

● 論 文

고장력강의 습식 수중 아크용접에 대한 냉각율과 기계적 특성에 관한 연구⁺

김 민 남*

(1988년 4월 27일 접수)

Study on Cooling Rates and Mechanical Properties of H. T. Steel Plates in the Underwater Wet Arc Welding

M. N. Kim

Key Words; Underwater Wet Arc Welding(습식수중아크용접), Weldability(용접성), Underwater Wet Electrode(습식수중용접봉), Underwater Shield Welding Method(수중실드용접법), Cooling Rate(냉각속도), Mechanical Property(기계적 성질)

Abstract

The feasibility for improving the cooling rates and mechanical properties of wet welding process is experimentally investigated by using new developed underwater wet electrodes and H. T. steel plates.

Main results of this experimental study can be summarized as follows;

- 1) By shielding around weld arc surrounding, the cooling rates resulting from wet welds with developed electrodes on TMCP steel plates can be lower than that of non-shielded wet welds.
- 2) A high quality of mechanical properties of wet welds on TMCP steel plates can be obtained with shielded weld arc surrounding.

1. 緒 論

선박 및 해양구조물의 대형화추세에 따라 고장력강의 이용이 많아졌으며¹⁾, 이에 따라 수중에서 조립 및 시공작업의 필요성이 예상되며, 기존구조물 및 대형선박의 국부적인 보수정비 등에 수중용접의 필요성이 대두되므로, 이 분야의 기술개발과 학문적 연구는 필수적으로 이루어져야 된다고 본다.

본 연구에서는 ABS Grade EH36에 해당되는 고장

력강인 TMCP강을 모재로 선택하여, 시험제작된 수중용접봉을 사용하여 습식수중 아크용접시 용접부의 냉각율과 기계적 특성을 실험적으로 검토하고 동일 조건의 대기중용접과 습식수중용접 및 실드수중용접에 대하여 비교분석함으로써, 실드방식에 의한 수중용접의 개선효과에 대하여 연구고찰함을 목적으로 하였으며, 습식수중 아크용접의 실용화개발에 대한 기초자료가 되게 하였다.

⁺ 1988年度 韓國海洋工學會 春季學術大會 發表(1988年 6月)

* 정회원, 부산공업대학 기계공학과

2. 實驗材料

2.1 熔接試片

본 실험에 사용된 용접시편은 최근 선박 및 해양 구조물에 이용되고 있고, 철강 신소재³⁾로 알려진 TMCP(thermo-mechanical control process)강으로 ABS Grade EH36에 해당되는 고장력강이다. TMCP 강은 연속공정으로써 압연상태에서 열처리재에 상응하거나 보다 나은 재질을 얻게 할 뿐 아니라, 보다 적은 양의 합금원소의 첨가만으로도 규정된 기계적 성질을 얻게 함과 동시에 용접성도 향상시킬 수 있으므로, 원가절감과 용접성 향상에 따른 경비절감 및 재질향상으로 인한 신뢰성을 증대시켜 주는 새로운 강재라 할 수 있다⁴⁾. 본 연구에 사용된 용접시편의 TMCP강에 대한 화학조성과 기계적 성질은 Table 1에 나타내고 있다. 열사이클 측정용 시편은 두께 12 mm의 강판을 압연방향에 관계없이 250×240 mm씩 전단기로 절단하여 사용했으며, 기계적 성질을 검토하기 위한 시편은 240×125 mm씩 기계톱으로 절단하였으며, 측은위치와 시편의 형상은 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내고 있다.

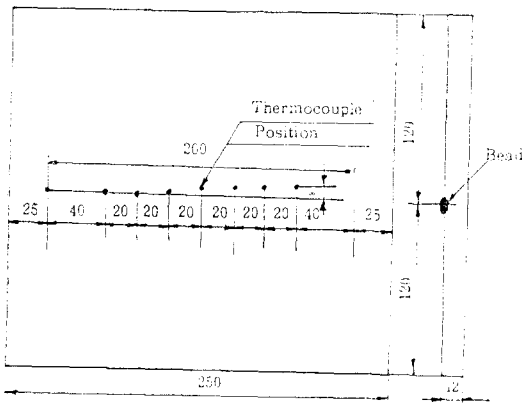


Fig. 1 Workpiece and arrangement of thermocouples(PR 13%) for measuring thermal cycle

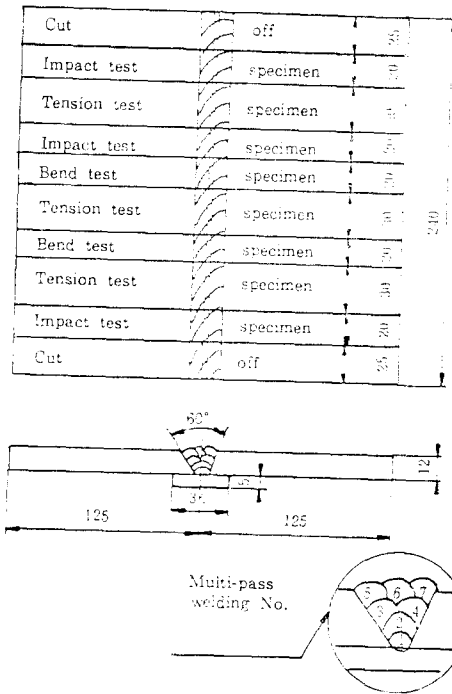


Fig. 2 Joint design and location of mechanical test specimens from in-air welds and underwater welded joints

