

◎ 論 文

TMCP鋼의 濕式水中 아크熔接部の 冷却特性 改善에 關한 研究

金 敏 男*

(1992년 6월 25일 접수)

Study on Cooling Characteristic Improvement in Underwater Wet Arc Welding of TMCP Steelplate

Min-Nam Kim

Key Words : Underwater Wet Welding(습식 수중 용접), Cooling Rate(냉각속도), Thermal Cycle(열 사이클), Underwater Shield Welding(실드 수중용접), Maximum Hardness(최고 경도), Heat Affected Zone(열영향부)

Abstract

The offshore industry created a need for quality wet weld repairs. Wet welding is a fast method of repair providing sound, structural quality welds. It requires less support equipment than a similar underwater dry weld repair or the alternative mechanical connections.

Compared to welds made in air, underwater wet welds are plagued by increased hardness due to rapid quenching by the surrounding water.

In this paper is described the experimntal study of improving the cooling rates 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 :

By shielding around weld arc surrounding, the cooling rates resulting from wet welds on TMCP steel plate could be lower than that of nonshielded wet welds and the fesibility on high quality of mecanical properties of wet weld on TMCP steel plate was carried out with shielded weld arc surrounding.

1. 序 論

수중용접기술은 습식수중용접, 건식수중용접, 국

부건식수중용접등으로 대별 되고 있으나, 용접방식에 따라 각각의 특징과 문제점이 대두되고 있다.

습식수중용접은 용접시 주위의 물에 의한 용접부의 급냉현상으로 인하여 용접금속 및 열영향부

* 釜山工學大學

“이 논문은 1991년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음”

가 경화되어 대기중 용접에 비하여 용접부의 경도가 상승하고⁽¹⁻²⁾, 기공등 용접결함이 생기며³⁻⁴⁾, 높은 아크열에 의하여 용착금속에 산소나 수소가 침입하여 취화의 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 TMCP강을 모재로 하여 습식수중용접에 적용될 수 있는 용접봉을 시험제작하여 기초실험을 통하여 최적용접조건을 선택하고, 수중용접부에 실드하는 방식을 채택하여 용접아크를 안정시키고 용접부의 급냉현상을 완화시켜주므로써 용접성과 용접부의 이음성능을 향상시키고자 시도하였다. 또한 이 방식에 의한 용접부의 냉각시간과 냉각속도를 실측하여 냉각특성의 개선효과에 대하여 규명하였다. 실드방식에 의한 수중용접부의 기계적인 성질의 개선효과도 실험적으로 연구 조사하여 습식수중 실드용접의 실용화개발을 위한 기본자료가 되게 하였다.

2. 實驗材料 및 試驗方法

2.1 實驗材料

본 실험에 사용된 용접재료는 TMCP강으로 두께 12mm의 강판을 압연방향에 관계없이 250×240

mm씩 기계톱으로 절단하여 열사이클 측정 및 기계적성질을 검토하기 위한 시편으로 사용하였으며, 200×60mm씩 절단하여 비드용접시편으로 사용하였다. 용접시편의 화학조성과 기계적 성질은 Table 1에 나타내고 있다.

습식수중 아크용접봉은 H회사와 협조하여 시험개발한 일미니이트계 수중 용접봉으로 특별한 방수처리는 하지 않았다. 용접봉의 지름은 4mm, 길이는 400mm의 동일규격으로 통일하여 실험하였다. 시험용접봉의 화학조성과 기계적 성질을 Table 2에 나타내고 있다.

2.2 實驗方法

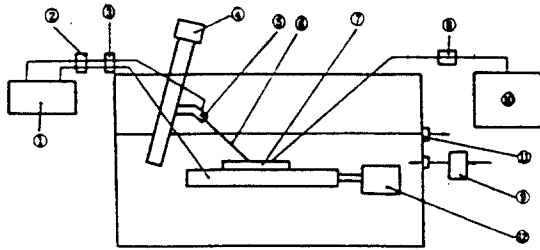
본 실험연구에 이용한 실험장치는 수중용접시 용접속도, 용접각도, 운봉비등을 임의로 변경할 수 있도록 제작한 수중 용접장치로써 그 개략도는 Fig. 1과 같으며, 수조내부에 모재이동용 운반차를 설치하였다. 용접중에는 상수도를 계속하여 순환시켜 수조내의 수온을 일정하게 유지할 수 있게 하였으며, 실험에 사용한 용접기는 직류 발전형 수하특성의 직류용접기로 용량은 500Amp이며 직류 정극성으로 용접실험을 실시하였다. 용접전압

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of base metal TMCP steel

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		Tensile strength		Elongation E_t		Charpy impact value, I_m			
	Y_P (MPa)		T_S (MPa)		(%)		(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	
		0.097	0.29	1.02	0.034	0.014	—	—	—
Mechanical properties	Yield strength Y_P (MPa)		Tensile strength T_S (MPa)		Elongation E_t (%)		Charpy impact value I_m (J) (0°C)		Reduction area (%)
	515		549		24		62		61

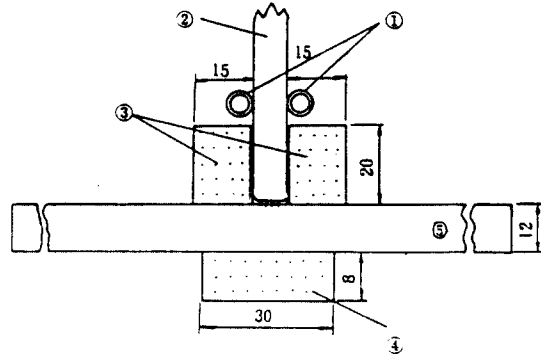


- ① Welding machine
- ② Ampere meter
- ③ Volt meter
- ④ Electrode moving device
- ⑤ Electrode holder
- ⑥ Electrode
- ⑦ Welding specimen
- ⑧ DC Amplifier
- ⑨ Flowmeter
- ⑩ Recording device
- ⑪ Cooling water
- ⑫ Specimen moving device

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipments

과 전류를 측정하여 기록할 수 있도록 하였으며, 수중용접실험중 전기적인 안전을 기할수 있도록 하였다.

