

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第10卷 第2號 1992年 6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 10. No. 2, Jun., 1992

국부건식(물커튼식)수중용접법에 관한 연구

이규복* · 황선효** · 박영조** · 김종열**

A Study on Locally Drying Underwater Welding

K.B. Lee*, S.H. Hwang**, Y.J. Park**, J.Y. Kim**

Key Words : Locally Drying Underwater Welding(국부건식수중용접), Water Curtain(물커튼), Local Cavity(국부공동), Thermal Cycle(열사이클), CO₂ Welding(탄산가스용접)

Abstract

A torch was designed and fabricated in order to develop the technology of "locally drying underwater welding" by water curtain method. The condition for the formation of the possible local cavity, the mechanical properties and the thermal cycle of welds were investigated in the developed welding equipment compared with in-air welding. The possibility of highly reliable and practical underwater welding was found. The proper local cavity was formed above the water flowrate of 30ℓ/min and CO₂ gas flowrate of 100ℓ/min. The bead width and penetration depth were increased with increasing welding current. The hardness of weldments is about 160Hv in air welding, but about 210Hv in underwater welding. The elongation and the impact value of underwater weldments are 15% and 6 kg/cm² respectively, which are only half as much as the values of in-air welding. The cooling time in the temperature range from 800°C to 500°C affecting the structure and the hardness of weldments is about 22 sec. in air welding while about 10 sec. in underwater welding.

* 정희원, 전북대학교 공과대학 금속공학과

** 정희원, 한국기계연구소부설 한국해사기술연구소

1. 서 론

해저자원의 개발, 해양에너지 활용 및 해양공간의 이용 등에 불가결한 각종 해양 구조물과 관련 해양설비의 제작 보수를 위해 신뢰성이 높고 실용가능한 수중용접기술의 개발이 시급히 요청되고 있다. 특히 우리나라에는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으면서 지하자원이나 가용국토가 부족하므로 주변의 해양이 갖고 있는 무한한 해양자원의 개발을 위해서는 각종 설비의 개발과 함께 수중용접 기술개발도 병행되어야 할 것이다. 이에 대처하여 선진각국에서는 여러가지 수중용접기술이 활발히 연구, 개발되어 왔는데^{1~3)}, 현재까지 개발된 수중용접법은 (1)습식법, (2)건식법, (3)국부 건식법으로 대별할 수 있다.

습식법은 수중에서 직접 아크를 일으켜 용접하는 방법으로 가장 경제적인 반면 주위에 물이 존재하므로 이 물로 인하여 용접부에 기공을 형성하거나 취화, 균열의 원인이 되기도 한다. 건식법은 물이 완전히 배제되고 Ar+O₂, He+O₂ 등의 분위기에서 용기내에서 용접하는 방법으로 다른 두 방법에 비하여 비용은 더 들지만 대기중 용접과 거의 비슷한 용접부의 품질 및 작업의 안전성 등을 얻을 수 있다.

또한 국부건식의 경우는 수중에서 용접부위만 국부적으로 물을 배제한 상태에서 Ar가스 또는 CO₂가스 등의 분위기 하에서 행하는 용접법으로 용접의 작업성 및 용접부 품질에 다소 문제가 남아 있다. 그러나 국내에서는 이들 수중용접기술에 대한 연구가 거의 발표된 바가 없어 이에 대한 활발한 연구가 절실히 요구되고 있다.

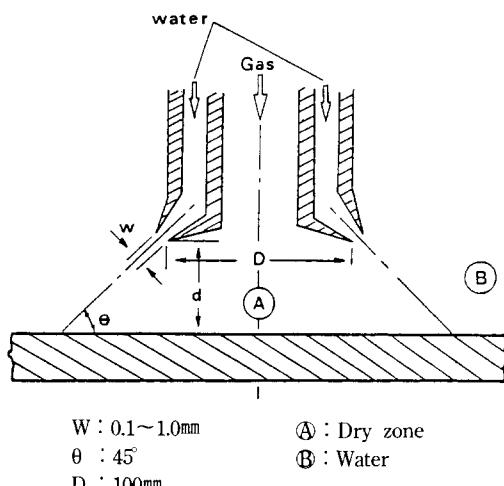
따라서 본 연구에서는 가스 메탈 아크(gas metal arc)용접의 수중용접에의 적용에 있어서 물커튼(water curtain)법에 의한 국부건식 수중용접기술을 개발할 목적으로 수중용접토치를 자체 설계, 제작하여 공동형성 조건, 용접부의 기계적성질 및 용접부의 열사이클특성 등에 대하여 각각 대기중 용접과 비교하여 조사하였다.

2. 국부건식 수중용접 실험장치

국부건식 수중용접 중 가스 메탈 아크용접을 적용

하는 경우, 수중에서 공동을 형성시키는 방법으로는 와이어 브러쉬(wire brush)법과 물커튼법 2종류로 대별할 수 있는데 물커튼법이 기술상의 어려움은 있으나 용접부 품질면에서 우수하다⁴⁾. 본 연구에서는 물커튼법에 의한 수중용접공정을 개발하는 것이 목표이며, 물커튼을 형성할 수 있는 토치의 개발이 중요한 문제가 된다.

Fig.1은 물커튼법에 의한 국부건식 수중용접의 원리를 나타낸 것으로서 방사상 수분류 원리를 이용하여 보호가스(shield gas)에 의한 공동을 형성하고 이 공동내에서 용접을 행하는 것이다. 즉 이 방법은 2종토치의 선단을 방사상 노즐로 하여 외측노즐로 부터 고속의 수분류를 커튼상으로 분출시키면서 토치 중앙부(내측노즐)로부터 보호가스를 공급하면 토치주위에 형성된 고속분류의 차단작용, 흡인작용 및 비산가스기포의 분쇄작용 등에 의해 토치 바로 아래에는 안정한 기상역(국부공동)이 형성되는데, 본 용접법은 이 기체분위기 내에서 행하는 것이다^{5~7)}.



