

용접봉 종류에 따른
확산성 수소의 거동에 관한 연구

指導教授: 金永植

문병택, 권명학

An Investigation On the Diffusible Hydrogen
Behaviour in Various Kinds of Electrodes.

목 차

1. 서론
2. 용접부로의 수소 용해
3. 실험 방법
 - 3.1 용접 재료
 - 3.2 실험 장치 및 방법
4. 실험 결과 및 고찰
 - 4.1 용접부로부터 수소의 방출 거동
 - 4.2 용접봉의 종류에 따른 수소의 거동
 - 4.3 용접봉의 조건에 따른 수소의 거동
 - 4.4 수소 유기 자연파괴의 파면
5. 결론
6. 참고 문헌

1. 서론

오늘날 용접 기술은 경제성, 중량 경감, 구조물의 크기에 제한을 받지 않는 등 타공법에 비해 탁월한 장점을 가지고 있으므로 선박, 항공기, 교량 등의 대형 구조물 및 각종 화학 플랜트, 해양 구조물, 원자력 플랜트 또는 저온 용어에 이르기까지 거의 모든 구조물의 주 접합 기술로서 가장 일반화 되어 있다.

강구조물의 용접에 있어서의 중요한 문제점의 하나는 용접 균열이다. 용접 균열은 발생 온도에 따라 용융 온도에 동반하여 일어나는 고온 균열 (Hot Cracking) 과 용접 후의 Ms 점 또는 약 300°C 이하에서 일어나는 저온 균열 또는 냉간 균열 (Cold Cracking) 로 분류할 수 있으나, 일반 구조용 압연 강재의 경우는 대부분 저온 균열이 문제시 되고 있으며, 저온 균열은 그 발생 장소, 형 및 형상이 다양하지만, 그 본질은 용접시 용접부에 혼입되는 확산성 수소가 관계하는 지연 파괴 (Delayed Cracking) 현상으로 알려져 있다. 2) 3) 4)

용접 구조물을 설계 할 때는 주로 구조역학적인 면과 재료 선택적인 면이 고려되어 왔다. 이것은 용접 구조물의 파괴 현상을 파괴 역학적 개념에 용접 잔류 응력의 영향을 고려하여 찾는 것으로 이해할 수 있으나, 최근 들어, 고장력 강 용접시 상기의 고전적 개념으로는 이해할 수 없는 파괴 현상이 자주 발생 되어 문제가 되고 있다. 이러한 파괴 현상은 용접 금속 중에 존재하는 확산성 수소량이 열반장에 비해 10-100 배 정도 많고 상당히 오랜 시간 동안 잔류 하기 때문에 이에 의한 수소 유기 파괴 개념을 도입하면 그 파괴 원인이 해명 되는 경우가 많다.

위와 같은 파괴 현상은 매우 높은 보수 비용 자체 뿐만 아니라, 작업 중단으로 인해 발생하는 손해를 유발하므로 5) 그 원인이 규명되고 대책이 세워져야 하므로 이 분야에서의 연구가 더욱 절실히 요망되고 있다.

본 연구에서는 이러한 용접부의 확산성 수소에 대하여 이것이 용접부 손상에 미치는 영향을 고찰하고, 수소 포집장치를 이용하여 용접부의 종류에 따른 용접금속의 확산성 수소 거동을 실험적으로 관찰 하므로 각 용접부의 용접시 수소의 용접부의 혼입 및 확산 거동을 규명하고자 한다.

2. 용접부로의 수소 용해

용접 금속에 용해되는 수소원, 즉 아아크 분리기 중에서 발생하는 수소원으로서는

- 1) 피복재 중의 유기물
- 2) 피복재 중의 -OH 또는 결정수를 포함하는 광물
- 3) 피복재 중의 접결재 (물, 유리) 가 가진 수분
- 4) 피복재에 흡착 또는 흡수되는 수분
- 5) 용접 개간 (Welding groove) 에 부착한 수분 및 유지류
- 6) 공기 중의 수분 등이다.

위와 같이 용접에서의 수소원의 거리가 물체로 이것어 아아크 분리기 중에 들어 가면 고온 때문에 일부 해리하여 전이성의 수소로 되어 용접 금속중에 용해 한다.

용융철 중에서 수소의 용해도는 Sievert 법칙에 따른다. ⁶⁾

$$[H] = K_H \sqrt{P_{H_2}} \quad \text{단, } K_H : \text{반응의 평형 상수}$$

$P_{H_2} : \text{기상(氣相) 중의 수소의 분압}$

즉, 용융철 중 수소의 함유량은 기상중 수소분압의 평방근에 비례 한다.