용접실험은 수중에서 습식으로 실시하는 습식수중아크용접(습식수중용접법)방법과 Fig.2에서 보는것과 같이 용접부 양편과 모재 이면에 실리콘고무와 본드 등으로 차폐시켜서 습식방식을 개선한 용접방법(실드수중용접법) 및 수중용접과 비교하기 위하여 대기상태의 용접(대기용접)등 용접분위기를 세 종류로 분류하여 실시하였으며, 대기용접은 수중용접 전류의 약 80% 정도로 하여 비드크기가 수중용접과 비슷하게 하였으며, 각종 실험의



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

Fig.2 Methods for shielding the part to be weld

용접조건은 Table 3에 나타내고 있다. 용접실험중의 전류, 전압, 파형 및 열사이클등을 측정하기 위해서 검류계를 이용한 마그네틱오실로그래프를 이용하였으며, 확산성수소량의 측정⁽⁵⁻⁶⁾은 KS B 08 23의 규격에 따라 용착금속 및 용접금속의 수소량을 측정하였으며, 용접봉은 특별한 건조처리를 하지 않고, 공기중에 방치하여 두었다가 물속에 잠긴 상태에서 수중용접을 실시하였다.

열사이클을 측정하기 위하여, 시편이면에 지름 3.2mm의 드릴구멍을 뚫어 그 속에 0.4mm의 PR열전대를 넣고, 퍼커션용접 시킨 후 절연시키고 수밀처리하였다. 수중 용접봉을 사용하여 수평하향

Table 3 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

자세의 비드용접을 실시하였으며, 모재상부의 냉각과정이 습식용접부의 열사이클을 특징적으로 나타내므로 모재표면에서 1mm 내부의 점을 측온점으로 선정하였으며, 측온위치와 측온점의 세부도는 Fig.3과 Fig.4와 같다.

기계적 성질을 검토하기 위하여 맞대기 이음용접을 실시하여 각종 시편에 이용하였다. 경도 측정은 하중 1 Kg으로 하중시간 15 sec이며, 굽힘 시험편은 KS B 0834의 규격으로 기계가공하여 사용하였다. 인장 시험편은 KS B 0801의 규격에 따라 기계가공한 후, 용접부에 노치를 주고 인장시험을 실시하였다. 또한 충격시험은 KS B 0809에

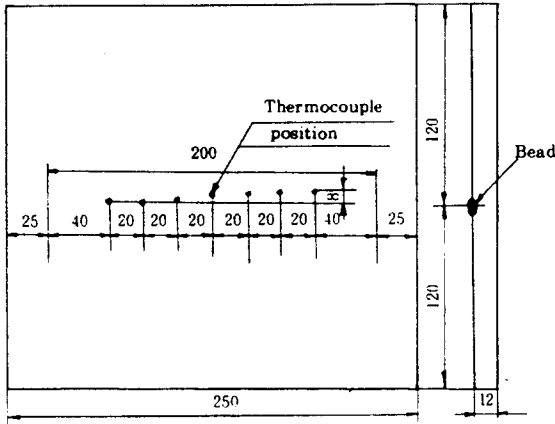
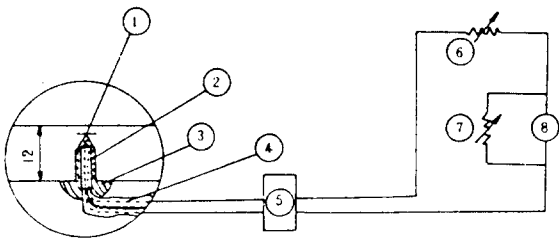


Fig. 3 Workpiece and arrangement of thermocouples(PR 13%)for measuring thermal cycle



- 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. 4 Thermo-junction circuit for measuring thermal cycle

준하여 용접부를 기계가공하였으며, 시편온도 0°C에서 충격시험을 실시하였다.

3. 試驗結果 및 考察

3.1 熔接아크의 安定性

습식수중아크 용접은 물속에서 용접아크가 발생하게 되므로 주위의 물에 의하여 아크가 단절되거나 불안정하게 되는 경향이 있고, 이로 인한 용접 결함의 원인이 되기도 한다. 특히 피복제의 종류에 따라서도 아크의 안정성이 달라지며, 연강용의 저수소계 용접봉이 습식수중용접에서 가장 불량한 것으로 나타나지만⁽⁷⁾ 고장력강용 용접봉에 대한 다른 연구결과는 찾아 보기 힘들다. Fig.5는 일미나이트계 수중용접봉을 사용했을 때의 전류 및 전압의 파형을 오실로그래프에 나타낸 것으로, 실드수

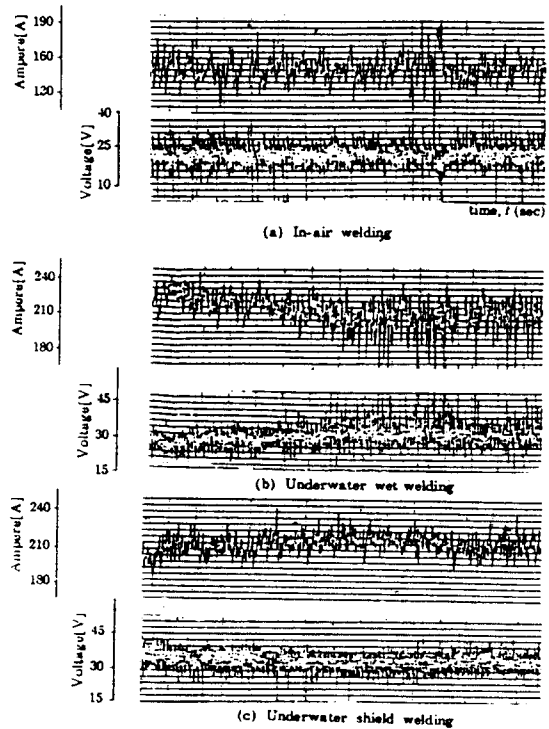


Fig. 5 Oscillograms by welding environments(as shield or not) when using ilmenite type wet welding electrode

중용접시의 아크상태가 습식수중용접에 비하여 용접아크의 안정성이 현저하게 개선되어 있음을 알 수 있다.

