기술보고

확산성수소량에 미치는 대기조건의 영향

김 희 진

Effect of Air Condition on Diffusible Hydrogen Content

Hee-Jin Kim

1. 기술개요

철강 용접부에 있어서 확산성수소는 저온균열을 발생시키는 주요 요인 중의 하나이다[1]. 따라서 저온균열에 민감한 용접부에 대해서는 확산성수소를 최소화하기 위한 대책들이 수반된다. 가장 우선적으로 채택하는 대책은 저수소계 용접재료를 선정하는 것이다. 일반적으로 저수소계 용접재료는 SMAW의 수동용접봉에 한하여 규격화되어 있는데, AWS규격에서는 이들을 EXX15, EXX16, EXX18 등으로 분류하고 있다. AWS의 저수소계 용접봉은 확산성수소량에 따라 보다 세분화하여 H16, H8, H4 등으로 구분되어 있다. H16, H8, H4는 확산성수소량이 16, 8, 4ml/100g 이하임을 칭하는 것이다[2].

수동용접봉 이외에도 서브머지드아크용접(SAW)용 플럭스와 플럭스코어드와이어 등은 확산성수소량이 비교적 높은 재료로 알려져 있지만, 이들 재료에 대해서는 저수소계를 별도로 분류하지 않고 있다. 이들 재료는 확산성수소량이 높더라도 대부분 15㎖/100g이하로 생산되고 있기 때문에 저수소계를 별도로 분류할 필요성이 없었기 때문이다. 그러나 최근 이들 재료에 대해서도 극저수소계에 대한 산업계의 요구가 증가함에 따라 FCAW 용접재료에 대해서는 수동 용접봉과 동일하게 H16, H8, H4 등으로 구분하고 있다[3].

한편 확산성수소량은 용접 예열온도(preheating temperature)를 설정함에 있어서 매우 중요한 인자이다. 용접관련 규격에서 규정하는 용접 예열온도는 모재의 탄소당량, 용접입열 및 확산성수소량의 함수로써 결정되는데, Fig. 1은 확산성수소량에 따른 예열온도의 변화를 보여주는 것이다[4]. 이 그림은 용접입열이 2kJ/mm인 조건에서 두께 50mm인 A516 Gr70강재에 요구되는 예열온도를 보여주는 것인데, 적용규격에 따라 차이는 있지만 확산성수소량이 증가함에 따라 보다 높은 예열온도가 요구됨을 보여 주는 것이다. 예를 들면, 확산

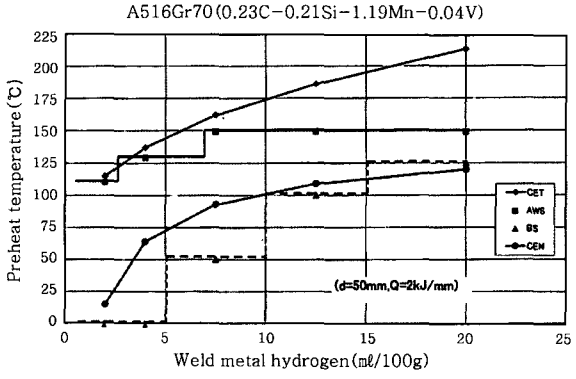

Fig. 1 Effect of hydrogen content on preheating temperature determined by various specification[4].

성수소량이 5㎖/100g에서 10㎖/100g으로 증가하면 예열온도는 약 50℃정도 상승하게 되는 것이다. 이러한 이유 때문에 용접시공업자들은 확산성수소량이 보다 낮은 용접재료를 요구하게 되고, 이러한 요구는 구조용강의 강도가 고강도화되면서 더욱 강하게 표출되고 있다.

