

# 피복성분에 의한 수중용접봉의 아크안정성 개선에 관한 실험연구

김복인\* 정교헌\* 김민남\*\*

\*\* 부경대학교 기계공학

\* 부경대학교 대학원 기계공학부

## An experimental study on the arc stability improvement of underwater wet welding with flux ingredients

Bok-In Kim, Kyo-Hun Chung and Min-Nam Kim

Key Word : underwater wet arc welding(습식 수중 용접), arc stability(아크안정성), slag(슬래그), bead appearance(비드 외관), welding condition(용접 조건), heat affect zone(열영향부),

### Abstract

Wet Underwater arc welding process is investigated by using experimentally developed flux coated underwater arc welding electrode and SS400 steel plate of 12mm thickness as base metal. Two kinds of different flux covered wet arc welding electrode of 3.2mm diameter (UW-1,UW-2) are individually developed and one of the improved underwater welding electrode (UW-2) may be put to practical use for underwater arc welding process.

### 1. 서론

해양 자원 및 해저공간의 이용률을 높이기 위하여 해양 개발에 대한 연구가 다방면에 걸쳐 활발히 추진되고 있다(Chung, 1987). 그래서 각종 생산 설비나 생활 공간마저도 해양으로 진출하지 않을 수 없다고 보며 그에 따라 해양 구조물의 형태가 해양 개발에 있어 매우 중요한 위치에 차지하게 될 것이다. 이러한 해양 구조물은 수중 공작 기술에 의해 작업이 될 것이며 결국 모든 산업의 기반 기술인 용접 분야인 수중 용접 기술 또한 중요한 위치를 차지하게 될 것으로 생각된다(Ctton, 1983).

현재 해양 개발에 있어서 필수적으로 필요한, 해양 구조물에 이용되는 재료는 콘크리트(concrete)와 철강 구조재로 대별되고 있다. 여기서 철강 구조물은 대형화 및 형상이 복잡해짐에 따라 수중에서 조립 및 시공작업의 필요성이 예상되며, 기존 구조물의 해수에 의한 부식 및 손상에 따른 국부적인 보수와 정비등이 불가피하게 되었다.

일반적으로 담수 또는 해수 중에서 행하는 수중용접은 교량, 해저 파이프라인, 해양 구조물 등의 건조시

의 현장용 장비나 보수용접에 적용되지만(Asnis, A, E., I. M. Savich 1983), 용접법 자체의 개발뿐만 아니라, 구조물의 조립 기술과 잠수 기술, 또한 우수한 용접 기술을 함께 갖춘 기술자를 필요로 하고 복잡한 설비를 갖추어야 하는 어려운 문제들 대두되고(오 등, 1987), 수중아크 용접 이음부는 급냉되어 경도와 취성이 증가하는 등 여러 가지 해결하지 못한 과제들을 가지고 있다(A. Sanchez-Osio, S. Liu, D. L. Oison 1995).

해양자원 및 해저공간의 이용률을 높이기 위해 해양 개발에 관한 연구가 다방면에 걸쳐서 활발히 추진되고 있으며(오 등, 1987), 각종 설비나 생활 공간마저도 해양으로 진출할 것으로 보이며, 그에 따라 해양 구조물의 형태가 해양 개발에 있어 매우 중요한 위치를 차지하게 될 것으로 생각된다(Duke. O, 1997).

본 연구는 수중에서 2차원 속도 제어가 가능하도록 자체적으로 설계, 제작한 수중 용접장치에서 피복제 시료를 적정한 비율로 혼합하여 시험 개발한 수중용 피복제 시료를 적정한 비율로 혼합하여 시험 개발한 수중용 피복 아크용접봉과 일반적으로 육상에서 사용되는 용접봉 그리고 독일에서 시판되는 수중 용

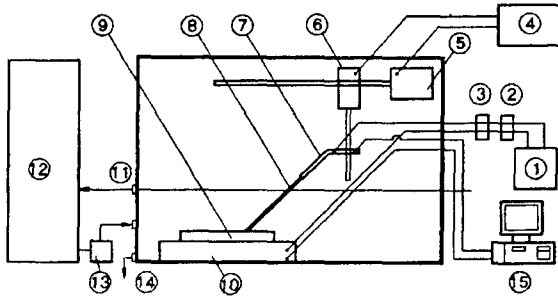
접합등을 사용하여 습식수중 아크 용접에 의한 용접부의 비드모양, 스택 박리성, 아크 안정성, 경도 등의 용접에 대한 기초사항을 비교 고찰함으로써 습식 수중아크용접에 대한 용접봉의 적응성과 수중 용접시의 최적조건을 선정하여 습식 수중 아크 용접의 실용화를 위한 기초 자료를 얻는데 중점을 두었다.