W : 0.1~1.0mm

θ : 45°

D : 100mm

Ⓐ : Dry zone

Ⓑ : Water

Fig. 1 Principle of "Locally Drying Underwater Welding" method

보호가스와 주위 물과의 격벽을 유체로 형성하는 경우, 유체로서는 공기를 포함한 기체도 생각할 수 있지만, 기체의 밀도는 물에 비하여 대단히 작고 수중에서의 거동은 보호가스류의 거동과 유사할 것이며 고속기류를 분출시켜도 충분한 격벽의 작용은 할 수 없다. 격벽을 형성하기 위해 액체의 흐름을 이용할 경우에는 액체의 점성 및 밀도가 크고, 또한 연속적으로 공급이 가능하며, 용접금속 성분에 영향을 주지 않을

것등이 요구된다. 수중용접에 있어서 이들 요건을 만족시키는 액체는 수도물 또는 해수이며 수중으로의 물의 방출은 점성저항에 의한 유속의 저항을 초래하는 것만으로도 기체에 비하여 도달거리가 크게 개선되며 격벽으로서의 작용을 충분히 발휘하는 것이라고 생각된다. 그래서 Fig.1에 나타낸 바와 같이 보호가스용 노즐주위의 외주에 슬릿상의 노즐을 설치하고, 보호가스류의 주위에 커튼상의 물을 분출하여 공동을 형성시키도록 하였다. 안정한 공동의 형성은 물커튼내부의 압력이 주위의 수압보다 높고 또한 가스를 세립화하며, 압력의 변화를 억제함으로써 얻어질 수 있다.

본 연구에서 설계, 제작한 토치의 구조는 단일 가스방식, wire 돌출 길이조정은 5~25mm, 용접전류는 0~500A, wire는 1.2~1.6φmm, 보호가스량은 0~150ℓ/min, 노즐 직경은 100mm, 수분류 폭은 0.1~1.0mm, 수분류량은 0~150ℓ/min, 수분류 각도 45° 등으로 사용할 수 있게 제작하였다. Fig.2(a)는 실제 토치를 보여주고 있으며 (b)는 수중에서 물커튼의 형성을 보여주고 있다. Fig.3은 본 연구에서 사용한 물커튼에 의한 공동형성

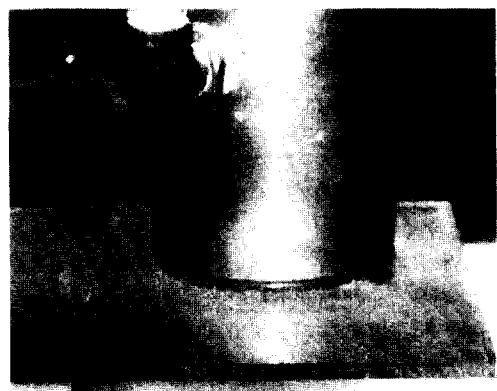
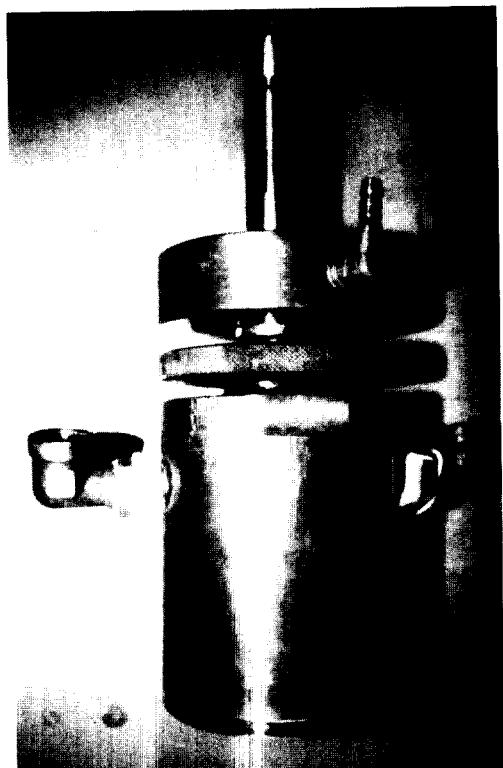


Fig. 2 Water curtain type torch(a) and water curtain formed under water(b)

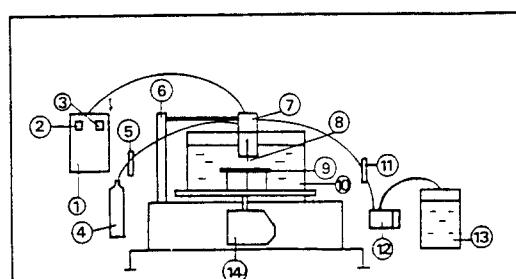


Fig. 3 Appearance and schematic diagram of experimental underwater welding apparatus

수중용접 실험장치와 그 개요도를 나타낸 것으로서, 수조($400 \times 450 \times 600\text{mm}$)는 투명 아크릴로 제작하여 용접시 외부에서 용접상태의 확인 및 사진촬영이 가능 토록 하였다. 이 수조는 autocarriage 위에 설치하여 피용접물을 이송시키는 방법을 택하였고 용접속도의 제어는 이 carriage를 이용하여 조절 가능하게 하였다.

CO_2 수중용접에서 가장 중요 부분인 국부공동을 형성시키기 위하여 수도수를 물탱크에 저장시키고 수중 용접 전용 water pump를 이용하여 $0-150\ell/\text{min}$ 로 강제송급용 수량계를 사용하였으며, 수온 상승으로 인한 냉각속도의 차이를 줄이기 위하여 실험에 사용된 물은 수조 밑의 배수장치를 통하여 배수시켜 항상 상온의 수도수를 공급시키며 실험할 수 있도록 하였다. 습식 수중용접인 경우에는 해수를 사용할 때 염분때문에 분류(shunting current)가 일어나며 용접전류가 저하할 수 있는 점등 수도수와 차이가 있으나 본 연구에서 수행한 국부건식용접인 경우에는 용접와이어가 직접 물과 접촉하지 않기 때문에 큰 차이가 없을 것으로 사료되어 수도수를 사용하였다. 또한 보호가스 (CO_2)

는 유량계를 통하여 용접부에 공급함으로써 용착금속의 보호 및 공동형성의 변수로 이용하였으며 용접기는 국내에서 생산된 500A용 CO_2 용용접기를 사용하였다.

3. 실험재료 및 실험방법

본 실험에 사용한 시험판재 및 용접 wire의 화학조성 및 기계적성질을 Table 1에 나타내었다. 시험판재는 용접구조용 압연강재인 두께 16mm 의 SS41이며, 용접 wire는 직경 1.2mm 의 연강 CO_2 용접용 solid wire(AWS ER-70S-6)를 사용하였다.