2.2 水中 熔接棒

습식 수중아크용접을 하기 위한 용접봉은 국내에서 시판되고 있지 않으므로, 시험모재에 적합한 용접봉을 H사와 상호 협조하여 시험개발하였으며, 특히 고장력강용 습식 수중 아크용접봉에 대한 국내의 연구보고는 찾아볼 수 없으므로, 본 연구에서는 새로 개발된 일미나이트계 수중용접봉을 사용하여 수중용접 실험을 실시하였다. 이 특수용접봉은 피복제의 외부에 특별히 방수처리하여 보관하므로 사용 전에 따로 예열처리를 할 필요가 없고, 수중용접시 피복제의

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 E_l (%)		Impact value I_m (J) (-40°C)			
	460.9		519.8		20.0		212.8			

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of weld metal

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co
	0.07	0.53	0.98	0.014	0.010	-	-	-
Mechanical properties	Yield strength Y_p (MPa)		Tensile strength T_s (MPa)	Elongation El (%)		Charpy impact value (J) $^{\circ}C(0)$		Reduction of area (%)
	515		549	24		62		61

흡수에 대한 영향은 무시해도 되도록 하였다. 용접봉의 화학조성과 기계적 성질은 Table 2에 나타나고 있다.

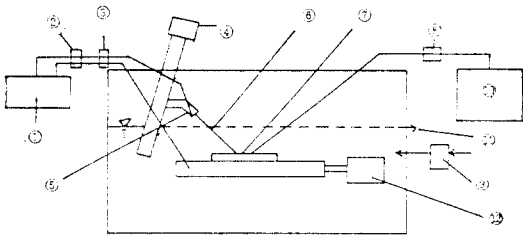


Fig. 3 Schematic diagram of experimental equipment

- ① Welding machine
- ② Ampere meter
- ③ Volt meter
- ④ Electrode moving device
- ⑤ Electrode holder
- ⑥ Electrode
- ⑦ Welding specimen
- ⑧ DC Amplifier
- ⑨ Flowmeter
- ⑩ Recording device
- ⑪ Cooling water
- ⑫ Specimen moving device

3. 實驗裝置 및 方法

본 실험연구에 이용한 실험장치는 Photo.1과 Fig. 3에 보는 바와 같이 습식수중용접시 용접속도, 각도 및 운봉비 등을 임의로 변경할 수 있도록 자작한 1200×850×800 mm의 수조내부에 모재이동용 운반차를 설치하였다. 용접중에는 수도수를 순환시켜 수조내의 수온을 일정하게 유지할 수 있게 하였으며, 실험에 사용한 용접기는 직류발전형 수하특성의 직류용접기로 용량은 400A이며, 직류정극성으로 용접실험을 실시하였다. 예비실험을 통하여 수중용접시의 최적조건¹⁾을 구하고, 이 조건에서 습식으로 실시하는 습식 수중아크용접(이하 습식 수중용접법이라 함)과 Fig.4에서 보는 바와 같이 용접부 양편과 모재이면에 실리콘고무(silicon rubber)와 본드(bond) 등으로 차폐시켜서 습식용접법을 개선한 용접방법²⁾(이하 실드수중용접법이라 함) 및 수중용접과 비교하기 위하여 대기상태에서의 용접(이하 공기중 용접이라 함) 등, 용접분위기를 세 종류로 분류하여 실시하였으며, 공기중 용접은 수중용접 전류의 약 80% 정도로 하여 비드크기가 수중용접과 비슷하게 하였다²⁾. 용접방법은 수평하향식용접으로, Table 3과 같은 용접조건으로 수심 200 mm에서 기계적인 자동용

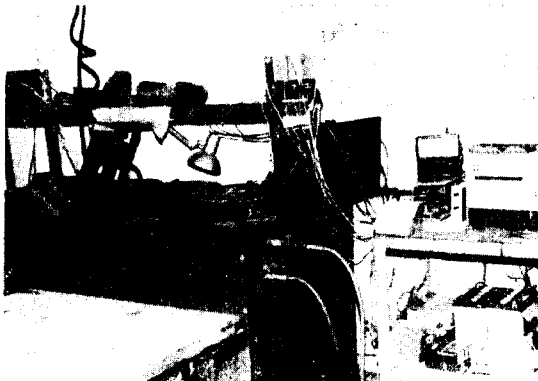


Photo. 1 Experimental equipments

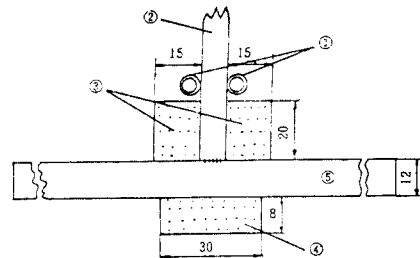


Fig. 4 Methods for shielding the part to be weld

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

Table 3 Typical welding conditions

Welding environment	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Bead-length	Angle (°)	Electrode source	Welding position
				Electrode length			
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

접의 형식을 택하였다. 열사이클 측정을 위하여 모재이면에서 지름 3.2 mm의 드릴 구멍을 뚫어 그 속에 0.4 mm의 PR 열전대를 넣고 퍼커션(percussion) 용접한 후 수밀처리를 하였다. 열기전력의 기록은 검류계를 이용한 마그네틱 오실로그래프를 이용하였으며, 측온점과 본드부의 거리는 용접열사이클을 측정할 후 측온점 주위를 절단하여 단면을 연마한 후에 3% 나이탈(nital)로 부식시켜 확인하였다.