3.2 熔接 슬러그의 剝離性

습식수중아크 용접은 물속에서 직접 아크용접을 하게 되므로 다중용접을 실시할 때는 용접부에 남게되는 슬러그를 제거하는 문제가 대두된다. 수중에서 슬러그를 제거하는 것은 쉬운 일이 아니며, 특히 용접부에 슬러그가 밀착되어 박리성이 나쁘면 습식수중용접의 실용화에 어려움이 가중될 것이다. 본 연구에서는 대기중, 습식수중 및 실드수중 용접후의 슬러그외형과 박리성에 대하여 검토하였다. 대기중 용접시는 슬러그가 잘 떨어져 실험에 어려움이 없었으나, 습식수중 용접시에는 용접중 물의 비등현상에 기인하여 Photo.1에 보는 바와 같이 슬러그의 모양이 일정하지 않고 슬러그 표면도 균일하지 않으며, 용접부 주위에 산발적으로 불규칙하게 분포되어 있다. 그러나 저수소계 및 고산화탄계용접봉에 비교하면 용접부의 표면에 슬러그가 고르게 분포되고, 밀착되는 경우가 거의 없어 수중에서도 쉽게 슬러그가 제거되었다. 실드수중 용접시는 습식수중 용접에 비하여 전반적으로 슬러그의 입자가 작게 되는 경향이 있었으며, 수중에서 제거하는 작업은 습식용접과 거의 같은 수준이었으며, 특별한 차이점은 발견하지 못하였다.

3.3 擴散性 水素量

강 용접부의 저온균열을 발생시키는 원인에는 확산성 수소가 관여되는 수가 많고, 특히 피복아크 용접봉을 사용한 습식수중용접시에는 용접금속중에 다량의 수소가 용해되어 급냉되므로 수소에 의한 용접부의 취화가 생기게 된다⁽⁸⁻¹⁰⁾. 그러므로 본 연구에서는 실드수중용접에 의한 확산성 수소량의 저감효과를 조사하여 습식수중용접법의 결함을 개선하고자 하였다. Fig. 6은 일미나이트계 수중용접봉을 사용하여 용접한 시편의 확산성 수소량을 대기중, 습식수중 및 실드수중용접에 대하여 비교하여 나타낸 것으로 대기중 용접에 비하여 수중용접

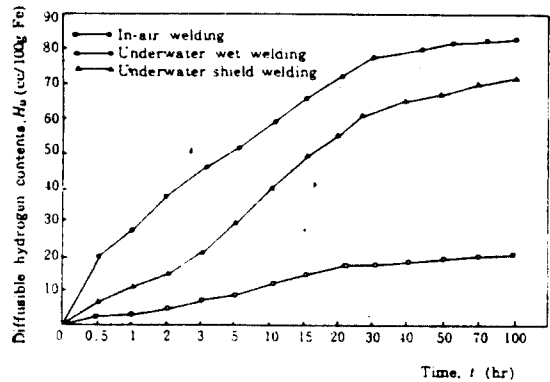


Fig. 6 Effects of welding environments(as shield or not) on diffusible hydrogen contents when using ilmenite type underwater welding electrode

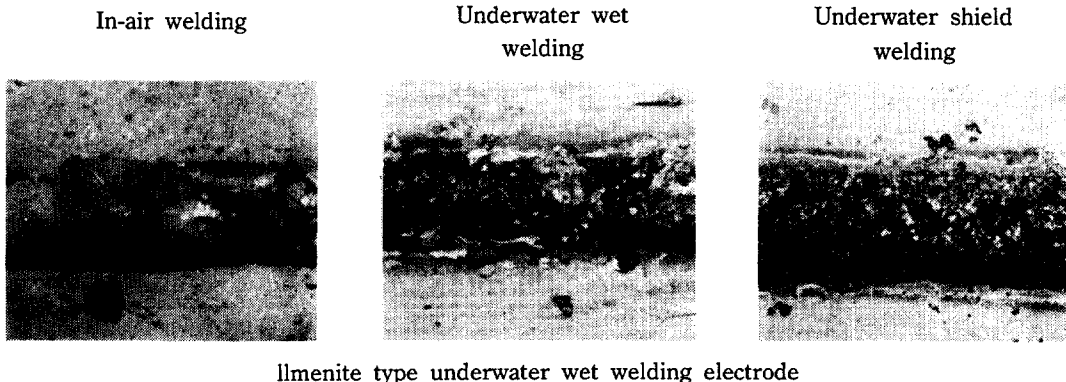


Photo. 1 Appearance of slug in various welding environments(as shield or not)

시의 확산성 수소량이 크게 증가하고 있으며, 습식수중용접과 비교하면 실드수중용접에 의한 확산성 수소량이 상당히 감소되고 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 실드에 의한 환경온도의 상승으로 냉각속도가 감소되므로써 확산성 수소의 확산속도가 빨라지고, 또한 생성도 억제되기 때문이라고 생각된다. 본 실험의 범위내에서 고찰해 보면 일미나이트계 수중용접봉을 사용하여 실드수중용접을 하면, 용접후 약 100시간이 경과 될 때까지는 확산성 수소량이 약 21% 정도 감소하였다. 이와 같은 현상은 시편 양편의 실드에 의하여 용접부에 물의 유입이 차단되고, 용접슬러그가 용접금속 표면에 균일하게 분포되고 있으므로 용접부 주위에 있는 물의 유동이 억제되고 고온에서 수증기 분위기가 안정되므로, 일종의 온탕과 같은 작용을 하게 되어, 냉각속도 완화작용과 수증실드 효과에 의해 확산성 수소 생성이 억제되고, 이미 생성된 확산성 수소도 용접 진행 중 또는 완료전에 확산 방출되는 것으로 사료된다.

