

◎ 論 文

### 실드 水中熔接의 效果에 關한 研究<sup>+</sup>

金敏男\* · 吳世奎\*\* · 全泰彦 · 徐康泰\*\*\* · 朴正培\*\*\*\*\*

(1991년 5월 20일 접수)

### Study on Effect of Underwater Shield Welding<sup>+</sup>

M. N. Kim, S. K. Oh, T. E. Jeon, K. T. Seo and J. B. Park

Key Words : TMCP Steel(Thermo-Mechanical Controlled Process Steel, 제어압연공정강), H. T. Stee(High Tensile Strength Steel 고장력강), W.M(Weld Metal, 용착금속), Welding Condition(용접조건), Absorbed Energy(흡수에너지), Cooling-Rates(냉각속도)

#### Abstract

In this paper, an attempt has been taken for improving the weldability of wet welds of TMCP steel plate by shielding around weld arc surroundings. The principal results of this experimental investigation can be summarized as follows :

- 1) The cooling rates resulting from wet welds with the developed electrode on TMCP steel plate could be lower than that of the non-shielded wet welds.
- 2) The metallurgical characteristics in underwater wet welds of TMCP steel plate and the developed electrode could be improved by shielding around weld arc surroundings.

#### 1. 序 論

1802년 미국의 Humply Davy가 최초로 수중에서 아크를 일으키는데 성공한 후, 미국, 영국, 프랑스, 독일 등의 해군에서 군사목적으로 수중용접에 대한 연구가 행해졌으며, 해난사고의 구조작업과 같은 특수여건에서 수중용접 및 절단이 부분적

으로 실시되었다.<sup>1)</sup>

최근에는 선박 및 해양구조물의 대형화 및 해저 자원개발 등 다양화된 해양개발계획에 따라 수중 용접기술의 실용화를 위한 연구활동이 진행되고 있다.<sup>2-7)</sup>

피복아아크용접봉을 사용한 각종 수중용접에서 공통으로 야기되는 문제점의 하나로 주위의 물에 의한 용접부의 급냉현상이 있다.<sup>8-9)</sup> 용접부의 냉각

+ 1991年度 韓國海洋工學會 春季學術大會 發表(1991年 5月)

\* 정회원, 부산공업대학 기계공학과

\*\* 정회원, 부산수산대학교 공대 기계공학과

\*\*\* 부산수산대학교 공대

\*\*\*\* 한국원자력 발전소

속도가 매우 빠르게 되어 열 영향부가 경화되기 쉬우며, 용접중에 다량의 용해된 수소가 침투하여 용접부에 저온크랙이 발생하는 원인이 되기도 한다. 그러므로 습식수중아크용접에 의한 이음성을 향상시키고 수중용접의 실용화를 도모하려면 용접부의 냉각에 미치는 여러 영향을 해명하여 급냉을 방지하고 냉각속도를 지연시키는 방법과 수소침투를 저감시키는 방법등이 개발되어야 할 필요가 있으나, 여기에 대한 계통적인 연구보고는 찾아보기 힘들다. 수중후열처리 및 냉각속도 완화 방식등에 관한 연구보고가 다소 발표되었으나<sup>10-12)</sup>, TMCP강을 모재로 선택한 습식수중용접부의 냉각 완화 방식등에 관한 연구발표는 아직 찾아볼 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 실드(shield) 수중용

접의 효과를 규명할 목적으로, 실드수중용접이 냉각완화에 미치는 영향, 용접부의 확산성수소량에 미치는 영향등이 실험적으로 조사되었다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

본 실험에 사용된 모재는 해양구조물 및 선박에 많이 활용되는<sup>13-14)</sup> ABS Grade EH36인 TMCP강으로서, 두께 12mm의 강관을 250×240mm씩 전단 기계로 절단하여 사용하였으며 그 화학조성과 기계적 성질은 Table 1과 같다.