## 2 실험 장치 및 실험 재료

### 2.1 실험 장치

이번 실험에 사용된 수중 용접 장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 용접봉의 각도와 용접 속도를 임의로 조정 할 수 있어 최적의 용접상황을 만들어 낼 수 있도록 자체 개발한 수중용접 장치로서 1200×850×800mm 수조 내부에 수돗물을 넣고 용접봉의 가이드 장치를 부착한 모재 고정용 작업대를 설치 하였다. 측정 장치로서 HP-vee 프로그램을 사용하여 용접봉과 모재 사이에 발생하는 전류 및 전압을 측정하였다. 모재의 비드와 스택은 디지털 카메라 SDC-007을 사용하여 촬영하였다.

Fig.1 schematic diagram of experimental equipments



① DC Arc Welding machine ② Ampere meter ③ Voltage meter ④ Control console box ⑤ Horizontal moving device ⑥ Vertical moving device ⑦ Electrode holder ⑧ Electrode ⑨ Welding specimen ⑩ Work bench ⑪ Over flow pipe ⑫ Cooling Water tank ⑬ Circulating pump ⑭ Drainage ⑮ Data acquisition system

또한 용접 장치에 대한 전기적인 안전성을 위해 DC ±24V 이내의 범위에서 전압의 미소 조정으로 속도 조절이 될 수 있도록 감속 모터를 장치에 부착하여 수중 용접 실험에 알맞게 2차원 속도 제어가 동시에 가능하도록 제작하였다. 그리고 용접 실험 중에 상수도를 계속하여 순환 할 수 있도록 배관 시설을 하여

수조내의 수온을 일정하게 유지하였다.

실험에 사용된 용접기는 용량 600A의 직류 용접기이며, 직류 정극성으로 용접 실험을 실시하였다.

수중 용접된 모재의 비드의 열 영향부를 관찰하고, 열 영향부의 경도를 측정하기 위해서 마이크로 비커스 경도기를 사용 하였다.

수중 용접시 아크의 상태와 용접 상태를 자세히 관찰하기 위해 아크릴 판을 11×6.5×410mm 크기로 자외선 차광유리(#11)를 부착한 아크 관찰 장비를 만들어서 이용하였다.

### 2.2 실험 재료

본 연구에 사용한 용접 모재는 시중에서 흔히 사용되고 있는 일반 구조용 연강판(SS400)으로 크기는 250×125×12mm의 규격으로 유압 절단기로 절단하여 비드 용접 시험편을 사용하였고 시험편의 화학적 조성 과 기계적 성질은 Table 1 및 Table 2에 나타난다.

Table 1 Chemical composition of base metal

Chemical composition (Wt, %)									
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Mo	Ceq	
0.3	0.42	1.64	0.030	0.021	-	-	-	0.56	

Table 2 Mechanical properties of base metal

Mechanical properties			Bend test
Yield strength Yp(MPa)	Tensile strength Ts(MPa)	Elongation El (%)	
320	465	28	Good

본 실험에 사용한 용접봉은 대기 중에서 일반적으로 사용하는 지름 3.2mm인 고산화티탄계 용접봉(KS E4313)과 일미나이트계 용접봉(KS E4301) 고셀루로즈계(KS E4311)등 세종류와 이미 독일에서 개발되어 사용되어지고 있는 TN20(Thyssen Nautica 20)와 자체 개발된 시범적인 수중용접봉(UW-1, UW-2)등 모두 6종류의 용접봉을 사용하였다.