따라서 기상의 수소분압이 1기압, 온도가 1600°C 일때 용융철중에서는 0.0025% (28cc/100g)의 수소가 용해된다.

Fig 1은 액상 및 고상의 철에 대한 수소의 용해도 곡선을 표시한다.

용해도가 액상과 고상에서 모두 온도의 상승과 더불어 증가 하고 있는 것은 철에서는 수소의 용해가 흡열반응 이므로 온도가 상승할 수록 용해가 용이

본 연구에서는 이러한 용접부의 확산성 수소에 대하여 이것이 용접부 손상에 미치는 영향을 고찰하고, 수소 포집장치를 이용하여 용접부의 종류에 따른 용접금속의 확산성 수소 거동을 실험적으로 관찰 하므로써 각 용접부의 용접시 수소의 용접부의 혼입 및 확산 거동을 규명하고자 한다.

2. 용접부로의 수소 용해

용접 금속에 용해되는 수소원, 즉 아아크 부리기 중에서 발생하는 수소원으로는

- 1) 피복재 중의 유기물
- 2) 피복재 중의 -OH 또는 결정수를 포함하는 물질
- 3) 피복재 중의 접결재 (물, 유리) 가 가진 수분
- 4) 피복재에 흡착 또는 흡수되는 수분
- 5) 용접 개선(Welding groove)에 부착한 수분 및 유기물
- 6) 공기 중의 수분 등이다.

위와 같이 용접에서의 수소원의 거리가 물이고 이것이 아아크 부리기 중에 들어가면 고온 때문에 일부 해리하여 전극상의 수소로 되어 용접 금속중에 용해된다.

용융철 중에서 수소의 용해도는 Sievert 법칙에 따른다. ⁶⁾

$$[H] = K_H \sqrt{P_{H_2}}$$

단, K_H : 반방의 평형 상수
 P_{H_2} : 기상(氣相) 중의 수소의 분압

즉, 용융철 중 수소의 함유량은 기상중 수소분압의 제곱근에 비례한다.

따라서 기상의 수소분압 / 기압, 온도가 1600°C 일때 용융철상에서는 0.0025% (28cc/100g)의 수소가 용해된다.

Fig 1은 액상 및 고상의 철에 대한 수소의 용해도 곡선을 표시한다.

용해도가 액상과 고상에서 모두 온도의 상승과 더불어 증가하고 있는 것은 철에서는 수소원 용해가 흡열반응이므로 온도가 상승할수록 용해가 용이하게 되기 때문이다. 그러나 수소와 수소화물을 만드는 금속, 예를들면, Ti, Zr 등에서 온도의 상승에 비례하여 수소의 용해도는 감소한다.