3.4 硬 度

Table 3과 같은 용접조건으로 비드용접한 시편의 표면에서 1mm 지점⁽¹¹⁾에 대한 미소경도(micro Vickers hardness) (load 1 Kg) 분포상태를 측정하여 각종 용접방식에 따라 비교하여 고찰하였다. 대기중 용접의 경우, 일반적으로 고장력강의 열영향부는 모재보다 경화되어 경도가 상승하는 경향이 있으나, 본 실험에서는 TMCP강의 특유한 현상으로 가속냉각효과가 용접 열사이클에 의해서 소멸되어 열영향부의 경도가 감소하는 경향으로 나타났다⁽¹²⁾. Fig. 7은 용접방식에 따른 비드용접부의 경도 분포 상태를 나타내고 있으며, 습식수중용접의 열영향부 최고경도는 Hv270 정도이나, 실드수중용접의 경우는 Hv 220-225 정도로 최고경도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이와같이 실드방식에 의하여 열영향부의 최고경도는 습식수중용접의 경우보다 18% 정도 감소함을 할 수 있다. 이것은 수중 용접시 아크주위의 수증기 분위기가 실드에 의하여 습식과는 다른 현상으로 용융금속에 작용하는 것으로 생각되며, 용접부의 냉각속도가 지연되므로써 용융금속 혹은 열영향부의 조직이 개선

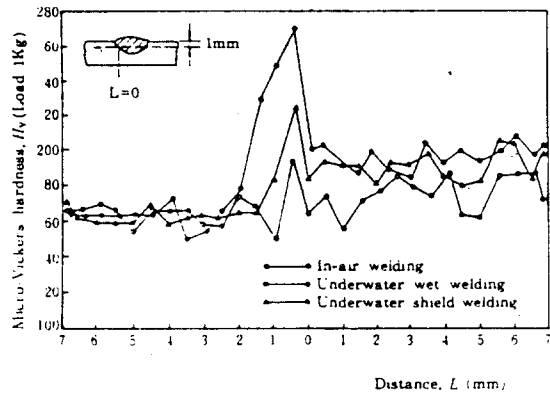


Fig. 7 Effects of environments on the hardness distribution of underwater welds(as shield or not) when using ilmenite type underwater welding electrode

되는 것으로 사료된다. Fig. 8은 다층 맞대기 이음용접한 시편의 중앙부분의 경도분포를 나타내고 있다. 표면부분의 최고경도보다 낮음을 알 수 있으며, 다층 용접시는 복잡한 열사이클에 의하여 예열 및 후열처리와 같은 효과가 있으므로 용접층수에 따라 실드의 효과도 증대될 것으로 생각되어 다층 용접시의 해석은 이에 따라 복잡하게 될 것이다.

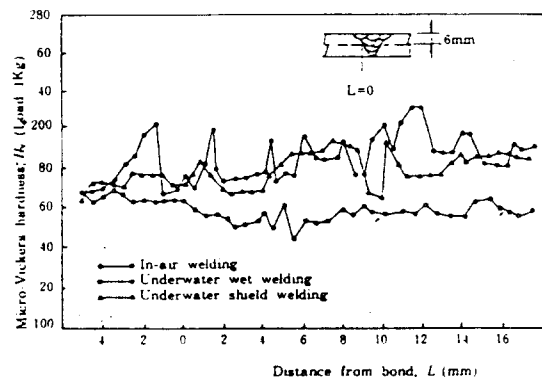


Fig. 8. Effects of environment on the hardness distribution of multipass butt weld joint of in-air and underwater weldings (as shielded or not)

3.5 金屬 組織

Photo. 2는 비드용접한 시편의 중앙부분에 대한 단면부의 매크로(macro)조직과 마이크로(micor) 금속조직을 나타낸 것으로, 시편의 용접단면을 3% 나이탈(nital) 용액으로 부식시켜, 현미경 조직은 200배로 동일하게 촬영하여 비교한 것이다. 용접

부의 조직은 용접금속(weld), 본드부(bond), 열영향부(heat affected zone)등의 조직으로 연속적으로 변화된 것을 나타내고 있다. 대기중 용접에 의한 시편의 용접금속은 용융응고한 부분으로 전형적인 덴드라이트(dendrite)조직을 나타내고 있다. 본드부근은 일부 용해하고 일부는 고체 그대로 있어 극히 조립으로 된 다각형 형상을 띠고 있으며,