2. 대기조건의 중요성

이상에서 기술한 바와 같이, 용접재료의 확산성수소량은 용접재료 생산자 입장에서 보면 용접재료를 분류하는 품질요인이 되고, 용접시공자 입장에서 보면 예열온도를 설정하는 기준이 된다. 이러한 상황에서 최근 H4급의 극저수소계 용접재료가 보편화됨에 따라 측정오차를 최소화하는 것이 필요하게 되었다. 즉 H16급 용접재료에서는 2㎖/100g의 측정오차는 그다지 문제가 되지 않지만, H4급에서 측정오차가 2㎖/100g라면 측정의 의미를 상실하게 되는 것이다. 이러한 이유 때문에 확산성수소량를 측정함에 있어 측정치의 정확성은 매우 중요하게 되었다.

측정치의 정확성을 향상시키기 위해서는 무엇보다 측정기법(글리세린치환법, 수은치환법, 가스크로마토그라

프법)이 온전히 정립되어 있어야 하고, 다음으로는 측정치에 영향을 줄 수 있는 모든 인자들이 명확히 규정되어 있어야 한다. 그런데 국내외적으로 확산성수소량을 일상적으로 측정하고 있음에도 불구하고 이러한 모든 사항이 명확치 않은 것이 현실이다. 측정기법의 문제점, 특히 국내에서 가장 많이 사용하는 가스크로마토그라프법의 문제점에 대해서는 저자들이 기 보고한 바 있다[5]. 그래서 본 보고에서는 측정조건에 따른 문제점에 대해 기술하고자 하는 것이다. 왜냐하면 측정기법이 온전히 정립되어 있다고 하더라도 측정조건에 따라 결과치가 달라질 수 있기 때문이다.

확산성수소량에 영향을 줄 수 있는 측정조건에는 용접조건(welding condition), 용접시의 대기조건(air condition) 등이 있다. 용접조건에 대해서는 많은 연구자들이 연구를 수행하여 확산성수소량과의 관계가 다수 보고된 바 있다[6-9]. 그리고 용접조건을 통일하게 되면 용접조건의 영향은 배재할 수 있는 것이다. 그러나 대기조건은 시험자가 임의적으로 설정키 어려운 조건이다. 그렇기 때문에 대부분의 확산성수소량 측정 시험은 서로 다른 대기 조건에서 측정할 수밖에 없는 것이다. 이러한 상황에서 대기조건이 확산성수소량에 영향을 미친다면 이를 반드시 고려하여야 함에도 불구하고 이러한 고려는 하지 않고 있는 것이 현실이다. 결국 확산성수소량 측정 시험을 수행함에 있어 대기조건의 영향은 거의 무시되고 있는 것이다. 이에 본 보고에서는 문헌조사를 통하여 얻어진 결과와 저자들의 연구실에서 얻어진 결과를 기술하면서, 대기조건의 영향과 향후 과제에 대해 기술하고자 하였다.

3. 수동용접에서의 대기조건(air condition)의 영향

용접을 수행함에 있어 주변의 공기가 혼입되지 않도록 아크와 용융풀을 보호하는 것이 용접의 기본이다. 그러나 진공에서 용접하지 않는 한, 어떠한 방법을 사용하더라도 주변의 대기로부터 이들을 완전히 격리시킬 수 없는 것이다. 그럼으로, 용접기법 별로 차이는 있겠지만, 대기 중에 함유한 수분이 확산성수소량에 영향을 주게 된다.

Wortel은 극저수소계(H4) 수동용접봉을 대상으로 하여 대기조건의 영향을 연구한 바 있다[10]. 용접시 주위 대기조건은 공기의 온도와 상대습도로 표현되는데, 이들을 측정하게 되면 Fig. 2의 관계에 의해 절대습도로 환산된다. 절대습도는 단위부피에 함유된 수분량(g/m^3)으로 표현되는 것이다. 이렇게 환산된 절대습도와 수동용접에서 얻어진 확산성수소량을 대응시켜 Fig. 3의 결과를 얻게 되었는데, 이 그림에서 알 수 있듯이 이들 사이에는 직선적인 관계가 성립한다. 그리고 이들의 관계를 수식화 하면 다음과 같은 일차식으로 표현되며, Fig. 3에서 보여준 직선의 기울기는 0.092이다.