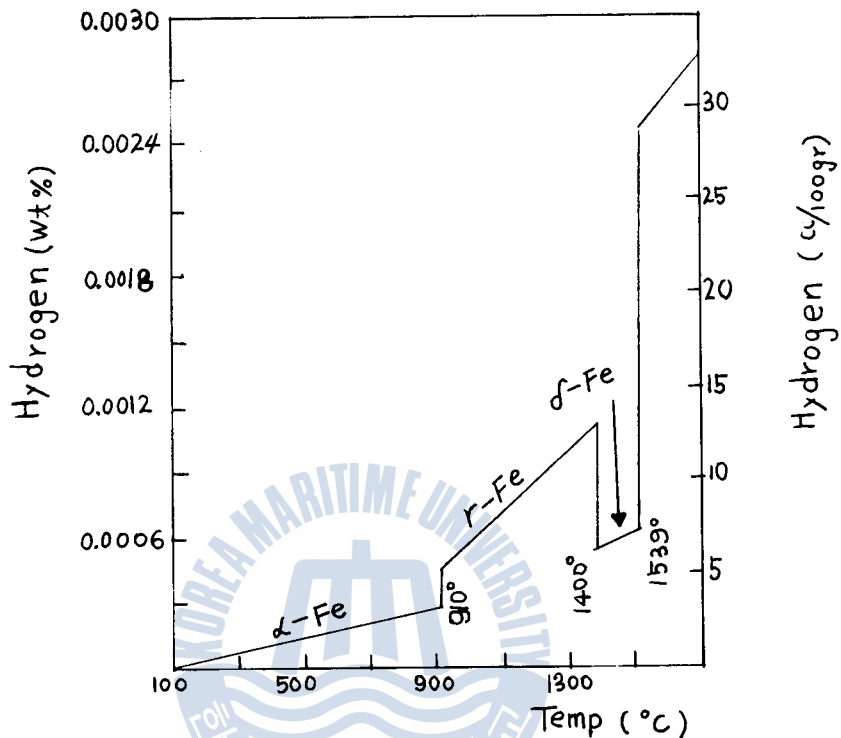


Fig. 1. Solubility of hydrogen in iron

Fig 1에서 보는 바와 같이 용해도는 융점에서 큰 불연속부가 있으며 용강이 응고할때 용해도는 현저하게 감소한다. 또한, 변태점에서도 불연속부가 존재하며 Fe의 상철은 BCC의 α 철과 FCC의 δ 철보다 다량의 수소를 용해한다. 이 용해도는 강도의 종류에 따라서 각각 다르고 냉간 가공등에 따라서 생기는 격자 결함의 다소에 관계된다.

수소는 질소나 산소와는 달리 철에 용해하여도 철과의 수소화합물을 만들지 않고 거의 철원자의 결정격자 간격에 침입형 원자로서 존재한다. 또한 본 수소원자의 크기는 철원자에 비해 대당히 작으므로 (Fe원자: 약 2.2Å, H원자: 약 0.46Å) 비교적 자유롭게 격자간을 확산운동 할 수있다.

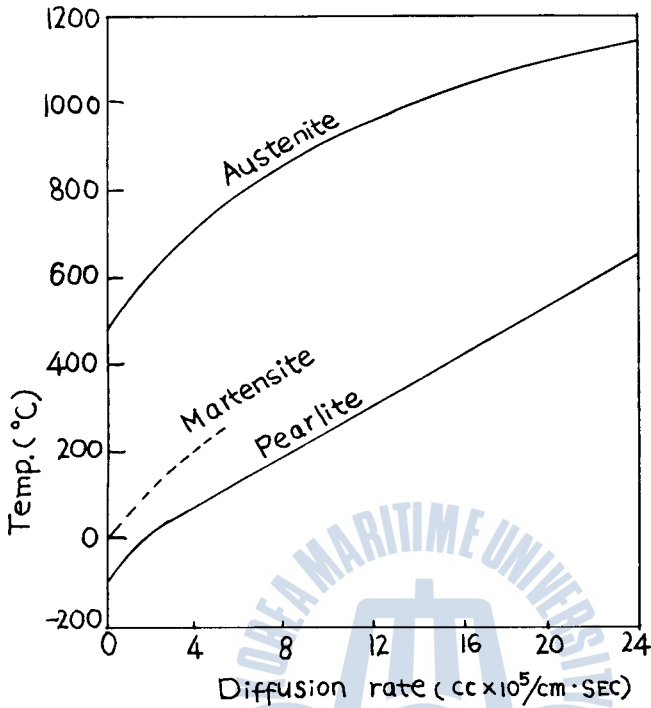


Fig. 2. Diffusion rate of hydrogen in steel

수소의 강중에서의 확산 속도는 강중의 C가 증가하거나, 강이 냉각 가공되면 감소한다. 이것은 격자 간격에 침입하여 고용되어 있는 C 원자와 가공에 따라서 생기는 격자 결함이 수소의 확산을 방해하기 때문인 것으로 생각되고 있다. 강중의 수소의 확산 속도는 Fig. 2에 보이는 것과 같이 변화한다. Fig. 2에 의하면, 예를 들어 600°C의 온도에서는 Ferrite 강중의 확산 속도는 Austenite 강중에서 보다 10수배 이상 빠르다. 이것은 Austenite는 면심입방격자 이므로 격자간격이 체심입방격자의 Ferrite 보다 작고 이 때문에 수소의 이동이 큰폭으로 되기 때문인 것으로 생각되고 있다.

3. 실험 방법

3.1 용접 재료

실험에 사용한 용접봉은 JIS-D5016, JIS-D5016C-1, JIS-D308-16 의 3 종류로 그 화학 조성 및 기계적 성질은 Table 1 과 같다.

Table 1. Chemical Compositions & Mechanical Properties of Electrode

Type	Chemical Composition (%)							Mech. Prop.		
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Y.S (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	EL (%)
JIS-D5016	0.08	0.48	0.98	0.011	0.009	-	-	50	58	32
JIS-DL5016C1	0.08	0.55	1.05	0.012	0.008	1.50	-	54	66	29
JIS-D308-16	0.06	0.26	1.65	0.02	0.008	10.00	20.15	-	57	46

3.2 실험 장치 및 방법

용접시 용접 재료 및 용접 환경으로 인해 용접부에 혼입되는 확산성 수소를 측정할 목적으로 Fig. 3 과 같은 수소 포집 장치를 이용하였다.