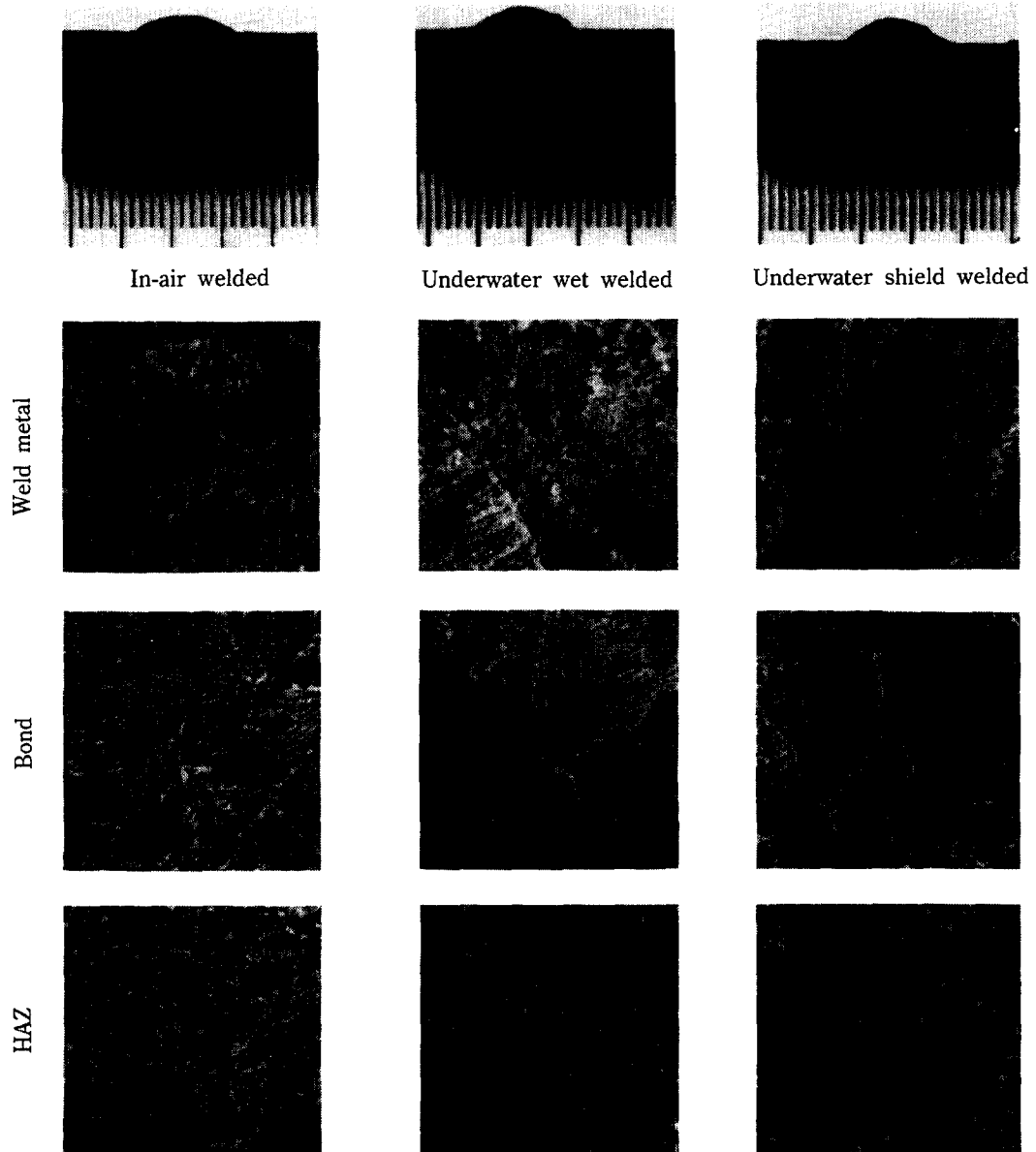


Photo. 2 Macro-photographs of cross-sections of bead welds and microstructure of weldmetal and HAZ

약간의 뷔트만스테텐(Widmanstatten)조직도 보이고 있다. 열영향부는 일반 연강과 달리 침상의 페라이트(ferrite)에 미세한 등축정의 페라이트가 혼합되어 생성된 것을 알 수 있고 배이나이트(bainite)도 일부 생성되어 있는 것으로 추정된다. 일반 연강재에서 열영향부가 모재보다 경화되어 높은 경도를 나타내는 것과⁽¹²⁾ 반대로, TMCP강은 용접열사이클에 의해 열영향부의 연화가 나타남은 경도곡선에서도 알 수 있고, 노치가 없는 평활시편은 용접금속보다는 오히려 경도가 낮은 모재쪽의 파단이 예상된다. 습식수중용접 시편은 용접금속의 덴드라이트가 더 잘 발달되어 있을 뿐만 아니라, 냉각속도가 빠르게 되므로 마르텐사이트(martensite) 조직의 비율이 크게 나타남을 볼 수 있다. 또한 열영향부에서도 마르텐사이트조직의 비율이 크게 나타나고 있다. 이것은 용접부의 급냉에 의하여 냉각속도가 매우 빨라지고, 용접금속 및 열영향부의 평균경도가 대기중 용접에 비하여 크게 높게 나타나므로 조직과 연관시킬 수 있다. 실드수중용접시는 냉각속도가 완화된므로 습식수중용접에 의한 시편보다는 마르텐사이트조직의 비율이 다소 적게 나타나 있으며, 또한 열영향부에서도 미세한 등축정의 페라이트가 더 많이 생성됨으로 인하여 습식수중용접에 비하여 최고 경도분포는 낮게 나타났다. Photo.3은 다층 맞대기 이음용접한 시편단면의 중앙부분에 대한 현미경 조직으로, 공기중 용접의 경우 후층의 용접열에 의해 용접금속의 덴드라이트조직은 더 세립되고, 열영향부의 조직도 보다 미세한 양상을 띠고 있다. 습식수중 용접의 경우는 중앙부분으로 내려 올수록 용접열의 중첩으로 후열처리의 효과를 받아, 배이나이트는 미세하게 나타났으나, 빠른 냉각속도로 용접금속의 응고시에 마르텐사이트기지에 미세한 균열이 관찰되고 열영향부에서도 열응력에 의한 열취화에 의해 미세한 균열이 관찰되고 있어 중앙부에서는 표면부보다 오히려 균열감수성이 크게 됨을 알 수 있다. 실드수중 용접한 시편의 조직은 습식수중 용접부에 비하여 용접금속은 더 미세하게 세립화되어 있으며, 열영향부도 보다 미세한 등축정의 페라이트가 생성되어 있으며 균열의 흔적도 보이지 않고 있다. 따라서 경도 분포에서도

완만한 양상을 보이고 있어 기계적 성질의 개선 효과도 있을 것으로 추정된다.