수중용접 시험편은 모재를 길이 400mm , 폭 150mm , 두께 16mm 로 절단가공하여 평활재 및 V형 groove시험편을 준비하였으며, V형 groove시험편의 형상 및 치수는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다.

인장시험편은 KS B 0801의 13호 규격에 따라 노치 중심이 용착금속을 통과하도록 시험편 양측에 V-노치를 주어 연삭가공 하였고, 충격 시험편은 단면 10

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of materials

Materials	Thickness Dia. (mm)	Chemical Compositions					Mechanical Properties		
		C	Si	Mn	P	S	Y. P. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	EI. (%)
Base Met.	12, 16	0.14	0.19	0.56	0.02	0.01	25	52	30
Wire	1.2	0.08	0.50	1.05	0.01	0.01	45	56	30

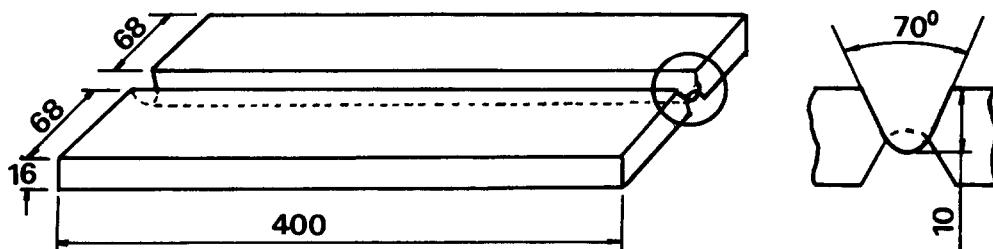


Fig. 4 Size and appearance of base metal specimen

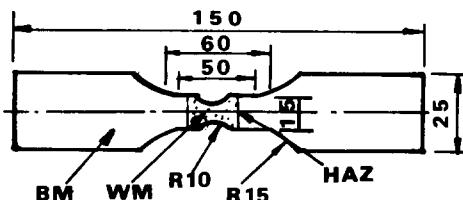


Fig. 5 Dimensions of tensile test specimen

$\times 10\text{mm}$ 로서 용착금속부에 V-노치를 주어 가공하였으며 각각 그 형상과 치수는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

용접방법은 직경 100mm 의 노즐을 이용하여 수분류를 모재에 대하여 45° 의 경사각으로 분출하고 공동형성가스는 보호가스를 겹하여 CO_2 가스를 방출하면서 수심 약 250mm 의 수도물에서 CO_2 용접용 직류전원을 사용하여 Table 2에 나타내는 여러 용접조건에서 수조와 열

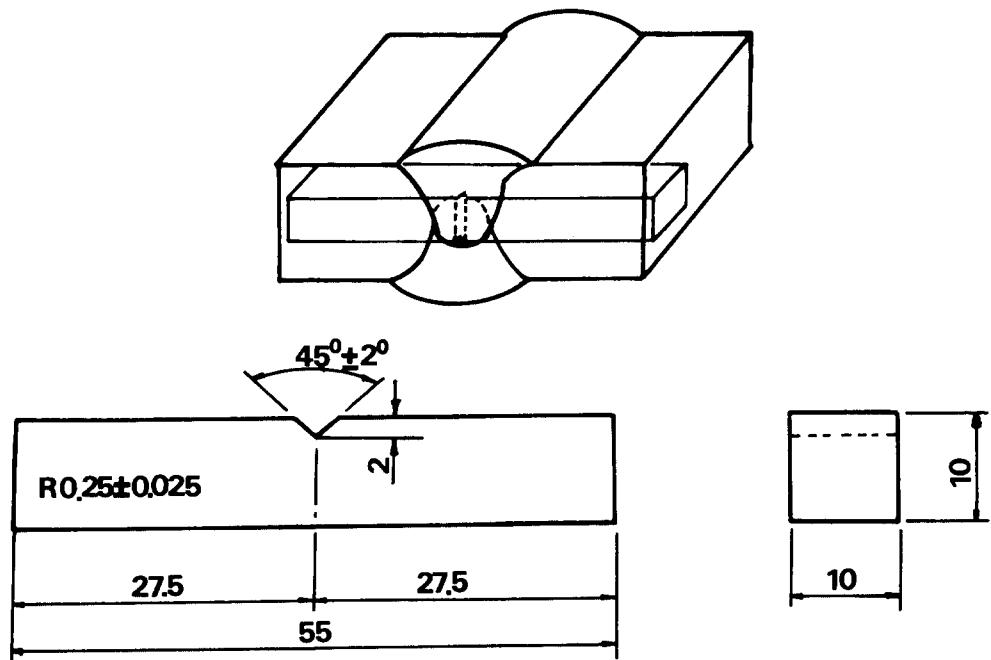


Fig. 6 Dimensions of impact test specimen

Table 2 Range of under-water welding conditions

Type of Welding	Environment of Welding	Welding Condition				
		Welding Current(A)	Arc Voltage(V)	Welding Speed(cm/min)	Gas (ℓ/min)	Water (ℓ/min)
bead-on-plate	under water	240	24	15	40	20
		260	26	20	60	25
		280	28	24	80	30
		320	30	27	100	35
		350	32	30	120	40
	in air	240	24	15	20	×
		×
		300	30	30	60	
V-groove	under water	250	28	15	80	30
	
		350	34	27	140	60
	in air	240	24	15	40	×
		×
		300	30	25	80	

절연된 평판 시험편을 하향자세로 수중용접하였다.

용접시편을 1조로 하여 맞대기 용접을 할 경우 용접부의 물이 유입하게 되어 수중용접을 할 수 없기 때문에 본 실험에서는 용접시편 1개의 중앙에 V형

groove를 10mm 깊이로 밀링 가공하여 1층 용접을 한 다음 다시 반대편에서 10mm 깊이의 V형 groove를 가공하여 2층 용접을 하였다. 평판에서의 용접은 여러가지 용접 변수 및 국부 공동의 최적 형성조건을 선정하기 위하여

bead-on-plate 용접으로 용접변수(물, 가스, 전류, 용접속도, 토치높이 등)를 변화시키면서 용접을 하였다.