기계적 성질을 검토하기 위한 용접시편의 제작은 Fig.2와 같이 7종의 맞대기 이음용접을 실시하였으며 각 용간에 소요된 시간은 공기중 용접시 약 2분, 수중용접의 경우 약 3분걸렸으며, 수중에서 용접슬러그를 제거하기가 곤란하여 용접시편을 물속에서 꺼내어 슬러그를 제거한 후 다시 물속에 넣고 수중용접을 실시하였으며, 수온은 약 20°C 정도로 유지시켰다. 공기중용접과 습식수중용접 및 싼드 수중용접 등에 의하여 용접된 판재들을 기계톱으로 Fig.2와 같이 절단하여 Fig.5와 같이 굽힘시험편을 기계

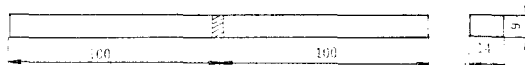


Fig.5 Transverse free bend test specimen of in-air welds and underwater welded joints

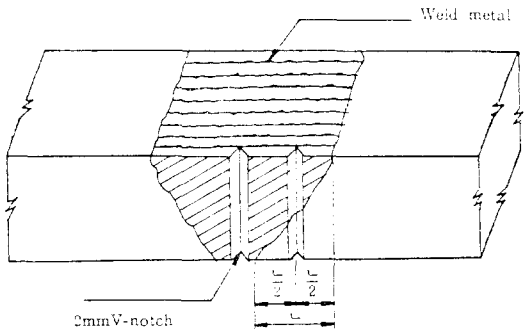


Fig.6 Notch locations of weld metal and heat affected zone of in-air welds and underwater welded joints

가공하였으며, 인장시험편은 Fig.6과 같은 위치에 노치를 주고 Fig.7과 같이 기계가공하였다. 습식 수중용접 시편의 인장시험시 용접부에 노치를 주지 않으면, 특별한 결함이 없는한 모재에서 파단이 일어나므로 용접부에 노치를 주고 실험하지 않으면 안 되었다. 충격시험편은 Fig.8과 같이 기계가공하였으며, Fig.6과 같은 위치에 노치를 주고 0°C의 온도에서 충격시험을 실시하였다.

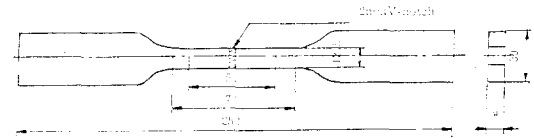


Fig.7 Tension test specimen of in-air welds and underwater welded joints

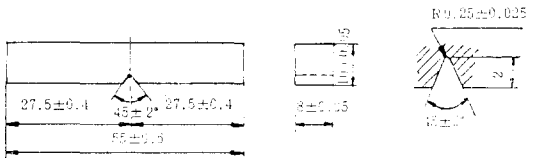


Fig.8 Charpy impact test specimen of in-air welds and underwater welded joints

4. 結果 및 考察

4.1 濕式水中 아크熔接部の 冷却過程

습식 수중용접부의 냉각과정은 공기중 용접시의 냉각과정과는 판이하게 다르게 급냉되고, 공기중 냉각과 비교하면 습식 수중용접부 표면부근의 온도는 냉각과정 중에 미세한 온도변동을 수반하게 된다⁸⁾. 이것은 아크의 불안정성에만 기인한다고 볼 수 없고 모재상하면의 수중열전달이 냉각과정에 영향을 미친다고 생각되며 이러한 현상은 모재 내부보다는 상하면에 더욱 강하게 나타나며 열전도에 의하여 모재

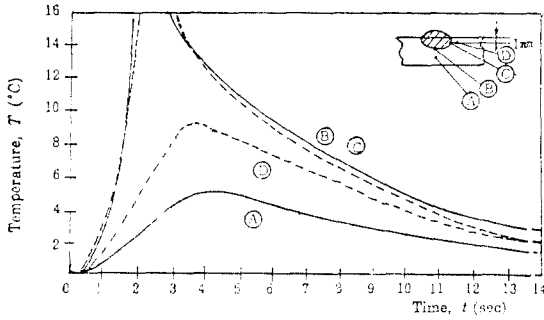


Fig. 9 Weld thermal cycle of quasi-stationary state at various locations during underwater wet arc welding
Welding condition: as in Table 3