3.6 冷却 特性

실드수중용접에 의한 용접부의 냉각특성을 검토하기 위하여 각종 용접방식에 의한 용접부의 열사이클을 실험적으로 조사하여 보면, 용접부의 온도가 용융점에서 1400°C까지의 냉각시간은 용접방식의 차이에 따른 냉각속도의 변화는 감지할 수 없었으나, 1400°C에서 1200°C까지의 냉각시간은 대기용접시 0.8초, 수중용접시 0.9초 정도로 대기용접보다도 수중용접이 약간 늦은 경향이 있었다. 이것은 대기용접보다 수중용접시의 입열량이 약 3.8 KJ/cm정도 크고, 고온에서 주위의 물과 실드에 의해 순간적으로 열이 차단 되기 때문으로 사료된다. 1200°C 이하의 온도에서는 용접방식에 따라 냉각속도가 현저하게 달라지기 시작하였다. 실드수중용접에 의한 용접부의 냉각시간은 습식용접에 의한 용접부에 비교하면 냉각속도가 상당히 완화된 것을 알 수 있었다. 1200°C에서 800°C까지의 실측된 냉각시간을 비교하여 보면, 대기중 용접부는 약 3.0초 정도이고 습식수중 용접부는 약 2.6초정도이며, 실드방식에 의한 용접부의 냉각시간은 약 2.9초 로써 거의 대기용접부의 냉각시간에 도달되고 있음을 알 수 있었다. 그러나, 용접부의 경도 및 조직에 영향을 미친다고 생각되는 800°C에서 500°C까지의 온도영역은, 대기용접에 비하여 습식수중용접부의 냉각속도가 매우 빠르게 됨을 알 수 있었다. 즉 대기 용 접부의 냉각시간은 11.6초 인데 비하여 습식수중 용접부는 2.8초로 매우 짧게 되었으며 실드수중용접부는 6.4초가 되었다. 500°C에서 300°C까지의 냉각시간은 대기 용접부는 26.8초, 습식수중 용접부는 3.1초, 실드수중 용접부는 4.5초로 나타났으며, 이것은 용접부 주위의 공기와 물에 대한 열전달의 차이로 생각된다. 녹은점의 최고 도달온도가 1400°C인 점의 냉각특성을 용접방식에 따라 고찰해 보면, 수중 용접부 주위를 실드시켜 주는 실드수중용접은 습식수중 용접에 비하여 냉각시간이 대폭 지연됨을 알 수 있다. 즉, 14초 후의 온도는 대기중은 520°C, 실드수중은 325°C, 습식수중의 경우는 185°C 정도으로써 실드수중용접

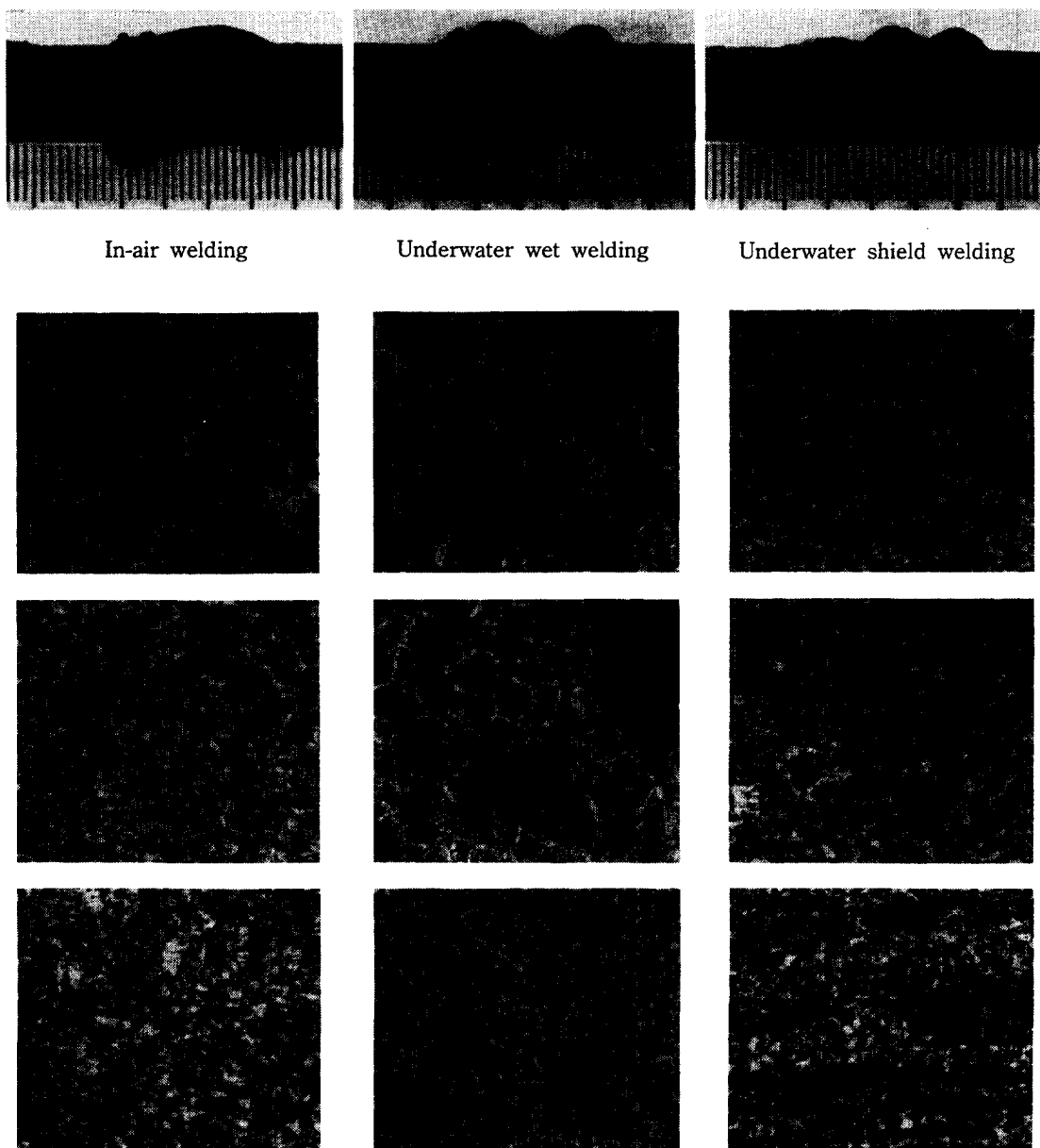


Photo. 3 Macro-photograph and micro-structures of welds

이 습식수중용접보다 약 140°C 높게 나타났다.