용접후 비드의 외관검사, X선 검사 및 마크로 조직 관찰을 통하여 가장 양호한 용접결과를 얻을 수 있는 용접조건을 선정하여 전류, 가스량, 수량 등을 여러가지로 변화시켜 수중용접 실험을 행하였다.

용접부의 미시조직 검사와 경도 분포는 여러가지 용접조건 하에서 수중용접된 용접재에 관하여 용접총의 상하에서 2mm깊이의 위치와 중심선에서 0.5mm간격으로 비커스 미소경도를 측정하였으며, 충격시험편의 과면조직은 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4. 1. 공동형성에 미치는 수량과 가스량의 영향

물커튼법에 의한 국부건식 수중용접에 있어서 최적 공동형성 조건을 찾기 위하여 여러 조건하에서 bead-on-plate 용접을 행하였다. 수중용접에서의 용접조건은 대기중 용접과 마찬가지로 입열량을 결정짓는 용접전류, 아크전압 및 용접속도 외에 수량, 가스량, 토치-모재 간격 등을 들 수 있다. 이 중에서 특히 공동형성에 직접 영향을 미치는 인자는 수량과 가스량이라고 할 수 있다.

Fig.7은 용접전류 280A, 아크전압 30V, 용접속도

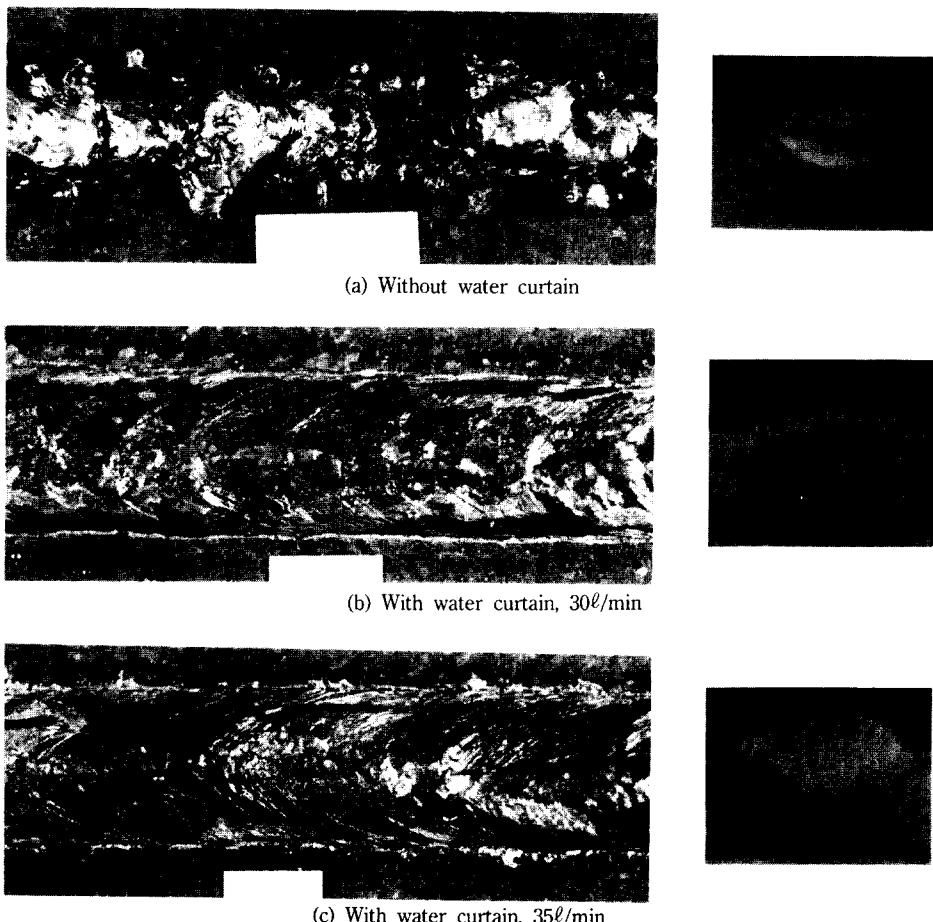


Fig. 7 Appearances of bead

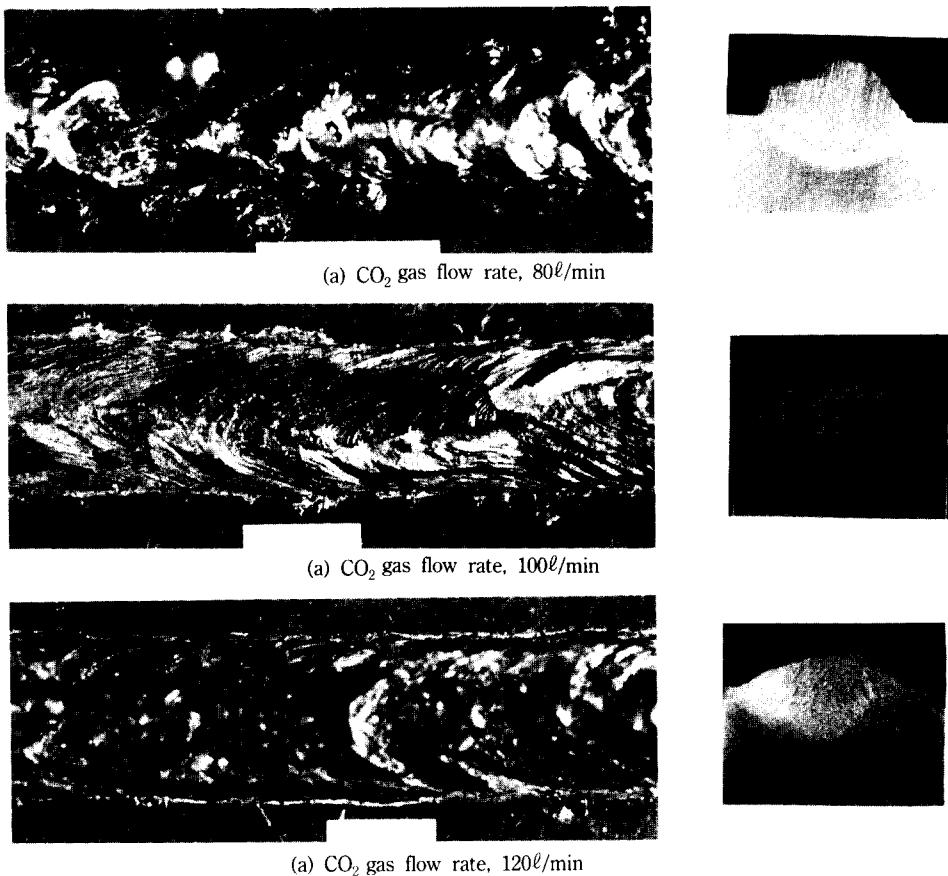


Fig. 8 Appearances of bead

24cm/min, CO_2 가스량 120ℓ/min의 조건에서 수량을 여러가지로 변화시켜 얻어진 용접비드의 외관 및 횡단면의 마크로(macro)조직을 나타낸 것이다. Fig.7(a)는 물커튼을 사용하지 않은 경우의 비드외관으로서 외관 형상은 불량하며, 블로우 홀(blow hole) 및 오버랩등의 결함발생을 관찰할 수 있다. (b)의 수량 30ℓ/min일때 비드는 언더 컷등이 없는 매끄러운 형상을 보이며 수량을 증가하여 35ℓ/min로 하면 (c)와 같이 비드형상은 평평하게 되며 또한 비드 주름(ripple)이 날카롭게 된다. 이것은 보호가스로 보호되어 유동하고 있는 용융부에 유속을 가진 물이 세차게 분출되기 때문이라고 생각된다.

본 연구에서는 많은 예비실험을 통하여 수량 30ℓ/min 이하에서는 공동형성이 불완전하여 용접비드의 외관이 대단히 불량하였고 좋은 공동형성은 수량 30ℓ/min 이상에서 얻어져 양호한 비드를 나타내기 때문에

이후 실험에서는 수량 30ℓ/min의 조건에서 수중용접을 실시하였다.