용접실험에 사용한 용접봉은 습식수중아크용접을 위해 특별히 개발된 일미니이트계 수중용접봉이며 화학조성과 기계적 성질 및 flux의 화학조성은 각각 Table 2와 Table 3에 나타낸 바와 같다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of base metal TMCP steel(EH-36)

Chemical composition (Wt, %)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Al	Ceq
		0.09	0.22	1.41	0.013	0.002	0.01	0.03	0.01	0.029
Mechanical properties	Yield strength $Y_p(MPa)$		Tensile strength $T_s(MPa)$		Elongation $El(\%)$		Charpy impact $I_m(J) (-40^\circ C)$			
	460.9		519.8		20.0		212.8			

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of weld metal

Weld metal	Chemical composition(Wt, %)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co
A (KSE 5016)	0.07	0.53	0.98	0.014	0.010	—	—	—
B (KSE 5013)	0.089	0.051	0.734	0.013	0.007	0.091	0.124	0.019
C (IWWE)*	0.097	0.29	1.02	0.034	0.014	—	—	—

Weld metal	Mechanical properties				
	Yield strength $Y_p(MPa)$	Tensile strength $T_s(MPa)$	Elongation $E_l(\%)$	Charpy impact $I_m(J)(^\circ C)$	Reduction area (%)
A (KSE 5016)	480	560	32	120	—
B (KSE 5013)	470	530	28	110	—
C (IWWE)	515	549	24	62	61

\* Ilmenite wet welding electrode

Table 3 Chemical composition of flux materials

Weld metal	Chemical composition (%)														
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	CaF <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe	Mn	Si	Al	Mg	lg. loss	Total
A (KSE 5016)	5.64	0.78	7.26	0.02	27.31	14.57	0.79	1.40	9.24	2.18	4.47	1.14	0.76	23.33	98.89
B (KSE 5013)	20.55	5.94	40.51	0.06	5.20	-	2.94	1.73	6.21	6.48	-	-	-	8.31	97.93
C (IWWWE)	16.33	2.65	22.90	0.04	8.69	-	1.27	1.73	20.84	9.87	-	-	-	13.91	98.23

\* Ignition loss : Shielding gas(CO<sub>2</sub> etc.) or organic compounds

또한, Fig. 1은 수중용접시 열사이클 측정을 위한 시편의 규격과 기준이 되는 측온위치를 나타내고 있으며, Table 4와 같은 용접조건으로 하향자세의 비이드(bead on plate) 용접을 하였다. 측온위치의 결정은 예비실험을 행한 용접시편의 단면을 절단하여 본드부와 열영향부의 위치를 미리 선정한 후, 측온시편의 모재 이면에서 지름 3.2mm의 드릴구멍을 뚫어, 그 속에 0.4mm의 PR열전대를 넣고 퍼커션(percussion) 용접한 후 Fig. 2와 같이 알루미늄 나시멘트(alumina cement)와 고온용실리콘본드(silicon bond)등으로 절연시키고 침수를 방지하였다. PR열전대선의 방수는 의료용 특수테프론(defron)을 사용하였으며 보상선은 비닐호스로 처리하였다. 열사이클은 용접개시부와 크레이터(crater)부의 과도적인 것을 피하고, 열적으로 준정적 상태에 있다고 볼 수 있는 용접선의 중앙부분에 대한 열이력을 기준으로 하였으며, 용접방식에 따른 측온점의 차이가 없도록 하였다. 측온점과 본드부의 거리는 용접 열사이클을 측정할 후, 측온점 근방을

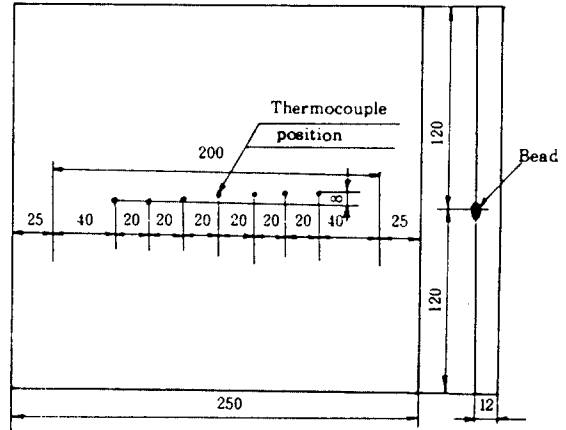


Fig. 1 Workpiece and arrangement of thermocouples (PR 13%) for measuring thermal cycle

절단하여 측온단면을 연마한 후 3% 나이탈(nital)로 부식시켜 확인하였다.