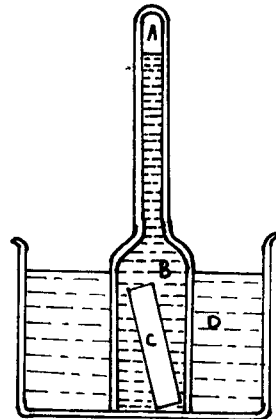


Fig. 3 Schematic diagram of hydrogen measuring apparatus
 A: Hydrogen B, D: Glycerin C: Specimen

그림에 보이는 바와 같이 비이커와 부렛을 이용하여 여기에 그리세린을 중반시킨후 용접시편을 부렛내에 넣어 용접시편으로 부터 방출되는 확산성 수소가 부렛상부에 집적되도록 하였다. 시편은 용접부의 종류 및 용접부의 건조 조건에 따라 Table 2 의 용접조건으로 용접하였다.

Table 2. Welding Condition

Diameter of electrode ϕ (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Welding Speed (cm/min)	Welding heat input (kJ/cm)
4.0	170	26	11.4	23.26

시험편 제작 방법은 길이 130mm 폭 25mm 두께 12mm의 SS 41 영강 판상에 길이 110mm의 바드 용접을 실시하여 제작하였으며, 용접후 수증기냉시켜 30초 이내에 포집장치내에 넣도록 하였다.

이와같이 하여 포집장치내 그리세린 온도를 상온으로 유지하여 48 시간 동안 집적된 수소량을 0.dcc 까지 측정하였다. 이를 다시 표준상에서 용접속 100gr 당의 양으로 환산하여 이를 확산성 수소량으로 측정하였다.

포집된 수소량으로부터 표준상에서의 체적으로 환산하는 것은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$V_0 = \frac{293.15}{T_i} \quad P_i V_i = \frac{293.15}{T_i} \left(P_A - \frac{f_g}{f_{Hg}} \frac{r_i}{760} \right) V_i$$

- V_0 : 표준상태에서의 체적 (cm³)
- T_i : 회수채스의 온도 (°K)
- P_i : 회수 채스의 압력 (atm)
- V_i : 회수 채스의 체적 (cm³)
- P_A : 액면 f_i 에서의 대기압 (atm)
- f_g : 포집액의 밀도 (gr/cm³)
- f_{Hg} : 수은의 밀도 (gr/cm³)
- r_i : 액상의 높이 (cm)

이와 같은 방법으로 3.1항에서 기술한 용접봉을 규정된 건조 조건으로 건조시킨 상태에서 용접을 실시하였을 때와 비건조한 상태에서 용접을 실시 하였을때의 확산성 수소량을 비교고찰 하였다. 또한 건조 시키지 않고 용접을 실시하였을 때 용접 부분의 수소유기 파면 형상을 고찰 하였다.

