라고 하더라도 여름에 측정된 결과와 겨울에 측정된 결과 사이에

는 최대 3ml/100g의 편차를 보여 줄 수 있음이 제시되었다<sup>3)</sup>. FCAW에 있어서도 확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향에 대해서 몇몇 연구자들이 보고한 바 있다. Norman 등<sup>4)</sup>은 확산성수소량에 대해 오전과 오후에 시험한 결과치가 상이함을 확인하고, 이러한 차이를 설명함에 있어 이를 대기조건의 영향이라고 하였다.

Hart 등<sup>5)</sup>은 보다 넓은 범위의 대기조건(절대습도: 8, 21, 32g/cm<sup>3</sup>)에서 측정된 결과치를 보여주었는데, GMAW에서는 대기조건의 영향이 있는 것으로 확인되었으나 FCAW 용접재료에 있어서는 대기조건의 영향이 거의 없다는 시험결과를 보여 주었다.

한편 저자들이 시험한 결과를 보면, 시판 중인 국산 FCAW 용접재료의 경우에 있어서 대기조건의 영향은 극히 적은 것으로 나타났다<sup>3)</sup>. 결국 FCAW에 있어서 대기조건의 영향은 연구자들에 따라 상이한 결과를 보여 주고 있지만, 이들의 결과를 종합하여 보면 대기조건의 영향은 거의 없거나, 있다고 하더라도 다른 변수들의 영향에 비해 극히 적다는 것이다. 따라서 FCAW 용접재료에 있어서 대기조건의 영향은 무시할 수 있는 정도라고 하겠다.

##### 2.2 용접조건의 영향

FCAW에서 주요한 용접조건 변수는 용접전압(V), 전류(A), 속도(S) 및 콘택트팁과 모재간 거리(CTWD = Contact Tip to Work Distance)등이다. Kiefer 등<sup>6)</sup>의 보고에 의하면 용접전압 및 전류는 확산성수소량과 양의 상관관계가 있는데 반하여 CTWD는 음의 상관관계를 가진다. 반면에 용접속도는 영향이 전혀 없는 것으로 보고하였다. Sierdzinski 등<sup>7)</sup>은 동일한 입열조건에서 CTWD가 감소함에 따라 또는 용접전류가 증가함에 따라 확산성수소량이 증가함을 보여 주었다. 이들은 각각의 용접변수들이 확산성수소에 미치는 영향을 보여주는 것으로써, 이들의 조합으로 이루어지는 용접

입열의 영향을 직접적으로 보여 주지는 못 하였다. 하지만 용접전류 및 전압이 양의 상관성을 가지고 있고 용접속도는 영향이 없으므로 FCAW에서 용접입열 ( $V \cdot A/S$ )이 증가하면 확산성수소량은 증가할 것으로 예상된다.

### 3. 용접입열의 영향

FCAW에서 용접입열이 확산성수소량에 미치는 영향을 직접적으로 확인하기 위하여 넓은 입열범위에서 확산성수소량 측정시험을 수행하였다. 용접재료는 직경 1.2mm의 ER71T-1규격의 FCAW와이어이었고, 용접조건은 Table 1과 같다. 먼저 CTWD는 확산성수소량에 지대한 영향을 미침으로 이를 20mm로 일정하게 하였다. 용접속도는 28cm/min으로 일정하게 하였는데, 7kJ/cm의 입열조건에서는 이를 40cm/min로 하였다. 각각의 조건에서 4개의 용접시편을 제작하였으며, 확산성수소량은 AWS A4.3규격에 의거한 가스크로마토그래프(GC)법으로 측정하였다<sup>8)</sup>.

각각의 조건에서 얻어진 확산성수소량 측정결과는 Table 2 와 Fig. 1에서 보여주고 있다. 이들 결과에서 알 수 있듯이 확산성수소량에 미치는 용접입열의 영향은 입열 수준에 따라 달리 나타나고 있다. 먼저 용접입

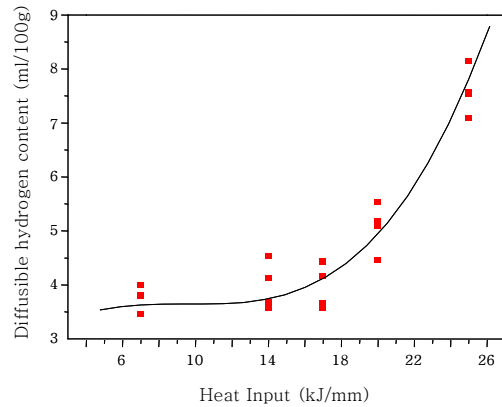


Fig. 1 Effect of heat input on diffusible hydrogen content

열이 7~17kJ/cm의 범위에서는 확산성수소량이 3.8~4.0ml/100g 수준에서 일정하게 유지되고 있는데, 이는 용접입열의 영향이 거의 없다는 것이다. 그러나 17kJ/cm 이상의 고입열 영역에서는 입열이 증가할수록 확산성수소량이 급격히 증가하여 25kJ/cm의 입열에서는 7.59ml/100g에 이르고 있다. 결국 동일한 용접재료라고 하더라도 저입열조건에서 측정하면 H4급 용접재료가 되고, 고입열조건에서 측정하면 H8급의 용접재료가 되는 것이다.