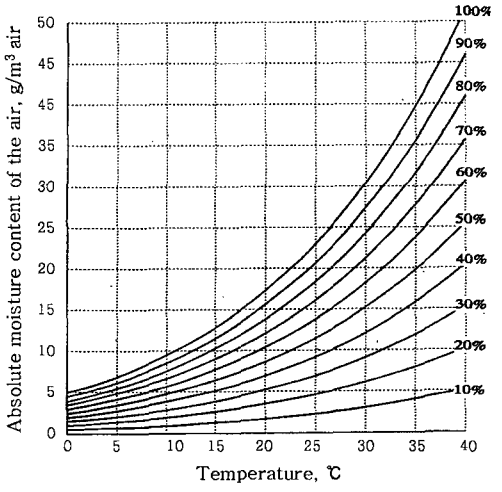

Fig. 2 Moisture content of air as a function of temperature and relative humidity[10]

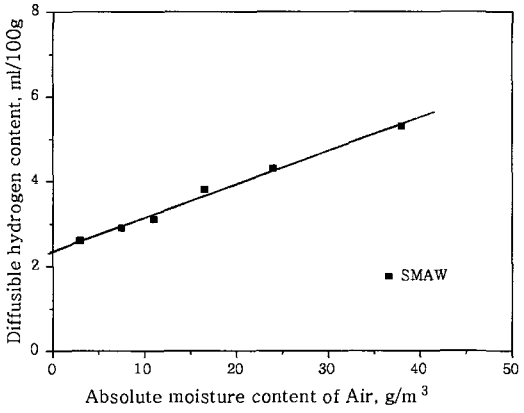

Fig. 3 Effect of moisture content on diffusible hydrogen content in SMAW[10]

$$HD = (HD)_0 + a \cdot X \quad (1)$$

여기서, HD = 확산성수소량(㎖/100g)

$(HD)_0$ = 용접재료가 가지는 고유의 확산성수소량 (㎖/100g)

X = 용접하는 장소에서의 절대습도(g/m^3)

a = Fig. 3의 직선에서 얻어지는 기울기

여기서 우리나라의 기후조건을 참고하여 확산성수소량의 변화를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 추운 겨울에 기온이 5℃이고 상대습도가 30%라고 하면 절대습도는 $2g/m^3$정도 이며, 무더운 여름에 기온이 35℃이고 상대습도가 90%라고 하면 절대습도는 $32g/m^3$에 이른다.

즉 우리나라 기후조건에서 절대습도는 연중 2~32g/m^3 범위에 있게 되는 것이다. 이러한 범위를 Fig. 3에서 확산성수소량으로 환산하면 약 3㎖/100g의 차이를 보여 주게 된다. 즉 동일한 수동용접봉이라고 하더라도 여름에 측정한 결과와 겨울에 측정한 결과 사이에는 최대 3㎖/100g의 편차를 보여 줄 수 있다는 것이다. 실제로 Salter[11]는 대기의 습도가 25%에서 72%로 증가함에 따라 확산성수소량은 약 3ml/100g 증가하였다고 보고 하였다[10].

계절적인 요인에 대해서는 Dickehut[12] 등이 보다 자세한 연구를 수행하였는데, 4년 동안 측정한 결과치가 1년을 주기로 일정하게 변화함을 보여 주었다. 즉 겨울에 측정한 확산성수소량은 최저치를 보이며, 여름에 측정한 결과치는 항시 최대치를 보여 주었던 것이다. 그들은 그러한 변화를 보정하기 위하여 확산성수소량을 대기 중의 수분 분압(partial pressure)의 함수로 표현하였다.

$$HD = (HD)_0 + E\,(P_{H2O})^{1/2} \qquad (2)$$

여기서, HD = 확산성수소량(㎖/100g)

$(HD)_0$ = 용접재료가 가지는 고유의 확산성수소량 (㎖/100g)

$E\,(P_{H2O})^{1/2}$ = 수분 분압에 의해 공급되는 수소량

상기한 시험식 (1) 과 (2)는 서로 다른 대기조건에서 측정한 결과치를 비교평가함에 있어서 매우 유용한 결과이다. 용접재료를 생산하는 기업에서는 계절에 따른 편차와 품질의 편차를 구분할 수 있도록 하여주고, 용접시공자에게는 작업현장의 기후조건에서 주어지는 확산성수소량을 예측할 수 있도록 하여 주는 것이다.