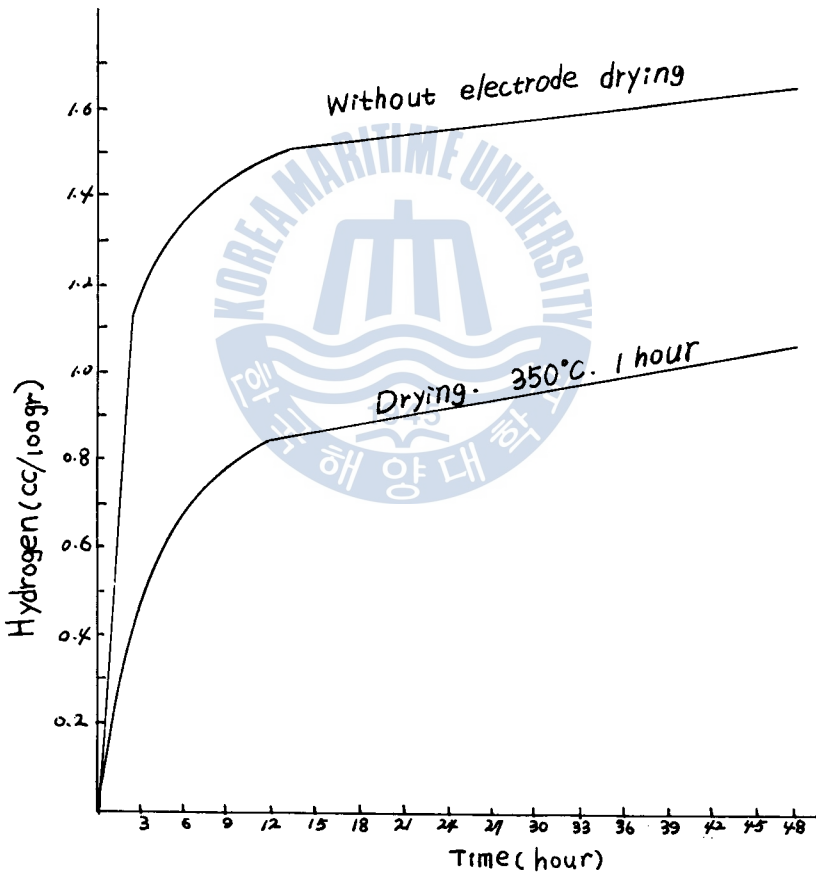


Fig 4. Diffusion behaviour of Hydrogen following the electrode condition (DL5016C-1)

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 용접부로부터 수소의 방출 거동

Fig 4는 양극대 킬드강 (Al-killed Steel)용 DL5016c-1 용접봉에 대해 규정 조건으로 건조시킨 경우와 건조시키지 않은 상태에서 수소포집 장치 내에서 방출되는 수소의 거동을 48시간 동안 연구한 결과이다.

이에 의하면, 용접부로부터 수소의 방출은 용접직후부터 6시간 이내에 매우 활발히 이루어지며 그 이후부터는 비교적 완만한 양상을 보이나 48시간이 지난후 까지도 수소방출이 계속되고 있음을 알수있다. 따라서 용접부내의 수소 확산은 용접후 6시간 이내에 활발히 이루어져 수소 유기공결 또한 이 시간내에 잘 탈배될 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 수소유기 공결은 용접후 48시간이 지난후에도 발생될 수 있으리라 생각된다.

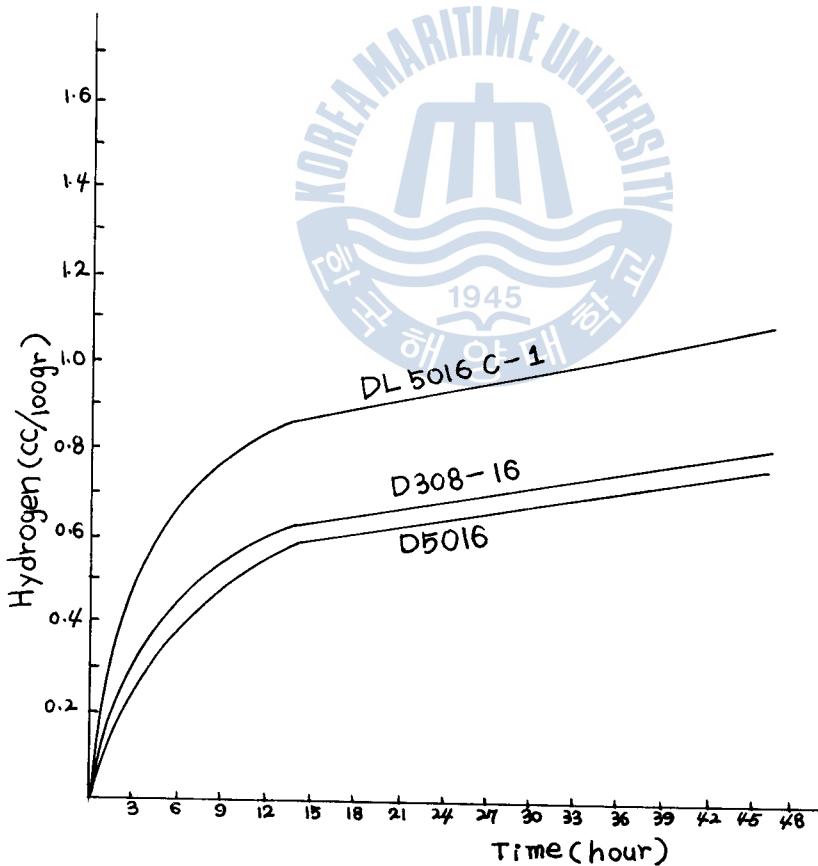


Fig 5(a). Diffusion behaviour of hydrogen in drying electrode condition

4.2 용접봉의 종류에 따른 수소의 거동

Fig 5 (a) 및 (b)는 각각 규정된 건조조건으로 건조시킨 상태와 비건조시킨 상태에서 용접을 실시하였을 경우 DL 5016 C-1, D 5016, D 308-16의 3종류의 용접봉에 대한 확산성 수소량을 비교한 결과이다. 수소방출 거동은 3종류 용접봉이 비슷한 양상을 보이고 있으나 확산성 수소량은 각기 다른 양상을 보이고 있다. (a)는 DL 5016 C-1 용접봉의 경우가 가장 많은 수소량을 보이고 있으며 D 308-16, D 5016 순으로 작아지는 결과를 보이고 있다.