이상과 같이 FCAW 용접재료는 용접변수가 확산성수소량에 미치는 영향이 지대하여, 용접변수가 변경되면 재료의 규격이 바뀌어야 하는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해서는 용접조건을 명확히 제시하여 모든 시험데이터가 동일한 조건에서 측정되도록 하여야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 AWS A4.3규격에서는 용접조건을 생산자가 자의적으로 결정하여 적용할 수 있도록 허용하고 있다. 만약 생산자가 제시한 용접조건이 사용자가 사용하는 용접조건과 상이할 경우에는 사용자가 별도의 시험을 수행하여야 하는 불편함이 따르는 것이다. 한편 유럽규격인 ISO/FDIS 18276에서는 용접재료를 제조하는 자가 확산성수소량을 제시하고, 이를 보증할 수 있는 용접조건 범위(welding parameter envelope)를 규정할 수 있도록 허용하고 있다<sup>9)</sup>. Fig. 2는 6ml/100g의 확산성수소량을 보증할 수 있는 용접조건 범위(welding parameter envelope)의 예를 보여 주는 것이다. 그런데 이러한 범위를 온전히 제시하기 위해서는 많은 양의 시험이 요구되어 생산자에게는 커다란 부담으로 작용하게 될 것이다. 이러한 부담을 줄이기 위해서는 수요자와 생산자가 협의하여 대표적인 용접조건을 와이어 직경별로 선정하고, 이를 회사, 단체 또는 국가규격으로 발전시키는 것이다.

Table 1 Heat inputs and welding conditions

Heat Input (kJ/cm)	Welding Condition			
	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	CTWD (mm)
7	200	23	40	20
14	250	25	28	20
17	270	28	28	20
20	300	30	28	20
25	340	34	28	20
25	340	34	28	20

Table 2 Result of diffusible hydrogen tests

Heat Input (kJ/cm)	Diffusible Hydrogen Content (ml/100g)		Moisture Content (g/m <sup>3</sup> )
	Individual data	Average	
7	3.8, 3.47, 4.00, (8.70)	3.75	20.15
14	4.54, 4.13, 3.58, 3.68	3.98	17.14
17	4.16, 3.59, 3.67, 4.44	3.96	17.14
20	4.46, 5.53, 5.10, 5.18	5.07	17.14
25	7.10, 7.56, 7.55, 8.14	7.59	20.15

( )의 측정치는 평균에서 제외함

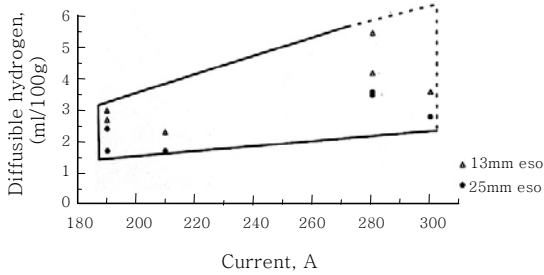


Fig. 2 Example of diffusible hydrogen envelope

#### 4. 맺 음 말

용접재료의 확산성수소량에 영향을 미칠 수 있는 변수에는 대기조건과 용접조건 등이 있는데, FCAW용접재료의 경우에 있어서 대기조건의 영향은 미미하지만 용접조건의 영향은 매우 크다는 사실이 확인되었다. 국내에서 시판 중인 극저수소계 FCAW 용접재료를 대상으로 하여 확산성수소량을 측정된 결과, 입열조건에 따라 H4등급 또는 H8등급으로 분류될 수 있음이 확인되었다. 따라서 용접재료의 확산성수소량 측정치를 제시할 경우에는 측정시 적용한 용접조건을 필히 제시해 주어야 한다. 그리고 서로 다른 용접조건에서 측정된 데이터는 상호 비교 평가가 어려움으로 모두 동일한 조건에서 측정되도록 규격화하는 노력이 필요할 것이다.

#### 후 기

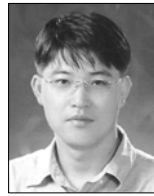
본 연구는 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행되었고 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. C. van Wortel: Reproducibility and reliability of hydrogen measurements at a level of less than 5ml per 100g deposit weld metal, IIW Doc. II-1212-93 (1993)
2. G. Dickehut U. Hotz: Effect of climatic conditions on diffusible hydrogen content in weld metal, Welding Journal, **71-1** (1991), 1-s
3. Hee Jin Kim: Effect of air condition on diffusible hydrogen content, J. of KWS, **23-2** (2005), 112 (in Korean)
4. D. Norman, M. Pitrun: A comparative study of diffusible hydrogen test methods, Australian Welding Journal, **48**, 4th quarter (2003), welding research supplement 36
5. P. H. M Hart: The influence of atmospheric moisture at the time of welding on weld hydrogen level, Welding and Cutting **4** (2005), No. 2, 94
6. J. H. Kiefer: Effect of moisture contamination and welding parameters on diffusible hydrogen, Welding Journal, **76-5** (1996), 156-s
7. M. S. Sierdzinski and S. E. Ferree: New flux cored wires control diffusible hydrogen levels, Welding Journal, **78-2** (1998), 45
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', 1993, American welding Society, Miami, FL, USA
9. ISO/FDIS 18276: Welding consumables-Tubular cored electrodes for gas-shielded and non-gas-shielded metal arc welding of high-strength steels- Classification, ISO (2004)



- 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
- 용접진원파형제어, 용접재료개발
- e-mail : kimhj@kitech.re.kr



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