습식수중 용접부의 냉각속도를 완화시키기 위한 실드방식은 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 방법으로

Table 4 Typical welding conditions

Welding environment	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Bead length	Angle (°)	Electrode source	Welding position
				Electrode length used			
In-air welding	165	25	21	0.85	60	DCSP	flat
Underwater wet welding	210	31	25	0.85	60	DCSP	flat
Underwater shield welding	210	31	25	0.85	60	DCSP	flat

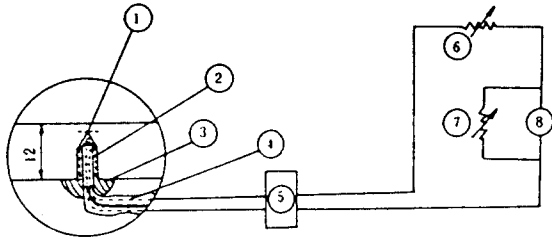


Fig. 2 Thermo-junction circuit for measuring thermal cycle

- ① Enamel for electrical insulation
- ② Alumina cement
- ③ Silicon bond
- ④ Thermocouples
- ⑤ DC amplifier
- ⑥ Resistance for sensitivity regulation
- ⑦ Resistance for damping
- ⑧ Galvanic oscillator

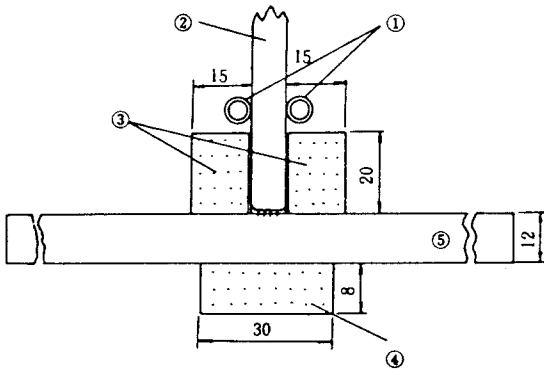


Fig. 3 Methods for shielding the part to be weld

- ① Electrode guide rod
- ② Electrode
- ③ Shielding materials
- ④ Backing materials
- ⑤ Base metal

수중아아크용접을 실시하였으며, 수조내의 수온을 일정하게 유지하기 위하여, 수도수를 계속하여 순환시키면서 수심 200mm 깊이에서 수중용접을 실시하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 용접부 양편과 모재 이면에서 실리콘 고무(silicon rubber)와 본드(bond) 등으로 차폐시켜서 습식수중용접법을 개선한 용접 방법(이하 실드수중용접이라 함) 및 수중아아크용접과 비교하기 위하여 대기상태에서의 용접(이하 공기중용접이라 함) 등 용접분위기를 세 종류로 분류하여 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실드 수중용접법이 냉각완화에 미치는 영향

Fig. 4는 용접방식에 따른 냉각특성을 고찰하기 위하여, 측온점의 최고 도달온도가 1400°C인 점의 냉각과정을 공기중, 습식수중 및 실드수중 용접등으로 나타낸 것으로써 용접부 주위를 실드시켜 주면 대기중 용접부의 냉각시간과는 근소한 차이에 불과하며 습식에 비하면 냉각시간이 대폭 지연됨을 알 수 있다. 즉, 14초 후의 온도는 공기중, 습식수중 및 실드수중시 각각 520°C, 185°C, 325°C 정도로서 습식수중의 경우보다 실드수중용접의 경우가 약 75% 정도 높으므로 냉각시간의 지연 효과가 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 측온점의 최고 도달온도가 800°C로 되는 지점의 열영향부에 대한 냉각과정을 용접방식에 따라 구분하여 나타낸 것으로 1400°C에서와 마찬가지로