그러나 (b)는 DL 5016 C-1, D 5016, D 308-16의 순으로 작아진다. 이것은 용접봉 제작시 피복재의 성분, 그 제작방법의 상이에 기인한 것으로 사료된다.

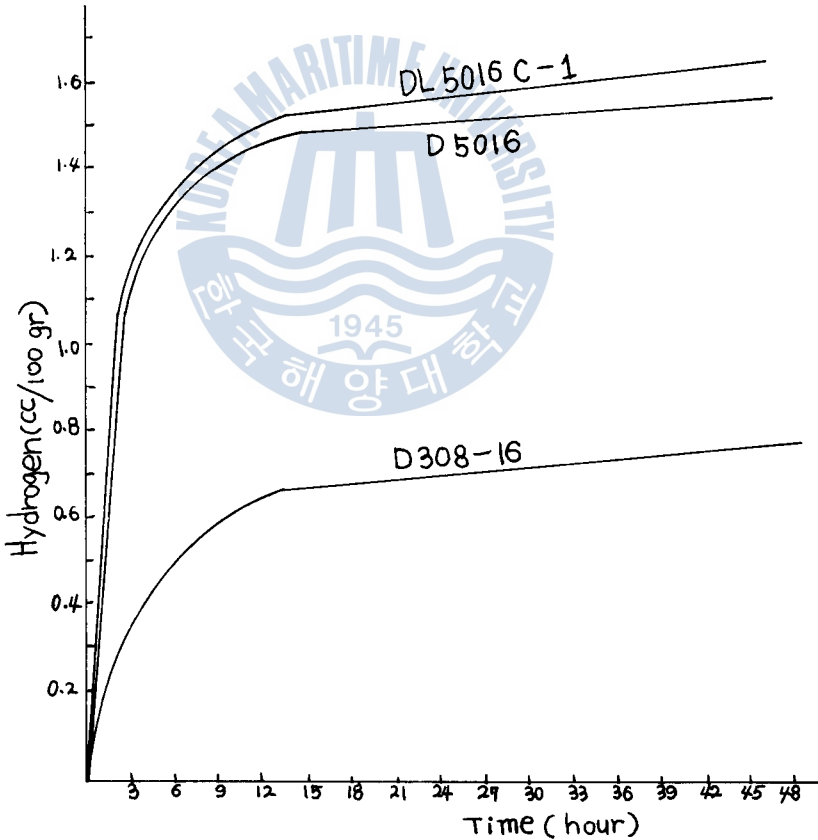


Fig 5 (b). Diffusion behaviour of hydrogen in case of without electrode drying

4.3 용접봉의 조건에 따른 수소기 이동

Fig 6은 D308-16 용접봉에 대해서 Fig 7은 D5016 용접봉에 대해서 각각 건조 상태와 비건조 상태에서 확산성 수소량을 비교한 것이다. Fig 6의 스테인레스강용 용접봉인 D308-16의 경우는 건조상태와 비건조 상태에서 확산성 수소량은 거의 같은 양상을 보이고 있다. 그러나 Fig 7의 D5016 용접봉의 경우는 비건조 조건하에서의 확산성 수소량은 건조 조건의 경우보다 약 2배정도 많아서고 있음을 보이고 있다.

이상의 결과에서 스테인레스강용 용접봉인 D308-16의 경우는 건조시키지 않더라도 양호한 결과를 얻을 수 있으나 고장력강용 용접봉인 D5016의 경우는 반드시 규정 조건으로 건조시켜야 확산성 수소량을 저감시켜 용접 균열을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