4. FCAW에서의 대기조건(air condition)의 영향

보호가스를 사용하는 플럭스코어드아크용접(FCAW)에 있어서도 주변 공기가 보호가스에 혼입될 수 있음으로 용접 현장의 온도와 습도가 확산성수소량에 영향을 미치게 된다. FCAW에서 대기조건의 영향에 대한 보고는 Norman[13] 등의 보고가 있다. 그는 하루를 정하여 오전부터 오후까지 여러개의 용접시편을 제작하고, 확산성수소량을 측정하였는데, 오전에 용접한 결과는 시간이 경과함에 따라 감소하였으나, 오후에 용접한 결과는 비교적 일정하다는 결과를 얻었던 것이다. 즉 동일 날짜에 용접시편을 준비하였더라도 오전, 오후에 따라 결과치가 상이할 수 있음을 실험적으로 보여 주었던 것이다. 그는 이러한 차이를 단순히 상대습도의 차이로 해석하였다.

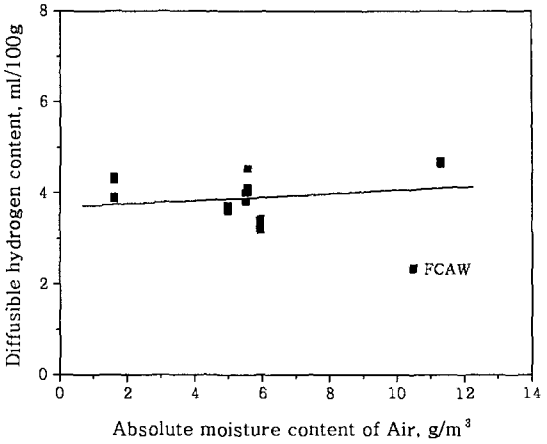

Fig. 4 Effect of moisture content on diffusible hydrogen content in FCAW[5]

한편 저자는 수은치환법의 신뢰성을 검증하는 단계에서 동일한 FCAW재료에 대해 수차에 걸쳐 확산성수소량을 측정하고, 측정결과를 공기 중의 수분량에 대해 검토하여 보고하였다[5]. 검토 결과를 Fig. 4에서 보여주고 있는데, 용접시편 제작할 당시의 대기중 수분량이 증가함에 따라 수소량이 다소 증가하는 경향을 보여 주었는데 기울기는 0.036이었다. 이러한 기울기는 수동용접에서 보여준 기울기(0.092) 보다는 매우 적은 것이다. 이러한 결과로부터 FCAW에서는 대기조건의 영향이 매우 적은 것으로 생각된다. 즉 보호가스를 사용하는 FCAW에서는 아크 및 용융풀을 보호가스가 보호하여 주기 때문에 주변 공기가 혼입될 가능성이 매우 적기 때문에 나타난 결과로 해석된다.

이상에서 기술한 바와 같이, FCAW와 관련된 연구는 아직 충분치 못하다. 비록 한정된 수분량 범위(12g/m^3 이하)에서 대기 중의 수분량이 증가하면 확산성수소량이 다소 증가하는 경향을 보여주었지만, 확산성수소량의 시험오차 범위를 고려한다면 보다 넓은 범위에서 수분량의 영향을 검토하여 보아야 할 것이다. 즉 FCAW에 대해서도 Fig. 3의 SMAW와 같은 상관관계가 보다 넓은 범위에서 확인되어야 한다는 것이다.

5. SAW에서의 대기조건(air condition)의 영향

SAW에서는 용접부를 플럭스가 덮고 있기 때문에 대기의 영향이 없을 것으로 생각할 수 있는데, 한편으로는 플럭스 입자 사이에 혼입된 공기가 용접부의 확산성수소량이 영향을 미칠 수도 있는 것이다. 이러한 예측이 사실이라면, SAW에서도 대기조건을 고려하여야 할 것이다. 그러나 SAW와 관련하여 대기조건의 영향을 보고한 자료는 찾아 볼 수 없었다.