내부에 침투하는 과정에서 점차 감소하는 경향이 있다. Fig. 9는 습식 수중아크용접시의 용접부에 대한 열사이클을 측정하여 그 결과를 예시한 것으로 모재 표면과 비드직하 부분의 냉각과정이 약간의 차이를 나타내고 있다. 모재 윗면부근의 C, D점에 관한 열사이클은 미세한 불연속성과 변동을 수반하지만 윗면에서 내부로 들어감에 따라(B, A점) 그 변동은 점차 감소하는 경향이 있었다. 본드부근의 B와 C점에 대한 냉각곡선에서 온도와 평균냉각속도(온도차/온도차를 얻기 위한 냉각시간, 여기서 온도차는 50°C)와의 관계를 Fig. 10에 나타내고 있다. 냉각과정 중에 냉각속도가 극대로 되는 경향은 축온위치에 관계없이 나타나지만 표면에서 내부로 들어 갈수록 극대치와 극소치의 차이가 적게 되고, 또한 최대치를 나타내는 온도는 고온측으로 이동됨을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 물의 비등형태가 천이하는데 원인이 있는 것으로 사료되며, 최대 열플럭스(heat flux)에 도달할 모재표면에서 최대 냉각속도를 얻게 되는 것으로 생각된다. 따라서 냉각속도의 극대화 현상은

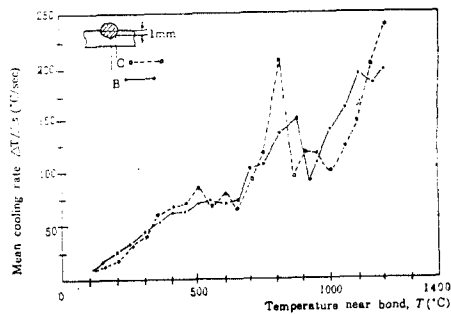


Fig. 10 Relation between temperature and mean cooling rate of thermal cycle at vicinity of bond during underwater wet arc welding
Welding condition: as in Table 3

모재 내부에 들어감에 따라 열전도에 의하여 완화되고 점차 약화되는 것으로 생각되며, 모재 상부의 냉각과정이 습식 수중용접부의 열사이클을 특징적으로 나타내고 있으므로, 본 연구에서는 모재 표면에서 1mm 내부의 점을 축온점으로 선정하였다.

4.2 실드水中 용접에 의한 冷却緩和의 效果

실드수중용접에 의한 용접부의 냉각특성을 조사하기 위하여 공기중 용접과 습식수중용접시의 열사이클을 실험적으로 조사한 결과를 Fig. 11에 나타내고 있다.

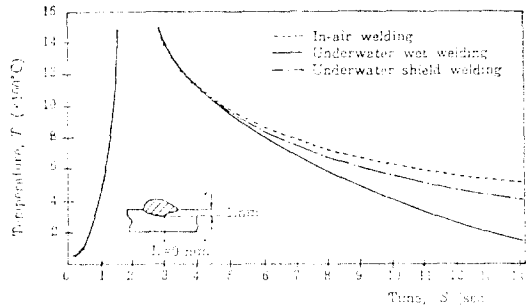


Fig. 11 Effect of shielding on weld thermal cycle at bond line in various type of weldings
Welding condition: as in Table 3

용접부의 온도가 용융점근방에서 1400°C까지의 냉각시간은 용접방식에 따라 별다른 차이를 발견할 수 없었으나 1400°C에서 1200°C까지의 냉각시간은 대기중 용접시보다 오히려 습식 및 실드수중용접시에 약간 늦어지는 경향이 있었으며, 이것은 공기중용접에 비하여 수중용접시의 입열량이 크고 주위의 물에 의하여 열차단이 되어지기 때문으로 생각된다. 1200°C 이하의 온도영역에서는 용접방식에 따라 냉각속도가 현저히 달라졌으며 Fig. 11에서 보는 바와 같이 실드수중 용접에 의한 용접부의 냉각시간은 습식용접부에 비하여 냉각속도가 상당히 완화되고 있으며 실드방식의 효과적인 개선에 따라 냉각속도를 더욱 지연시킬 수 있는 가능성이 있다고 할 수 있다. Table 4는 용접방식에 따른 온도영역별 냉각시간을 실측하여 정리한 것으로 실드방식에 의한 냉각속도의 개선 효과를 알 수 있다. 즉 1200°C에서 800°C, 800°C에서 500°C, 500°C에서 300°C까지의 냉각시간이 습식수중용접의 경우보다 각각 0.28s, 3.61s, 1.4s 정도 길어짐으로 실드방식에 의한 냉각속도의 완화 효과를 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 본 실험연구의 범위내에서 용접방식에

Table 4 Cooling time under various welding environments

Welding environments	Cooling time (s)		
	1200→800°C	800→500°C	500→300°C
In-air welding	3.03	11.65	26.80
Underwater wet welding	2.67	2.82	3.15
Underwater shield welding	2.95	6.43	4.55

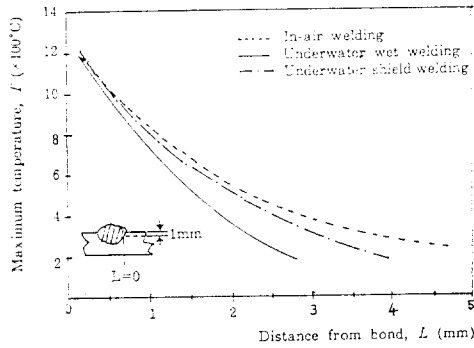


Fig. 12 Maximum temperature distribution near the bond in various type of weldings
Welding condition: as in Table 3