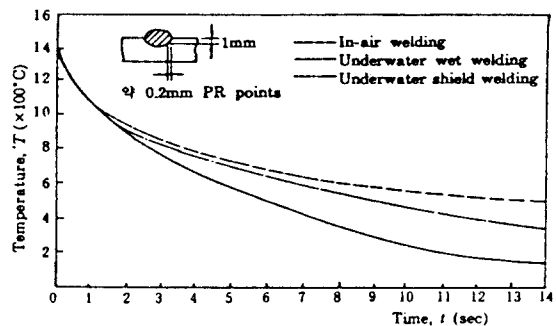


Fig. 4 Comparison of cooling curves from maximum temperature( $T_{max}=1400^{\circ}\text{C}$ ) in various type of weldings

Welding condition : as in Table 4

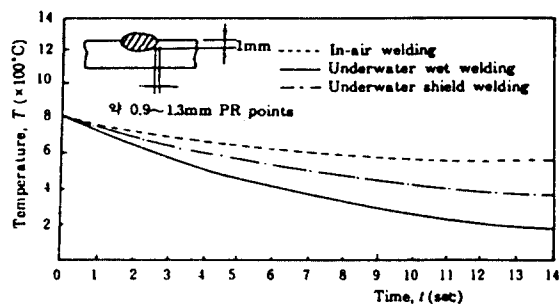


Fig.5 Comparison of cooling curves from maximum temperature( $T_{max}=800^{\circ}\text{C}$ ) in various type of weldings

Welding condition : as in Table 4

가지로 습식수중용접에 비하여 실드방식에 의한 냉각속도 완화 및 개선효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

### 3.2 실드수중용접이 용접부의 확산성수소량에 미치는 영향

Fig. 6은 저수소계 용접봉을 사용하여 용접한 시편의 확산성수소량을 대기중용접, 습식수중용접 및 실드수중용접등에 대하여 비교하여 나타낸 것으로 공기중 용접에 비하여 수중용접시의 확산성수소량이 크게 증가하고 있음을 알 수 있고, 실드방식에

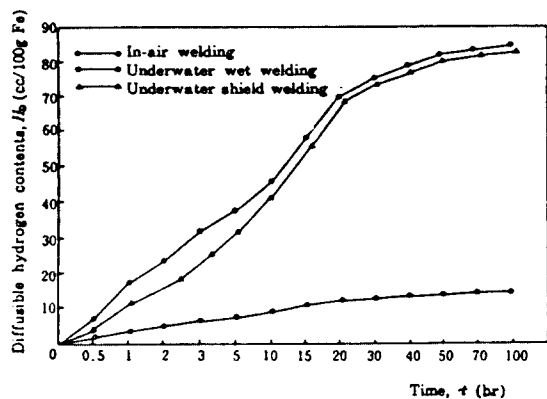


Fig.6 Effects of welding environments(as shielded or not) on diffusible hydrogen contents when using hydrogen type welding electrode

Welding condition : as in Table 4

의한 확산성수소량의 감소가 다소 나타났다.

Fig. 7은 고산화티탄계의 용접봉을 사용하여 용접한 시편의 확산성수소량을 용접방식에 따라 비교하여 나타낸 것으로, 공기중 용접시는 저수소계 용접봉에 비하여 확산성수소량이 2배이상 증가하였으나, 습식수중 용접시는 저수소계와 거의 동일한 수준이 되었으며, 실드수중용접시는 저수소계 용접봉에 비하여 약간 감소하는 경향이 있었다.