용접방식에 의한 냉각과정을 검토하기 위하여, 온도영역과 평균냉각속도(온도차/100°C의 온도차를 얻기 위한 냉각시간)와의 관계를 Fig. 9에 나타내고 있다. 여기서 살펴보면 대기 용접부의 평균

냉각속도는 온도영역이 저온으로 이동됨에 따라 비례적으로 감소하지만, 습식수중 용접부의 평균 냉각속도는 온도영역 750°C 근처에 극대로 되는 현상이 나타나며 온도영역에 비례하여 감소하지는 않는다. 이것은 용접부 주위에 있는 물의 비등과

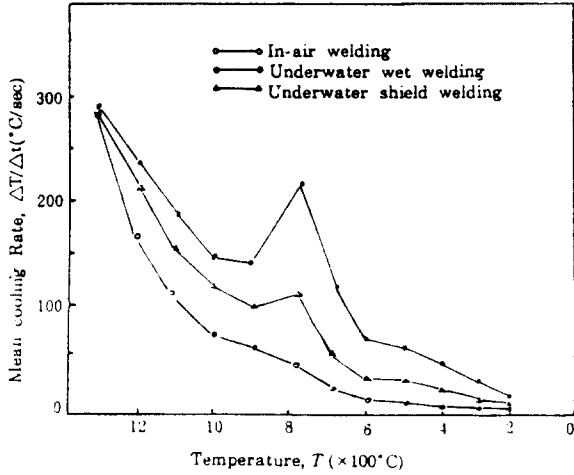


Fig. 9 Relations between temperature and mean cooling rate for each welding curve.

정이 천이되는 현상에 기인한다고 생각된다⁽¹⁴⁾. 기초실험을 통한 결과를 살펴보면, 수중용접부의 냉각속도는 측면위치에 관계없이 극대점이 나타나며, 표면에서 내부로 들어 갈수록 극대치와 극소치의 차이가 적게 되고, 극대치를 나타내는 온도가 고온측으로 이동되는 경향이 있었다. 이것은 물의 비등형태가 천이되는데 원인이 있는 것으로 사료되며, 최대 열플럭스에 도달된 모재표면에서 최대 냉각속도를 얻게 되는 것으로 생각된다. 이와같은 냉각속도의 극대화 현상은 모재 내부에 들어감에 따라 열전도에 의하여 완화되고 점차 악화되는 것으로 볼 수 있다. 한편 용접부 주위의 물의 비등 현상을 고찰해 보면, 가열면의 작은 공동에 들어 있는 수증기의 불규칙한 동요 및 기포 주위에 인접한 물의 유동이 핵비등을 심하게 교란시켜 열플럭스에 영향을 미친다고 생각된다. 막비등에서 천이비등을 거쳐 핵비등에 도달되는 순간 열플럭스가 최대가 되고 이때 냉각속도의 극대점이 된다고 생각된다. 그러나 실드수중 용접부의 평균냉각속도는 습식수중용접에 비교하면 상당히 감소되고, 평균냉각속도의 극대값이 약 절반 가까이 줄어들고, 용접부의 최고 도달온도가 낮아짐에 따라 점점 감소하는 경향이 있다.

3.7 機械的 性質

Table 3같은 최적 용접조건으로, 시험 개발된 일미나이트계 수중용접봉을 사용하여, 각종 용접 방식에 따라 다층 맞대기 이음용접한 시편의 인장 시험, 굽힘시험, 충격시험등의 결과를 요약하여 간략하게 도식화시켜서 Fig. 10-Fig. 12에 제시하였다. 이러한 기계적 성질의 시험 결과에서 전체적으로 종합하여 보면, 습식 수중아크용접에 의한 시편의 기계적 성질은 대기용접에 비교하면 매우 저조하여, 용접부의 이음성능을 향상시키기 위하여 다각적인 연구가 요망된다. 따라서 본 실험연구 결과는 습식수중 용접부 주위를 실드시켜서 용접 아크를 안정시키고, 용접부의 냉각속도를 완화시킴으로서 기계적 성질의 개선효과⁽¹⁵⁻¹⁶⁾를 입증할 수 있었으나, 수중용접시 용접부가 주위의 물에 의한 용접급냉(weld quenched) 현상은 금속적 특성 해석에 따라 해결해야 될 것으로 사료된다. 그러나 TMCP 강과 같은 모재의 특성에 적합한 수중용접봉의 개발, 실드방식의 개선, 수중에 적합한 용접피복재의 개발, 용접방식의 개선등을 통하여 습식 수중용접의 기계적 특성은 향상될 것으로 생각한다.