다른 용접부의 최고온도 분포를 측정하여 그 결과를 정리한 것으로, 본드에서 같은 거리로 떨어진 점의 열영향부의 최고도달온도가 용접방식에 따라서 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 같은 거리에 있는 점의 최고도달온도는 습식수중용접에 비하여 실드수중용접의 경우가 약간 상승하고 있으므로, 실드방식에 의하여 냉각시간이 지연되고 열영향부의 폭이 습식보다 크게 됨을 알 수 있다. Fig. 13은 측온점의 최고 도달온도가 1400°C인 점의 냉각과정을 공기중, 습

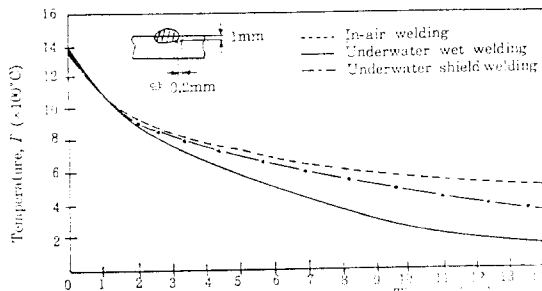


Fig. 13. Comparison of cooling curves from maximum temperature 1400°C in various type of weldings
Welding condition: as in Table 3

식수중 및 실드수중용접방식에 따라 구분하여 나타낸 것으로, 용접부 주위를 실드시켜 주변 대기중 용접부의 냉각시간과는 차이가 나지만 습식에 비하면 냉각시간이 내폭 지연됨을 알 수 있다. 즉 14초후의 온도를 살펴보면, 공기중, 습식수중 및 실드수중시 각각 520°C, 185°C, 325°C 정도로서 습식수중에 비하여 실드수중 용접의 경우가 약 75% 정도 높으므로, 냉각시간의 지연효과가 있음이 뚜렷하다. Fig. 14는 측온점의 최고 도달온도가 800°C가 되는 점의 열영향부에 대한 냉각과정을 용접방식에 따라 나타낸 것으로, 1400°C에서와 마찬가지로 습식수중용접에 비하여 실드방식에 의한 냉각속도의 완화 및 개선 효과가 뚜렷함을 알 수 있다. 이와 같은 냉각과정을 검토하기 위하여 Fig. 13과 Fig. 14의 냉각곡선에서 도출한 온도와 평균 냉각속도와의 관계를 Fig. 15

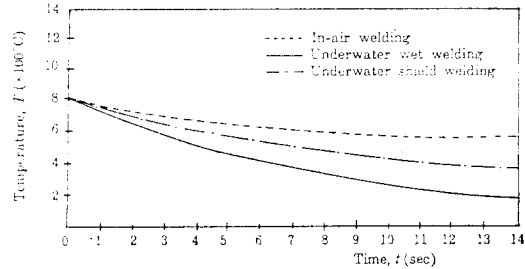


Fig. 14 Comparison of cooling curves from maximum temperature 800°C in various type of weldings
Welding condition: as in Table 3

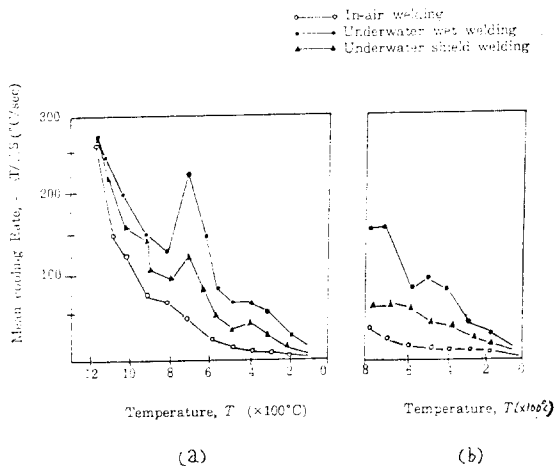


Fig. 15 Relation between maximum temperature and mean cooling rate for cooling curves from Fig. 13(a) and Fig. 14(b)

에 나타내었다. 여기서 고찰해 보면 공기중 용접부의 평균냉각속도는 온도영역이 저온으로 이동됨에 따라 점차 비례적으로 감소하지만, 습식수중용접부의 평균 냉각속도는 800~700°C의 온도영역에서 냉각속도가 극대로 되는 점이 나타나며 온도영역에 따라 비례하여 감소하지는 않는다. 반면에 실드방식에 의한 용접부의 평균냉각속도는 습식에 비하여 상당히 감소되고 있으며, 또한 극대값이 약 절반 정도로 줄어들고, 최고온도가 낮아짐에 따라 극대값도 감소하는 경향이 있다. 한편 공기중 용접부의 냉각에 관하여서는 많은 이론적 해석^{9,10)}이 되어 있지만, 습식수중 용접부의 이론해석은, 주위의 물에 의한 비등현상의 복잡성과 해석의 난해성이 있어 실제 적용에는 어려움이 뒤따르며, 이는 다만 앞으로의 연구과제라 할 수 있다. 본 연구에서는 실드방식에 의한 습식수중 용접부의 냉각완화효과에 주안점을 두고, 언실드(non-shield) 수중용접과 비교할 때 실드방식에 의한 개선효과가 실험적으로 확인되었으므로 습식수중용접의 실용화를 위한 기초자료로서 중요하다고 생각한다.