그러나 Fig.8에서 보는 바와 같이 시험개발된

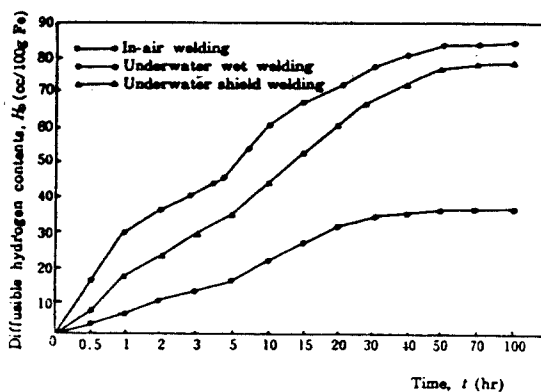


Fig.7 Effects of welding environment(as shielded or not) on diffusible hydrogen contents when using high titanium oxide type welding electrode

Welding condition : as in Table 4

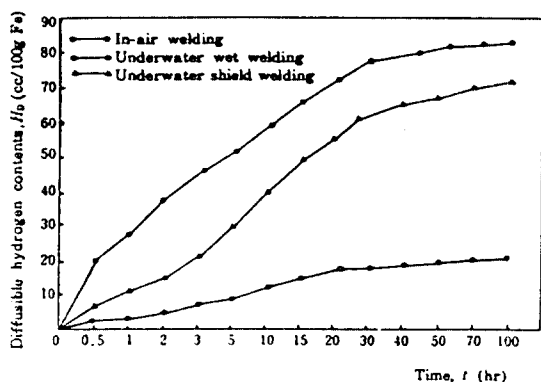


Fig.8 Effects of welding environments(as shielded or not) on diffusible hydrogen contents when using ilmenite type underwater welding electrode

Welding condition : as in Table 4

일미나이트계 수중용접봉의 경우, 습식수중용접시는 확산성수소량의 변화는 거의 없으나, 실드수중용접에 의하여 확산성수소량이 상당히 감소되고 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 실드에 의한 환경요소의 상승으로 냉각속도가 감소되므로써 확산성수소의 확산속도가 빨라지고 생성도 억제되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 일미나이트계 습식수중용접봉(UWE5001)을 사용하여 실드수중용접을 실시하면 확산성수소량이 용접후 100시간 경과시 약 21% 정도 감소하였다. 이와 같은 현상은 시편 양편의 실드에 의하여 용접부에 물이 차단되고, 용접슬러그가 용접금속 표면에 균일하게 분포되고 있으므로 용접부 주위에 있는 물의 유동이 억제되어 고온에서 수증기 분위기가 안정되므로, 일종의 온탕과 같은 작용을 하게 되어 냉각속도 완화작용과 수중실드 효과에 의해 확산성수소 생성의 억제와 기생성된 확산성수소도 용접진행 중 또는 완료 전에 확산 방출되는 것으로 생각되어진다.

### 3.3 실드수중용접이 용접부의 기계적 성질에 미치는 영향

Table 4와 같은 습식수중용접의 최적 조건으로 수중용접한 용접시편을 KS규격에 따라 기계가공하여 인장시험을 실시하여 보면, 파단이 일어나는 곳은 항상 모재가 되므로 7층 맞대기 이음용접한 용접시편을 기계가공하여 측정지점의 양편에 2mm 깊

이의 V형 노치를 주고 인장속도 1mm/min, 게이지 길이 50mm로 인장시험한 결과를 정리하여 Table 5에 나타내고 있다.

여기서 고찰해 보면, 실드 수중용접에 의한 열영향부의 인장강도는 습식수중용접에 의한 시편의 경우에 비하여 별 차이가 없는 반면에, 인성을 나타내는 용착금속의 흡수 에너지는 실드수중용접의 경우가 습식수중용접의 경우보다 25.8% 증가한 것은 실드효과에 의해 강도변화는 적으나 인성은 증가함을 알 수 있다.

한편, 용착금속의 연신율에 대한 개선효과는 흡수 에너지와 함께 상당히 높은 비율로 향상되었음을 알 수 있다.