6. 맺 음 말

용접아크를 대기로부터 차단하기 위하여 여러 가지 방법이 사용되는데, 그러한 방법의 차이로 인하여 확산성수소량에 미치는 대기의 영향은 다르게 나타난다. 이러한 차이를 SMAW, FCAW 및 SAW를 대상으로 하여 살펴보았는데, 문헌에 확인된 사항들을 종합하면 다음과 같다.

(1) 확산성수소량을 측정함에 있어 대기조건의 영향은 무시하지 못할 정도로 나타나고 있다. 그리고 그러한 영향은 용접재료가 가지는 고유의 수소량에 관계없이 항시 일정하게 나타남으로 확산성수소량이 낮은 저수소계(H8) 또는 극저수소계(H4) 용접재료에서는 대기조건의 영향이 상대적으로 크게 나타나게 된다.

(2) 대기조건은 대기의 온도와 상대습도로 표현된다. 이를 공기 중의 수분량으로 환산하여 확산성수소량과의 상관성을 확인하여 보면 이들 사이에는 직선적인 관계가 있음이 SMAW에서는 실험적으로 확인되었다. 그러나 FCAW에서는 정성적인 경향만이 확인되었을 뿐이다.

(3) SAW에서는 대기조건의 영향이 확실치 않다. 현재로써는 영향 유무에 대한 판단도 할 수 없는 단계이다.

결국 확산성수소량 측정시험에 있어서 대기조건의 영향을 배제하기 위해서는 시편용접을 항온항습실에서 실시하는 것이 바람직하지만 이는 현실성이 없는 것이다. 따라서 서로 다른 대기조건에서 측정된 결과치들을 동일조건으로 보정할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 먼저 용접 시험장의 온도와 습도를 명기해 두는 것은 필수적이다. 그리고 대기의 절대습도와 확산성수소량 사이의 관계가 정량적인 관계식으로 정립되어야 할 것이다. 그러한 관계식이 제시되기 전 까지는 계절적인 오차와 측정시험의 오차를 구분할 수 없을 것이다.

참 고 문 헌

1. Welding steels without hydrogen cracking, ed. N. Bailey et. al., Abington pub., Cambridge, England, 1973
2. AWS Specification A5.5-96: Specification for low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding, AWS, USA, 1996
3. AWS Specification A5.20-95: Specification for carbon steel electrode for flux cored arc welding, AWS, USA, 1995
4. N. Yurioka: Comparison of preheat predictive methods, IIW Doc. IX-2025-02, 2002.
5. Jae-Hak Kim, Hee Jin Kim, Hoi-Soo Ryoo, Jin-Hyun Koh: Current Problems in the measurement of diffusible hydrogen content, J. of KWS, in process (in Korean)
6. D. White, G. Pollard, R. Gee: The effect of welding parameters on diffusible hydrogen levels in cored wire welding, Welding and Metal Fabrication, **60-6** (1992), 209
7. M. S. Sierdzinski and S. E. Ferree: New flux cored wires control diffusible hydrogen levels, Welding Journal, **78-2** (1998), 45
8. N. Okuda, Y. Okata, Y. Nishikawa, T. Aoki, A. Goto, T. Abe: Hydorgen-induced cracking susceptibility in the high-strength weld metal, Welding Journal, **67-5** (1987), 141-s
9. J. H. Kiefer: Effect of moisture contamination and welding parameters on diffusible hydrogen, Welding Journal, **76-5** (1996), 156-s
10. 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
11. G. R. Salter: Hydrogen absorption in arc welding, British Welding Journal, **10-6** (1963), 316
12. G. Dickehut U. Hotz: Effect of climatic conditions on diffusible hydrogen content in weld metal, Welding Journal, **71-1** (1991), 1-s
13. D. Norman, M. Pitrun: A comparative study of diffusible hydrogen test methods, Australian Welding Journal, **48**, 4th quarter (2003), welding research supplement 36

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