Fig.8은 용접전류 280A, 아크전압 30V, 용접속도 24cm/min, 수량 30ℓ/min의 조건에서 CO_2 가스량을 80, 100, 120ℓ/min로 변화시켜 얻어진 용접비드의 외관 및 횡단면의 마크로조직을 나타낸 것이다. Fig.8(a)의 가스량 80ℓ/min인 경우 용접비드의 형상은 대단히 불량하고 언더컷 등이 관찰되며 가스량을 증가하여 100ℓ/min 이상으로 하면 (b) 및 (c)와 같이 비드형상은 양호하여 대기중 용접에서 얻은 용접비드와 외관상으로 큰 차이가 없다. 그래서 이후의 실험에서는 CO_2 가스량 100ℓ/min에서 수중용접을 실시하였다.

이상에서와 같이 본 연구에서 적정 공동형성 조건을 찾기 위한 많은 실험을 통하여 수량은 30ℓ/min 이상, CO_2 가스량은 100ℓ/min 이상에서 양호한 공동형성이 되는 것을 확인하였으며, 기타 적정 용접조건으로서

용접전류는 230~350A, 아크전압은 28~36V, 용접속도는 15~30cm/min, 노즐-모재 간격은 5~10mm 범위의 조건에서 용입과다 및 언더컷의 발생없이 양호한 용접비드를 얻을 수 있어 좋은 용접작업이 가능함을 확인할 수 있었다.

4.2. 비드형상에 미치는 용접전류 및 용접속도의 영향

Fig.9는 두께 16mm판재에 아크전압 30V, 용접속도 24cm/min, CO_2 가스량 100ℓ/min, 수량 30ℓ/min의 조건에서 용접전류를 변화시켜 대기중 및 수중용접한 경우의 용입깊이 및 비드 폭의 변화를 나타낸 것으로서 용접전류의 상승에 따라 비드 폭 및 용입깊이는 모두 증가하고 있다. 대기중 용접과 수중용접에서 용입깊이는 저전류의 경우에는 거의 차이가 없으나 고전류로 될수록 대기중에서 용접한 경우가 깊어지고 있다. 이것은 대기중 용접인 경우 고전류로 될수록 용접속도가 늦은 경우에는 예열효과를 기대할 수 있는데 수중용접에 있어서는 저전류에서는 물론이고 고전류로 되어도 충분히 냉각되므로 예열효과가 완전히 없어지기 때문이라고 사료된다.

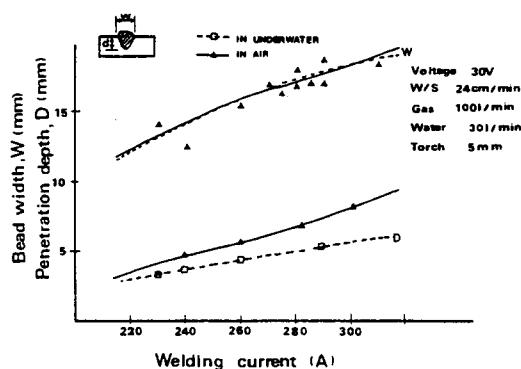


Fig. 9 Relation between welding current and bead shapes

Fig.10은 용접전류 280A, 아크전압 30V, CO_2 가스량 100ℓ/min, 수량 30ℓ/min의 조건에서 용접속도를 변화시켜 수중용접한 경우의 용입깊이 및 비드 폭의 변화를 나타낸 것이다. 단위길이 당 시험편에 가해지는 총 아크열은 용접속도에 반비례하므로 용접속도가 증가하면 비드 폭이 감소하게 된다. 용접속도의 증가에 따라 비드 폭 및 용입깊이는 모두 감소하는데 비드 폭의 감소율이 더 크기 때문에 용입깊이와 비드 폭의 비는 용접속도의 증가와 더불어 커진다. 이것은 용접속도의 증가에 따라

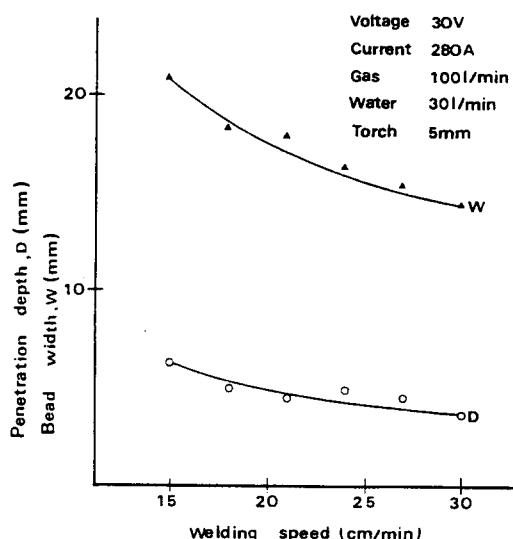


Fig. 10 Relation between welding speed and bead shapes

보다 효율적인 용접이 가능한 것을 나타내고 있다.