## 4. 結 論

실드 수중용접의 효과에 관한 연구 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 습식 수중용접의 아아크주위에 실리콘 고무등과 같은 내열재로 실드시키는 실드수중용접에 의해 냉각속도의 완화효과가 큼이 확인되었다.
- 2) 일미나이트계 습식 수중용접봉을 사용하여 실드 수중용접을 실시하면 확산성 수소량이 용접후 100시간 경과한 경우 약 21%나 감소되어, 실드효과에 의한 확산성 수소생성 억제와 기생성된 것은 확산 방출이 쉽게 된다.
- 3) 실드수중용접에 의한 열영향부의 인장강도 변

Table 5 Results of tension test\* for various welded joints of in-air and underwater weldings(as shielded or not)  
Welding condition : as in Table 4

Welding environments	Tensile strength, T <sub>s</sub> (MPa)		Absorbed energy, E <sub>A</sub> (J/mm <sup>2</sup> )		Elongation, E <sub>l</sub> (%)	
	WM	HAZ	WM	HAZ	WM	HAZ
In-air welding	553.5	544.0	1.59	1.77	7.0	7.9
Underwater wet welding	576.2	570.5	0.41	0.56	1.9	2.2
Underwater shield welding	558.7	568.8	0.76	0.66	4.4	4.2

\* Each specimen with 2mm depth V notch.

화는 적으나 인성 및 연성은 약 25%나 증가됨이 확인되었다.

### 5. 參考文獻

- 1) Masubuchi, K., A. V. Gaudiano and T. J. Reynolds, "Technologies and Practies of Underwater Welding," Proc. of Int. Conf. IIW, pp. 49-70, 1983
- 2) Asnis, A.E., I.M. Savich, "The New Method of Mechanized Underwater Welding," Proc. of Int. Conf. IIW, pp. 311-317, 1983
- 3) Watanabe, M., M. Hamasaki, J. Sakakibara, "Study on the Crack Sensitivity of Mild Steel Welded Joint by Underwater Welding," Trans. of JWS, 14(2), pp. 104-109, 1983
- 4) 浜岐正言, 榑原實雄, "高張力鋼의 水中熔接," 同誌, 48(2), pp. 115-120, 1981
- 5) 福島孟, 福島貞夫, 衣川純一, "加壓下における濕式水中プラズマ熔接の冷却特性と熔接金屬の組織," 同誌, 50(9), pp. 887-893, 1981
- 6) 屋良秀夫, 眞喜志康二, 菊田米男, 松田福久, "濕式水中アーク熔接における鋼材のTRC 試驗(第1報)," 日本熔接學會 論文集, 1(3), pp. 420-425, 1983
- 7) 中尾嘉邦, 大重廣明, 野田伸吾, "高張力鋼 多層盛熔接熱影響部の 組織分布," 同誌, 3(4), pp. 766-773, 1985
- 8) 屋良秀夫, 眞喜志康二, "濕式水中アーク熔接に關する研究(第1報)," 日本熔接學會 論文集, 1(2), pp. 285-289, 1983
- 9) 屋良秀夫, 眞喜志康二, 菊田米男, 松田福久, "濕式水中アーク熔接に關する研究(第2報)," 同誌, 2(4), pp. 721-726, 1984
- 10) Arata, Y., M. Hamasaki, T. Sakakibara, "Hydrogen Content in Arc Atmosphere of Water Certain Type Underwater Argon Arc Welding," Trans. of JWRI, 10(1), pp. 19-25, 1981
- 11) Howden, D. G, "Behavior of Hydrogen in Arc Welded Pools," W. J. 61(4), pp. 103-108, 1982
- 12) 管泰雄, "後熱による濕式水中熔接部の刮れ防止について," 日本熔接學會論文集, 3(4), pp. 830-836, 1985



★ 뉴 스 ★

### 1991年度 秋季學術大會 講演論文 原稿募集

論文原稿마감 : 1991年 10月 25日(但, 題目 및 發表者는 10月 10日 까지)

論文作成要領 : 本會의 講演論文集 原稿執筆要領에 의거하여 本會 講演抄錄 原稿紙(마스터紙 30×40)를 만드시 使用할것. (원고집필요령 p. 137을 준수할 것)

原稿提出處 : 郵便番號 604-714

釜山直轄市 沙下區 下端洞 840 東亞大學校 工科大學 內

社團法人 韓國海洋工學會

電話 : (051)205-2325, FAX (051)205-2325