4.3 多層맞대기이음 용접부의 硬度

시험개발된 수중용접봉을 사용하여 다층맞대기 이음용접한 시편의 열영향부에 대한 미소경도(micro vickers hardness, Load 1kg)의 분포를 측정하여 Fig. 16에 나타내고 있다. 공기중 용접시편에 대한 열영향부의 최고 경도는 TMCP강의 특성에 따라 모재보다 감소하는 경향이 있지만⁴⁾, 수중용접의 경우 용접부가 강한 수냉의 영향을 받아 급냉되고 당금질 효과에 의하여 경화되게 된다. 열영향부의 경화률

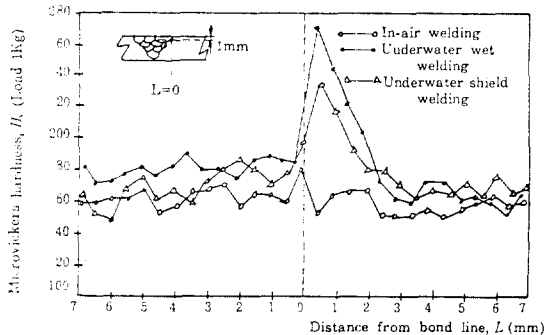


Fig. 16 Effects of environments on the hardness distribution of multi-pass butt welded joints of in-air and underwater weldings (as shielded or not)
Welding condition: as in Table 3

지배하는 것은 모재의 화학조성에도 의존하지만 열영향부가 용융점 직하의 온도로 가열되었다가 빠른 냉각속도로 냉각된 경우, 변태개시 혹은 변태종료의 온도와 시간을 관련시켜 TTC 특성곡선으로 해석해야 될 것이나, 본 연구에서는 실드방식에 의한 다층이음용접부의 기계적 성질의 개선효과를 비교 검토하기 위하여 경도측정 결과를 토대로 하여 고찰하고자 한다. 실드수중 용접에 의한 시편의 열영향부에 대한 최고 경도는 Hv225 정도로, 습식수중 용접에 의한 시편의 Hv275 정도에 비하여 상당히 낮게 되었으며, 용접금속의 평균경도 역시 습식수중 용접에 비교하면 실드방식에 의하여 개선됨을 알 수 있다. 이것은 수중용접시 아크주위의 수증기 분위기가 실드에 의하여 안정되고 일종의 온탕과 같은 작용을 하게 되어 냉각속도가 지연되므로써 용접부의 조직이 개선되는 것으로 사료된다. 또한 다층용접시는 복잡한 열사이클에 의하여 예열 및 후열처리와 같은 효과가 있으므로^{11,12)} 용접층수가 증가함에 따라 실드효과도 증대될 것으로 생각되어, 다층용접시의 특성해석은 이에 따라 복잡하게 될 것이다.

4.4 掘曲試驗

용접방식에 따른 용접부의 연성과 안정성을 조사하기 위하여 표면굽힘시험(face bend test) 방법으로 굽힘시험한 결과를 정리하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Results of free bend test

Welding environment	Angle of bend (°)	Percent elongation in bend test*
In-air welding	180	36
Underwater wet welding	130	14
Underwater shield welding	159	16

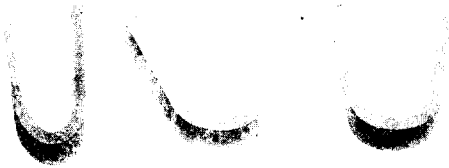
$$\ast \delta_B = \frac{\Delta l}{l} \times 100(\%)$$

여기서 고찰해 보면, 습식수중 용접에 의한 시편의 용접부는 물에 의한 용접급냉(weld quenched)에 의하여 공기중 용접에 의한 시편보다 쉽게 크랙이 생기고 굽힘각도는 현저히 줄어들었다. 반면에 실드수중 용접에 의한 시편의 굽힘각도는 공기중 용접에 의한 시편의 굽힘각도보다 21° 정도 적게 되었으나 습식수중에 의한 시편보다는 29° 정도 증가하여 실드방식에 의하여 용접부의 굽힘각도가 많이 증가하였다. 또한 굽힘시험시의 변형율을 계산하여 Table 5에 나타내고 있으며 공기중용접의 경우 변형율이 36

고 열영향부의 충격치도 어느 정도는 향상됨을 인식 % 정도인데 비하여 습식수중용접의 경우 14% 정도로 줄었으며, 실드수중 용접의 변형율은 습식수중용접에 비하여 2% 정도 증가하였다.

따라서, 습식수중용접에 의한 시편의 굽힘각도를 증가시키기 위해서는, 용접시 용접부의 냉각속도를 조절하고 금속적 특성해석에 따라 해결해야 될 것으로 사료되나, 본 실험연구의 결과에서 고찰해 보면 용접아크 주위를 실드시켜 주므로써 굽힘각도와 변형율의 개선에 효과가 있음을 입증할 수 있었다.