4.3. 수중용접부의 경도분포와 미세조직

수중용접은 물에 의한 금냉효과에 의하여 대기중 용접에서 보다 용접부가 경화된다. Fig.11은 용접전류 300A, 아크전압 30V, 용접속도 20cm/min, 수량 30ℓ/min, CO_2 가스량 100ℓ/min의 조건에서 판두께 16mm의 SS41용접재에 대하여 대기중에서 용접한 시험편과 V형 groove 시험편의 양면에 수중용접을 한 시험편의 용접부 가로방향의 경도분포를 나타낸 것이다. 수중용접부의 최고경도는 두번쩨의 용접비드에서 약 280Hv로서 대기용접중인 경우의 180Hv에 비하여 현저히 경화되어 있음을

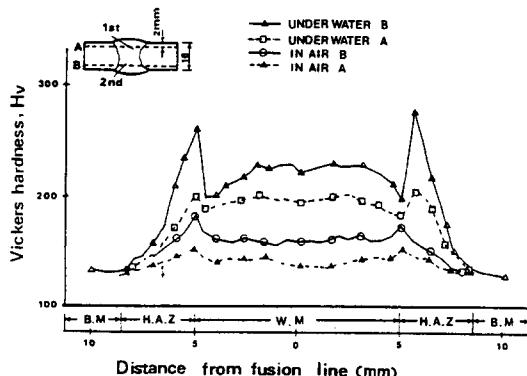


Fig. 11 Hardness distribution of weld in air and underwater welding

알 수 있다. 모재의 경도는 약 30Hv인데 비하여 수중 용접인 경우 용착금속이 약 210Hv정도이고 동일재료, 동일조건의 대기중에서 용접한 경우에 용착금속의 경도는 약 160Hv정도로서 수중용접과 대기용접에 있어서 이런 정도의 경도차이는 실용상 큰 문제가 없을 것으로 생각된다. V형 groove시편의 첫번째 용접비드의 경도가 두번째 비드에서보다 약간 낮은 것은 두번째 용접에 의해 재가열되어 템퍼링(tempering)효과에 의해 용착부가 연화되기 때문이라고 생각된다.

Fig.12는 대기중용접과 수중용접 시험편의 모재에서

2mm깊이에 해당하는 각 부위별 현미경 조직사진으로서 모재는 모두 페라이트와 퍼얼라이트가 균일하게 분포되어 있다. 대기중 용접재의 열영향부(HAZ)는 prior austenite 입계에 괴상 페라이트가, 입내에는 주로 봉상페라이트가 생성되어 있으며 이를 페라이트사이에 충상 퍼얼라이트가 혼재되어 있고 수중용접재의 경우에는 이를 조직이 대단히 미세화되어 있음을 알 수 있다. 한편 대기중 용접재의 용착금속은 입계페라이트, ferrite side plate 및 탄화물을 수반한 페라이트의 혼합조직으로 되어 있고 수중용접재의 경우는 미세한 퍼얼라이트 및