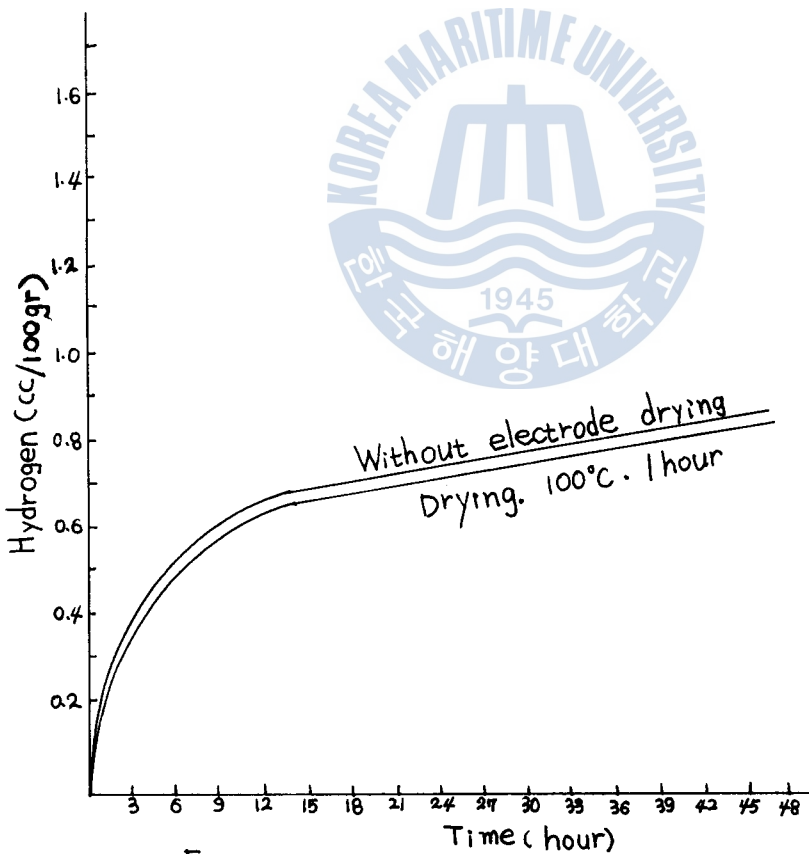


Fig. 6. Diffusion behaviour of hydrogen with and without electrode drying (D308-16)

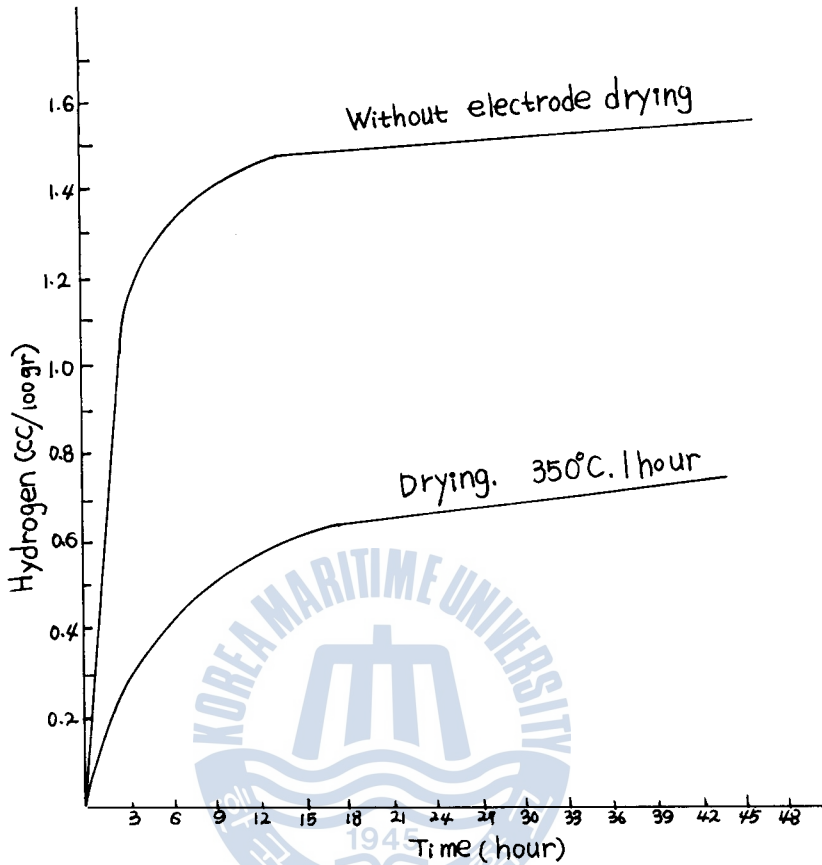


Fig 7. Diffusion behaviour of hydrogen with and without electrode drying(D5016)

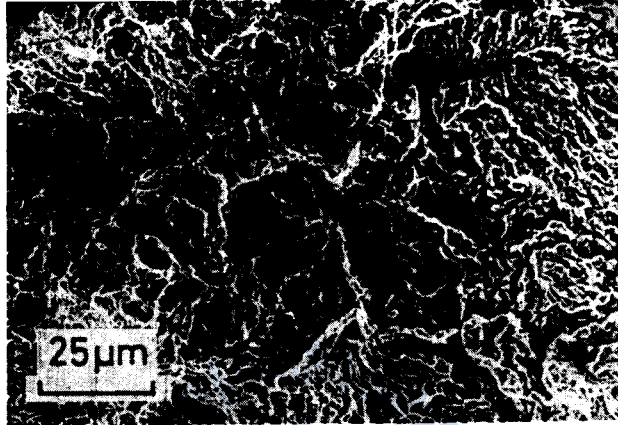
4.4 수소 유기 지역 파파의 파면

Fig 8는 SLA37 자운 용강제에 대해 DL5016C-1 용접봉을 비전조 조건에서 입플랜드 시험을 실시하여 53 kg/mm²의 응력에서 6시간후에 파괴된 파면의 주4형 전자 현미경(SEM) 사진이다.