Photo.2는 굽힘시험한 시편의 일례를 용접방식에 따라 제시하고 있다.



In-air welding Underwater wet welding Underwater shield welding

Photo.2 Typical view of transverse free bend tested specimens of in-air and underwater weldings(as shielded or not)

4.5 引張試驗

습식수중 용접의 최적조건으로 수중용접한 시편의 인장시험시 특별한 용접결함이 없는 한 파단은 항상 모재에서 일어나므로써, 다층맞대기 이음용접한 시편의 열영향부 혹은 용접금속의 중앙양편에 2 mm 깊이의 V형 노치를 준 인장시험의 결과를 Table 6에 정리하여 나타내고 있다. 여기서 고찰해 보면 실드수중 용접에 의한 열영향부의 인장강도는 습식수중 용접에 의한 시편의 경우에 비하여 별 차이가 없는 반면 인성을 나타내는 단위 면적당 흡수에너지는 실드수중 용접의 경우가 습식수중 용접의 경우보다 25.8% 증가한 것은 실드효과에 의해 강도변화는 적으나 인성은 증가함을 알 수 있다. 한편, 용접금속의 연

신율에 대한 개선효과는 흡수에너지와 함께 상당히 높은 비율로 향상되었음을 알 수 있다.

Fig.17은 인장시험시 용접금속에 대한 하중-신연신도(load-elongation diagram)로서 각각의 용접조건에 따라 실험한 결과를 제시하고 있으며, 여기서 보는 바와 같이 습식수중 용접에 비하여 실드수중 용접의 경우가 연성이 증가함을 알 수 있다. 특히 실드방식에 의한 용접금속의 기계적성질의 개선은 매우 효과적인 것을 확인할 수 있었다.

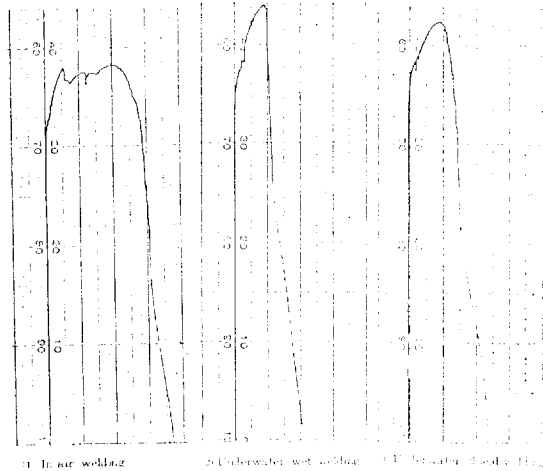


Fig.17 Typical stress-strain diagrams of tension test specimens of in-air and underwater welded joints (as shielded or not) Welding condition: as in Table 3

4.6 衝擊試驗

Table 3과 같은 최적조건으로 용접한 시편을 Fig. 8과 같이 기계가공하여 Fig.6과 같은 위치를 선정하여 2 mm 깊이의 V형 노치를 준시편의 충격시험 결과를 Table 7에 정리하여 나타내었다. 여기서 고찰해 보면 용접부 주위를 실드시켜 주므로써 용접금속의 충격치의 개선효과가 뚜렷하다는 것을 알 수 있

Table 6 Results of tension test for various welded joints of in-air and underwater weldings (as shielded or not), Welding condition: as in Table 3

Welding environments	Tensile strength, $T_s(MPa)$		Absorbed energy, $E_A(J/mm^2)$		Elongation, $El(\%)$	
	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 2 mm depth V notch

Table 7 Results of Charpy impact test for various welded joints of in-air and underwater welding (as shielded or not) (0°C)
Welding condition: as in Table 3

Welding environments	Charpy impact value, $I_m(J)$	
	Weld metal	Heat affected zone
In-air welding	108.8	108.5
Underwater wet welding	46.4	45.6
Underwater shield welding	60.5	50.4

할 수 있다. 이것은 용접아크 주위를 실드시켜 주므로써 수분위기가 습식과는 다른 온탕과 같은 현상으로 용접금속의 용융과 냉각에 영향을 미치며, 용접부의 냉각속도가 습식수중에 비하여 완화되므로, 이에 따른 용접금속 및 열영향부의 금속조직이 개선되기 때문이라고 사료된다. 그러나 공기중 용접에 의한 시편의 충격치에 비교하면, 실드방식에 의하여 수중 용접한 시편의 충격치개선은 아직 저조한 편이지만, 습식수중 용접에 의한 경우보다는 약 20.4% 증가함을 알 수 있다. 그러나, 실드수중 용접에 의한 시편의 충격치개선에 대한 지속적인 연구가 요망되며, 실드방식의 효과적인 개선에 따라라도 충격치의 향상을 기대할 수도 있겠다.

5. 결 론

고장력강에 대한 수중용접기술의 필요성이 대두되고 있는 실정에 따라, 설비구조가 비교적 간단하고 경제성이 있는 습식수중아크 용접의 실용화 개발을 위한 실험연구로서, 용접아크 주위를 실드시키는 방법을 강구하여 수중용접부의 냉각속도의 완화와 냉각특성의 개선 및 기계적 성질의 개선효과에 대한 실험연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 습식수중 용접부의 냉각과정은 주위의 물의 비등을 수반하는 열전달에 의하여 지배되고, 비등의 천이현상에 기인하여 냉각과정 중에 냉각속도의 극대현상이 나타난다.