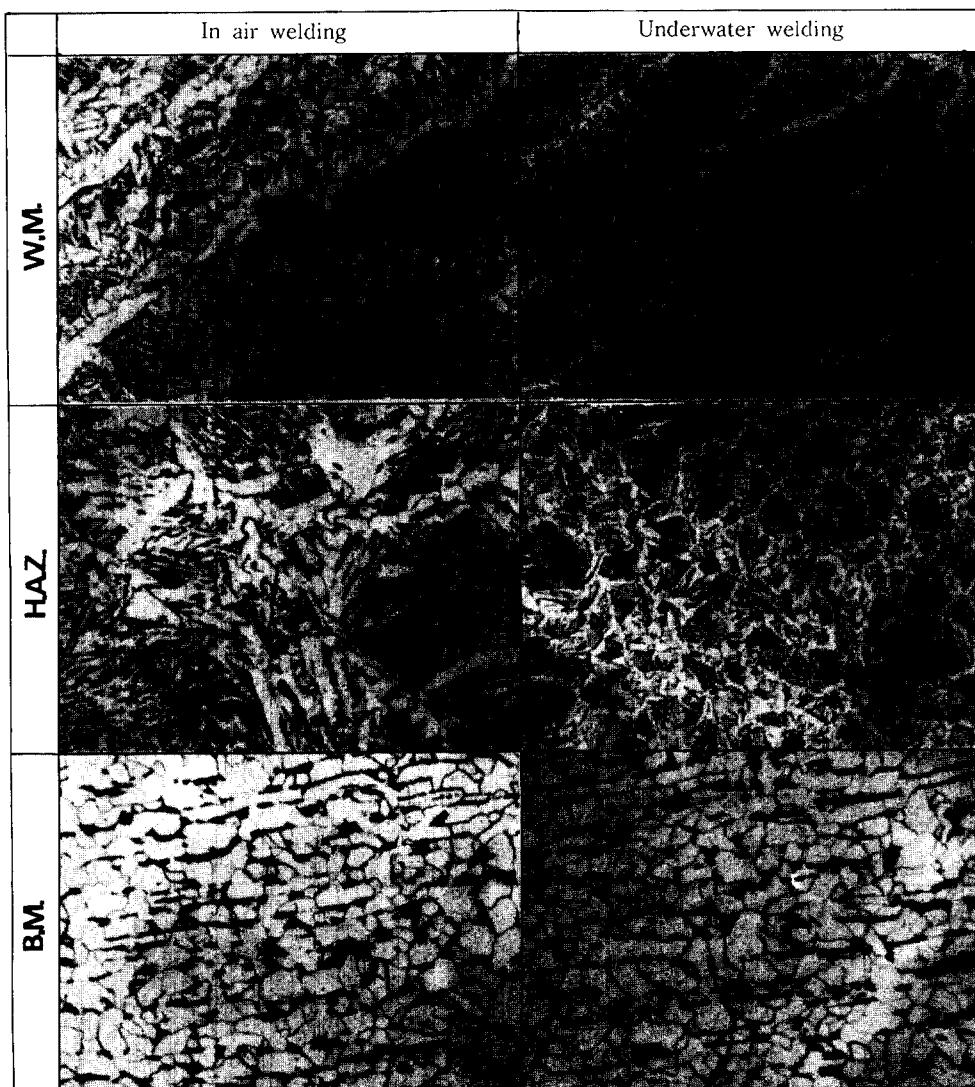


Fig. 12 Microstructures of W.M., H.A.Z., B.M. in air and underwater welding

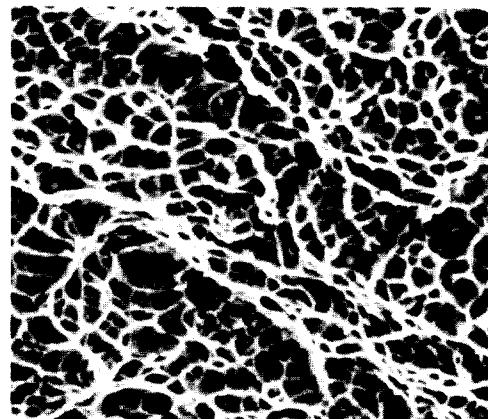
소량의 마르텐사이트, 베이나이트가 관찰된다. 이러한 조직은 후술하는 바와 같이 페라이트 기지의 대기중 용접재보다 미세한 퍼얼라이트 및 마르텐사이트, 베이나이트 조직으로 되어 있는 수중용접재의 경우 경도가 상승하여 그 충격치는 감소하게 된다.

4.4. 용접부의 기계적 성질

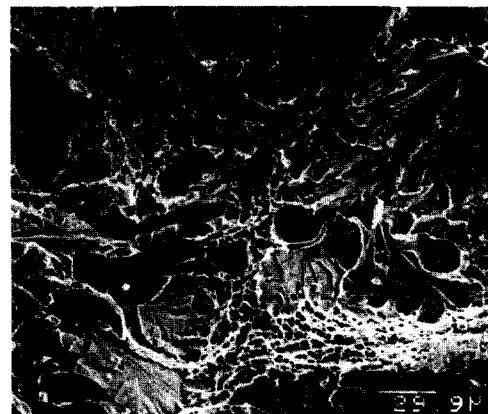
Table 3은 여러가지 용접조건(수량, CO_2 가스량 및 노즐-모재 간격은 각각 30, 100ℓ/min, 5mm로 일정)에서 용접부의 인장강도, 연신율 및 충격치를 조사하여 모재의 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 수중용접에 있어서 물커튼을 사용하고 적정한 용접조건이라면 모재에서 파단하게 되며 용접부는 건전하다. 물커튼을 사용하지 않은 경우나 사용하여도 용접조건이 적정하지 않은 경우에는 블로우 훌이 발생되는데, 수중아크 용접에 있어서 블로우 훌이 용접부의 루트(root)로부터 표면쪽으로 향하여 응고선을 따라 발생하게 되므로 그 양이 많은 경우에는 용접부에서 파단하게 된다.

일반적으로 수중용접의 인장강도는 모재와 같거나 또는 그 이상의 강도가 얻어진다. 본 실험에서도 Table 3에서 보는 바와 같이 수중용접재의 인장강도는 약 70kg/mm²로서 모재의 52kg/mm²보다 다소 높은 값을 보이며 대기중 용접중에서 보다 약 10kg/mm² 높은 값을 나타내었다. 모재의 연신율은 약 30%인데 비하여 대기중 용접재는 그 보다 약간 낮은 약 28%이며, 수중용접인 경우에는 대기중 용접재의 약 1/2인 15% 정도를 나타내었다. 대기중 및 수중용접 모두 용접전류 250~340A의 범위에서는 인장강도 및 연신율은 크게 변화하지 않았다. 충격치는 용접전류 및 용접속도의 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보이지만 약 6.3kg/cm²로서 모재의 충격치 14kg/cm²보다 크게 낮은 값을 나타내며 대기중 용접재인 경우보다 약 1/2의 값을 보이고 있다. 이러한

충격치의 감소는 수중이라는 환경때문에 용접 후 냉각 속도가 빨라 경도가 상승하며 취화되기 때문이라고 생각한다^{9~11)}. 고전류, 고속용접인 경우 용접부에서의 금냉에 의한 경화 때문에 충격치는 낮지만 저전류, 저속 용접조건을 설정하면 냉각속도가 완화되고 또한 템퍼



(a) in air welding



(b) underwater welding

Fig. 13 Fracture surface of impact test specimen

Table 3 Mechanical properties of welds

Welding environment	Welding conditions	Tensile test		Charpy impact test VE(kg, m/cm ²)
		Tensile strength(kg/mm ²)	EI. (%)	
under water	250A -28V -15cm/min	72	14	7.5
	300A -30V -20cm/min	68	16	6.4
	300A -30V -20cm/min	70	15	6.3
	340A -34V -27cm/min	69		5.6
in air	250A -28V -15cm/min	60	28.5	12.7
	270A -30V -20cm/min	56	29	14.0
	280A -30V -25cm/min	55	27.4	12.4
	Base Metal	52	30	14

링이나 어닐링 효과에 의하여 충격치는 약간 증가할 것으로 생각된다.

Fig.13은 대기중 및 수중 용접에 있어서 상온에서 충격시험을 한 후 파면의 주사전자현미경(SEM) 사진을 보여주고 있다. Fig.(a)는 대기중 용접한 시편의 파면 조직으로서 연성파면인 많은 딤플(dimple)을 나타내며 전형적인 입내 파괴가 일어남을 알 수 있고 (b)는 수중 용접한 시편의 파면조직으로 딤플파면과 벽개파면이 혼재하고 있어 대기중 용접재보다 인성은 약간 저하될 것으로 생각된다.

이상의 기계적성질의 시험결과에서 보는 바와 같이 본 수중용접법에 있어서 용접부 품질은 물에 의한 급냉의 영향으로 대기중 용접법에 비하여 약간 저하되지만 비교적 양호한 결과가 얻어졌다.

4. 5. 용접부의 냉각 특성

수중용접에 있어서 용접부의 냉각특성은 대기중 용접과는 많은 차이가 있으며 이 때문에 용접부의 미세조직, 경도등이 변화하게 된다. 따라서 본 실험에서는 대기중 및 수중용접에 있어서 용접부의 냉각특성을 비교검토하였다.