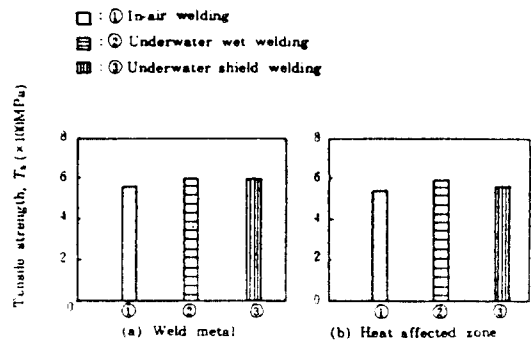


Fig. 10 Comparison of tensile strength in various welding environments of in-air and underwater weldings(as shielded or not)

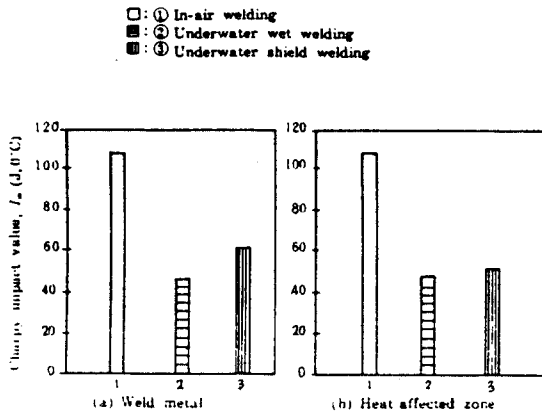


Fig. 11 Comparison of Charpy impact value in welding environments of in-air and underwater welding(as shielded or not)

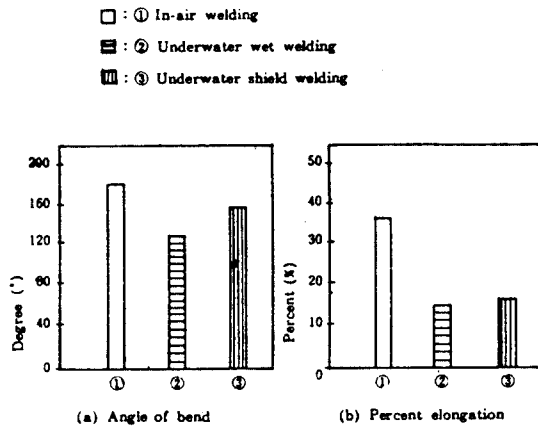


Fig. 12 Comparison of bending angle and percent elongation among various welding environments of in-air and underwater welding (as shielded or not)

4. 結 論

TMCP강에 대한 습식수중 아크용접부의 냉각특성 개선을 위하여 수중용접부 주위를 실드시키고, 시험개발된 수중용접봉을 사용하여 수중용접실험을 실시한 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1) 용접부 주위를 내열재등으로 실드시켜 주면

용접아크가 안정되고 용접비드 및 슬러그의 박리성이 개선된다.

2) 실드수중용접에 의하여 확산성 수소량의 저감효과가 있고 습식수중용접에 비교하면 약 21%가 감소되었다.

3) 용접부 주위를 기술적으로 실드시키면, 용접부의 냉각시간이 지연되고 냉각속도가 감소되어 용접부의 경화를 완화시켜 준다.

4) 실드방식에 의하여 열영향부와 용접금속의 조직이 개선되어지며, 기계적성질이 개선된다.

參 考 文 獻

- 1) 蓮井淳, 管泰雄, 當林英 夫, “水中に あける 重力式 アーク 溶接”(第3報), 日本溶接學術誌, 44(6), pp. 459-465, 1975.
- 2) 兵崎正信, 神原實雄, “高張力鋼の 水中溶接”, 同誌, 48(2), pp. 115-1231, 1979.
- 3) 蓮井淳, 管泰雄, “水中溶接部の 氣孔生成についで”, 同誌, 50(12), pp. 1225-1231, 1981.
- 4) 益本功, 松田一夫, 長谷川正義, “水中溶接による 軟鋼溶接繼手の 割れ感受性に 關する 研究”, 同誌, 50(9), pp. 811-887, 1981.
- 5) 管泰雄, “水中溶接繼手の 性能に 及ぼす 水素の 影響”, 日本 溶接學會 論文集, 2(4), pp. 676-680, 1984.
- 6) JIS Z-3113, “溶着 金屬の 水素量 測定方法”
- 7) 蓮井淳, 管泰雄, “水中に あける 重力式 アーク 溶接(第1報)”, 日本溶接學術誌, 43(8), pp. 767-775, 1974.
- 8) 森川 博文, 森山康, 伊藤 龜太郎, “鐵鋼新素材, TMCP 鋼の 冶金的 特徴と 母材特性”, 同誌, 55(2), pp. 83-90, 1986.
- 9) Arata, Y., Hamasaki, T. Sakakibara, “hydrogen content in arc atmosphere of water curtain type underwater argon arc welding”, Trans. of JWRI, 10(1), pp. 19-25, 1981.
- 10) Howden, D. G, “Behavior of hydrogen in arc welded pools”, W. J. 61(4), pp. 103-108, 1982.
- 11) 佐藤邦彦, 田村屯, 大前燒, 眞禍 幸男, 品田幸

- 三郎”, 局部乾式 水中溶接による 軟鋼, 50キロ鋼の 冷却特性と 硬化”, 日本溶接學會誌, 50(8), pp. 800-806, 1982.
- 12) 신민태, 윤중근, 김희진, “TMCP강의 용접열 영향부 인성에 관한 연구”, 大韓 溶接學會誌, 4(3), pp. 43-49, 1986.
- 13) 衣川 純一, 福島孟, 福島 貞夫, “水中に あける プラズマ 溶接(第3報)”, 日本 溶接學會誌, 43(2), pp. 189-196, 1974.
- 14) 蓮井淳, 管泰雄, 關水信之, “水中に あける サブヌージャーク 溶接(第2報)”, 同誌, 48(11), pp. 917-920, 1979.
- 15) 오세규, 김민남, “TMCP강의 수중ARC용접실험과 용접성”, 韓國 海洋工學會誌, 1(2), p. 243-249, 1987.
- 16) 김민남, “고장력강의 습식수중 아크용접에 대한 냉각율과 기계적 특성에 관한 연구”, 한국 해양공학회지, 2(1), pp. 125-134, 1988.