2) 습식수중 아크용접시 용접부 주위를 단열재로 실드시켜 주면 냉각과정 중의 극대현상을 감소시킬 수 있다. 본 실험연구의 범위내에서 본드근방의 800°C 에서 300°C 까지의 냉각시간은 실드방식에 의하여 2배 정도 연장시킬 수 있었으며, 실드방식의 개선에 따라 냉각속도의 완화효과를 더욱 증대시킬 가능성이 있다.

3) TMCP강을 시험개발된 수중용접봉으로 습식다층이음 용접을 할 경우, 용접아크 주위를 실드시켜 주면 열영향부의 기계적 성질이 향상되고, 용접금속의 인성과 연성에 대한 개선효과가 크게 나타난다.

4) 습식수중아크 용접시 용접성 개선을 위한 실드방식과 단열재료에 대한 지속적인 연구개발을 통하여 고장력강의 우수한 습식수중아크 용접의 실용화를 기대할 수 있다.

後 記

본 연구는 1987년 학술연구 조성비(일반과제)의 연구비에 의해 수행되었다.

본 연구에 물심양면으로 적극 협조해 주신 현대금속(주) 및 조선선재(주)의 관계 제위님께 마음수 깊이 감사드립니다.

參 考 文 獻

- 1) 정종안, "고장력강 용접시 Cold Crack에 관한 연구", 대우조선기술, Vol. 2, No. 5, pp. 13-21, 1984
- 2) 屋良秀夫·眞喜志康二, "濕式水中アーク溶接に関する研究", 日本溶接學會論文集, Vol. 1, No. 2, pp. 285-289, 1983
- 3) 渡邊 之, "鐵鋼新素材, TMCP鋼の適用分野", 日本溶接學會誌, Vol. 55, No. 1, pp. 49-45, 1986
- 4) 신민태·윤종근·김희진, "TMCP강의 용접열영향부 인성에 관한 연구", 대한용접학회지, Vol. 4, No. 3, pp. 43-49, 1986
- 5) 오세규·김민남, "TMCP강의 습식수중아크 용접성에 관한 고찰", 대한용접학회지, Vol. 5, No. 4, pp. 28-35, 1987
- 6) 菅泰 雄, "水中溶接における溶接部の性能に及ぼす冷却緩和の効果", 日本溶接學會論文集, Vol. 5, No. 3, pp. 358-369, 1987
- 7) 오세규·김민남, "TMCP강의 수중 ARC 용접실험과 용접성", 한국해양공학회지, Vol. 1, No. 2, pp. 243-249, 1987
- 8) 衣川純一·福島 益·福島貞夫, "水中プラズマ溶接部の冷却", 日本溶接學會誌, Vol. 44, No. 10, pp. 834-839, 1975
- 9) Rosenthal, D., "The theory of moving sources of heat and its application to metal treatment", Trans. of ASME, Vol. 11, pp. 849-866, 1946

- 10) Christensen, N., L. Davies and K. Gjormun-
dson, "Distribution of temperatures in arc
welding", B. W. J., Feb. pp. 54-75, 1965
- 11)菅泰雄, "後熱にする濕式水中溶接部の割れ防止
について", 日本溶接學會論文集, Vol. 3, No. 4,
- pp. 830-836, 1985
- 12) 佐藤邦彦・田村屯・大前堯・眞鍋幸男・品田幸三浪,
"局部乾式水中溶接部の継手性能とその水中熱處
理法による改善に関する研究", 日本溶接學會誌,
Vol. 51, No. 2, pp. 189-195, 1982



☆ 뉴

스 ☆

■ 한국해양공학회지 제2권 제2호 원고모집 ■

원고마감 : 1988년 8월 31일 (발행예정일 : 1988년 12월 20일)

원고내용 : 논문, 논설, 전망, 해설, 강좌, 자료, 기술보고, 심포지움 및 좌담회 기록, 기행문, 견학
및 참관기, 뉴스, 위원회보고, 회원의 소리, 기타

원고작성요령 : 본 회의 회지원고 집필요강에 의거하여 200자 또는 400자 원고지를 사용할 것. 타이
핑(워드 프로세스포함)도 가능함. (제8회 이사회에서 게재논문 면수 6페이지를 초과
할시 페이지당 10,000원씩 정수기로 결정.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내
사단법인 한국해양공학회, 전화 (051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(제1권 1호 또는 2호 참조)을 반드시 지키실 것>

■ 1988년도 추계 학술대회 강연논문 원고모집 ■

논문원고마감 : 1988년 10월 31일

논문작성요령 : 본 회의 강연논문집 원고집필요령에 의거하여 본회 강연초록원고지(마스터지 30×40)
를 반드시 사용할 것. 강연초록 강연초록 원고지는 요청하시면 즉시 보내 드립니다.
(특별 강연 논문원고는 10면이내, 보통 강연 논문원고는 5면이내임.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내
사단법인 한국해양공학회, 전화 (051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(제1권 1호 또는 2호)을 반드시 지키실 것>