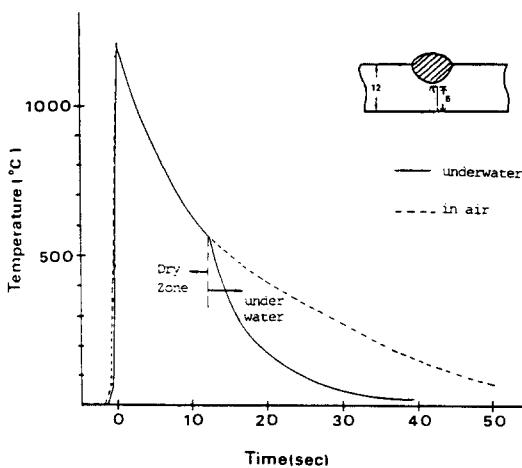


Fig. 14 Measured thermal cycle in air and underwater welding

Fig.14는 용접전류 240A, 아크전압 28V, 용접속도 24cm/min의 동일 용접조건하에서 대기중 및 수중용접부의 열사이클을 비교한 것으로서 열사이클의 측정은 비드 바로 아래부분의 모재에 깊이 6mm, 직경 3mm의 구멍을 뚫어 CA열전대의 감열부를 고정시켜 측정하였다. 다른

용접법에 비하여 본 수중 용접법에서는 토치 바로 아래의 기상역내와 노즐 외측의 수중에서 서로 다른 냉각특성을 나타낸다. 즉 토치 바로 아래의 기상역내에서는 용접부 및 그 부근은 열 전달이 작은 기체로 덮혀 있기 때문에 냉각은 모재 시험편으로의 열전달이 주체가 된 특성을 나타내고 있으며, 이것은 대기중 용접의 경우와 비슷하다. 한편 그 후 용접부가 노즐 밖으로 나와 물과 접촉하게 되면 이제까지의 기상역과는 다른 급냉과정을 거친후, 200~150°C 이하의 저온에서 다시 본래의 냉각특성을 나타낸다. 이것은 고온에서는 비등현상이 일어나 급냉되지만 주위 유체와의 온도차가 작아짐에 따라 자연대류에 의한 열전달 주체의 냉각특성으로 되기 때문이라고 생각한다. Fig.14에서 물커튼을 사용한 수중 용접의 경우는 대기중 용접에서의 냉각곡선과 비교하여 어느 온도 영역에서부터 급냉되어 냉각곡선에 명확한 변곡점이 존재한다. 아크가 통과한 후 그 점이 노즐 후단에 도달하기 까지의 시간은 노즐형상 및 용접속도로 부터 계산해 보면 약 12 sec가 걸리게 되는데 실측된 열싸이클곡선의 급냉 개시점 까지의 경과시간과 잘 일치하고 있으며, 이 급냉의 원인은 커튼물의 충돌에 의한 것이라고 생각된다.

800°C로부터 500°C 까지의 냉각시간은 용접부의 조직과 경도에 큰 영향을 미치는데, 대기중 용접의 경우 약 22 sec인데 수중 용접인 경우는 약 10 sec로서 수중용접인 경우가 대기중 용접인 경우보다 약 2배 정도 빨리 냉각된다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

CO₂ 용접을 수중용접에 적용함에 있어서 물커튼법에 의한 국부건식 수중용접기술을 개발할 목적으로 수중용접 토치를 자체설계, 제작하여 공동형성조건, 용접부의 기계적성질 및 용접부의 열싸이클특성 등에 대하여 대기용접과 비교하여 조사한 결과 아래와 같은 결론을 얻었으며 실용상 좋은 용접작업의 가능성을 확인하였다.

- 1) 적절한 국부공동은 수량 30l/min, CO₂ 가스량 100 l/min 이상에서 형성되었으며 양호한 용접비드를 얻었다.
- 2) 용접비드의 폭 및 용입깊이는 용접전류의 상승에 따라 증가하였다.
- 3) 대기중 용접시 용착금속의 경도는 약 160Hv인데 비하여 수중용접시에는 약 210Hv를 나타내었다.
- 4) 수중용접부의 연신율은 대기중 용접재의 약 1/2인 15% 정도를 나타내었으며, 충격치도 대기중 용접

- 재의 약 1/2인 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내었다.
- 5) 용접부에서 800°C 로부터 500°C 까지의 냉각시간은 대기중 용접인 경우 약 22 sec인데 비하여 수중 용접인 경우는 약 10 sec로서 대기중용접의 경우 보다 약 2배 정도 빨리 냉각되었다.

참 고 문 헌

- 1) C. E. Grunbbs, O.W. Seth : Multipass all position wet welding, Offshore Technology Conference paper No. 1620.1972
- 2) A. Z. Asnis, I. M. Savich : The new method of mechanized underwater welding, Proc. of Int. Conf., IIW, pp.311~317
- 3) 荒田吉明, 浜崎正信 : 水カ-テン式水中 MIG ア-ク溶接(第2報), 日本溶接學會誌, 第46卷, 第10號, 1977, pp.728~734
- 4) 榊原實雄, 立岩文教外 : 四國工業技術試験所, 研究報告, 第10號, 1985
- 5) M. Tamura et al : Development of Automatic Underwater Welding with Local Cavity Formation Method, Offshore Technology Conference Paper, No. 2646
- 6) K. Shinada et al : Development of Automatic Underwater Welding System. IIW.Doc. XII-B-237-78, 1978
- 7) 品田 田村他 : 水中溶接實用化技術の開発, 三菱重工業技報 Vol. 16, No. 1. 1979
- 8) 浜崎正信, 榊原實雄 : 水カ-テン式水中炭酸ガスア-ク溶接法の開発, 日本溶接學會誌, 第42卷, 第9號, 1973, pp.897~906
- 9) 蓮井 淳, 菅泰 雄 : 水中における重力式ア-ク溶接(第1報), 同誌, 第43卷, 第8號 1974, pp.767~775
- 10) 蓮井 淳, 菅泰 雄, 當林英夫 : 水中における重力式ア-ク溶接(第2報), 同誌, 第44卷, 第4號 1975, pp.337~344
- 11) 浜崎正信, 榊原實雄 : 高張力鋼の水中溶接, 同誌, 第48卷, 第2號, 1979, pp.115~ 120