용접봉들은 사용전에 예열 처리를 하지 않고 대기 중에 방치하였다가 자연 그대로 용접 실험을 하였다. 또한 용접봉의 개발에 사용된 심선은 용접봉 제작 회사에서 용접봉 제작에 사용되고 있는 연강용 피복 아크 용접봉의 심선 재질과 동일한 SWRY-11을 사용하였고 화학조성은 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Chemical composition of core wires for covered electrode

Size	Mark	Chemical composition(Wt, %)					
		C	Si	Mn	P	S	Cu
φ 3.2 × 400	SWR -11	0.05	0.018	0.54	0.01	0.008	0.10

시험적으로 제작된 용접봉의 피복제의 조성비율은 XRF-1700의 분석 결과 Table 4와 같이 나타났다.

### 3 실험 방법

습식 수중 아크 용접에 대한 기본적인 지식과 물속에서 아크용접을 할 수 있는 기술의 숙달이 필수적이라는 것을 체험 할 수 있었다.

용접봉의 종류에 따른 어느 정도의 오차가 있는 것이 감지 되었으나 비교분석을 하기 위하여 동일한 용접조건을 택하여야 했다.

지름 3.2mm의 용접봉과 두께12mm의 강판에 대한 습식 수중 아크용접 실험에서 용접봉과 피복제의 종류에 따른 수중용접의 최적 조건을 찾기 위하여 용접전류, 용접속도, 용접전압 및 용접각도 등을 여러 가지로 바꾸어 가며 예비 실험을 수차 실시하여 본 결과, 습식 수중 아크용접을 할 수 있는 최적의 조건을 찾을 수 있었다.

용접 각도, 용접 속도, 비드 길이와 전류, 전압의 조건들은 Table 5와 같다.

Table 5 Typical welding conditions

Current (A)	120
Voltage (V)	30~35
Welding speed (mm/min)	250
Bead length /	0.8
Electrode length used	
Welding angle (°)	75
Electrode source	DCSP
Welding position	Flat

Table 4 Chemical composition of covering(UW-1, UW-2)

Type	Chemical composition (wt%)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>	NbO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
UW-1	36.10	4.32	13.50	2.12	21.35	2.93	7.33	5.76	6.23	0.15	0.08
UW-2	36.04	4.45	12.57	2.08	21.01	2.88	7.43	7.15	6.11	0.08	0.06

습식 수중 아크 용접을 실시하기 위해서 수온을 약 20℃로 일정하게 유지하기 위하여 일정한 수면(200mm)의 높이로 물을 일정하게 급·배수 시켰다.

용접 아크 안정성을 조사하기 위해 아날로그 신호 변환장치를 이용하여 실시간으로 HP-VEE에 전송이 될 수 있도록 하여 전압(V)과 전류(A)를 측정하였고, 습식 수중 아크 용접된 시편들을 기계톱 및 정밀 전단기로 절단하여 폴리싱 작업을 한 후 용접부, 열영향부, 모재 부위별로 마이크로 비커스 경도시험기를 사용하여 측정하였다.

경도 측정 시험편과 조직검사에 사용한 시험편은 용접 열 사이클이 비교적 준 정적 상태에 있다고 여겨지는 용접수의 중앙 부분에서 시험편을 절단하여 사용했다.

여러 차례의 예비 실험을 통해서 만들어진 피복제 UW-1, UW-2 (피복제의 조성비율 ; Table 4) 을 시판되는 용접봉 규격 (용접봉 심선 3.2mm)과 동일하게 제작한 후 수중용접 실험과 작업성을 조사를 병행하였다.

피복제 시료에 따른 다른 용접봉과의 차이를 조사하여 그의 장단점을 분석 하였고, 또한 용접부의 기계적 성질을 조사하기 위해 마이크로 비커스 경도시험기를 이용한 경도 시험을 하였다.

### 4 실험결과 및 고찰

#### 4.1 아크의 안정성

습식수중 아크 용접은 물속에서 용접아크가 발생하게 되므로 주의의 물에 의하여 아크가 단절 되거나 불안정하게 되는 경향이 심하여 이로 인한 용접결함의 원인이 되기도 한다.