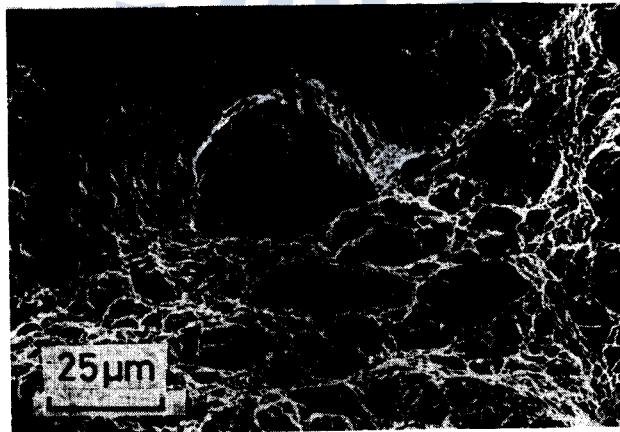
(a)는 notch 주위로서 notch의 응력집중 효과에 의해 수소가 주로 이 부분에 집적된 결과 Fe 원과 산소간의 응집력을 와해시켜 균열이 발생된 영역으로 의벽개 파면(Quasi-Cleavage Fracture)의 양상을 보이고 있다.

(b)는 시험면의 중앙부로서 이 부분까지는 수소의 집적 효과가 나타나지 않아 전형적인 연성파면으로 많은 딩플(Dimple)이 나타나 있음을 알 수 있다.

이상의 고찰 결과 용접부의 수소에 의한 균열의 파면은 의외로 파면의 양상을 띄고 있음을 알 수 있다.



(a) Around notch



(b) Center of specimen

Fig. 8 Fractographs of fracture due to cold crack

5. 결론

고장력 강종(D5016), 저온용강종(DL5016 C-1) 및 스테인레스 강종(D308-16)의 3종류의 용접봉에 대해 건조, 비건조 조건에서 용접을 실시하였을 경우 확산성 수소의 거동을 정량적으로 고찰하고 또한 수소 유기파면을 미세적으로 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 확산성 수소량은 용접봉의 종류에 따라 크게 달리 나타났다.
2. 용접봉의 종류에 따라 건조, 비건조 조건에서의 확산성 수소거동은 각각 다르다.
3. 수소 유기 지역 파괴의 파면은 의변개(Quasi-Cleavage)파면의 양상을 나타낸다.



** 参考資料 **

- 1) 稻垣, 伊藤, 高張打鋼 低溫用鋼の熔接
産報出版 P.120
- 2) 中山, 松本, 稻垣, 建築鋼橋造継手の各種
熔接方法에서의 熔接에 關한 研究
熔接学会誌7, Vol. 45, (1974) No.11, P.1103
- 3) 菊田, 荒木, 鋼の 木素에 起因한 破壊의
破面形態의 分析
Vol. 45, (1976) No.12, P.985
- 4) 松井, 熔接欠陥의 原因機構의 防止對策
日本学会鐵 熔接研究連絡委員會,
熔接 symposium 資料 (1977), P.1
- 5) 荒木, 金子秀夫, 三本木貞治, 橋口隆吉, 盛利貞,
鐵鋼の 熔接 (1974), P.103
- 6) 荒木, 金子秀夫, 三本木貞治, 橋口隆吉, 盛利貞,
鐵鋼の 熔接 (1974), P.107
- 7) 鐵鋼熔接部の 破面写真集,
黒木出版社, 大版 P.398~403, (1975).

特殊函數를 利用한 보의 解析에 關한 研究

指導教授 王之錫

金亨權, 余旭鎧

A study on the Analysis of Beams
Using a Particular Function



目次

1. 序論
2. 剪斷力과 曲률 모멘트
3. 特殊函數
4. 보의 解析에의 適用
 - 4-1. 單純보 (Simple-supported beam)
 - 4-2. 集中荷重과 等分布荷重을 同時에 받는 連續보
5. 結論