Fig 2는 수중용접시의 여러 종류의 전압과 전류를 HP-VEE로 체크하여 아크의 안정성을 알아내려고 도식화 한 것이다.

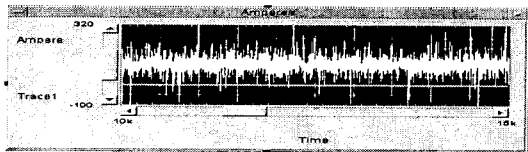
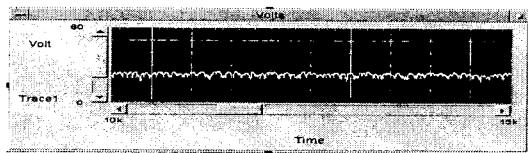
특히 피복제의 종류에 따라서 아크의 안정성이 달라

지며 여러 가지 용접봉에 대한 결과치로 보아 고산 화티탄계가 일반 공기 중에 사용하는 용접봉 중 가장 아크가 안정하게 나타났다.

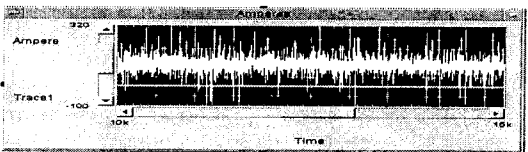
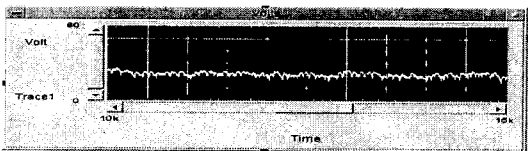
그러나 역시 수중에서는 아크가 많이 불안하고 쉽게 아크가 끊어지는 현상을 나타내었다. Fig 2에서 나타나는 실험 결과는 수중 용접봉으로 개발된 UW-1보다 UW-2가 비교적 아크의 안정성이 뛰어 났고, 독일에서 시판 중인 수중 용접봉 TN20 (Thyssen Nautica 20)의 아크가 가장 안정되어 있었다.

그러나 용접 조건이 달라지고 물 속에서 용접 할 수 있는 숙련 정도와 수심에 따라서도 아크의 안정성에 변화가 있는 것으로 생각되며, 좀 더 깊은 연구가 필요하다고 본다.

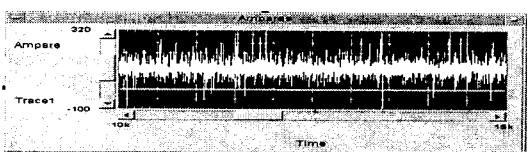
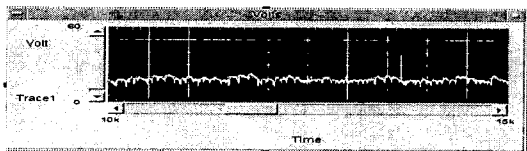
Fig 2 HP-VEE of voltage and current signal



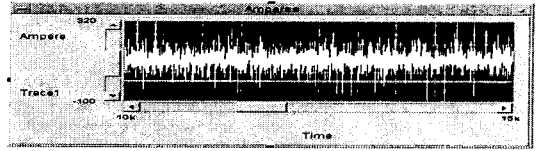
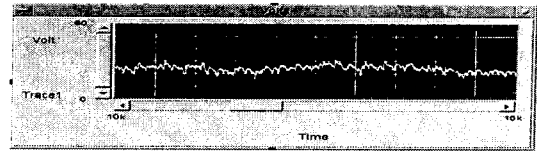
UW-2



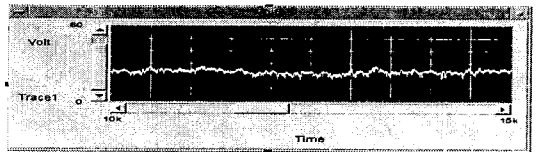
UW-1



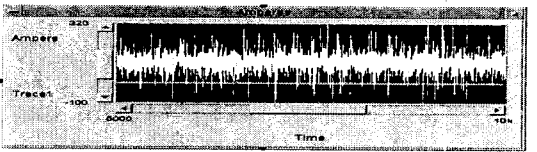
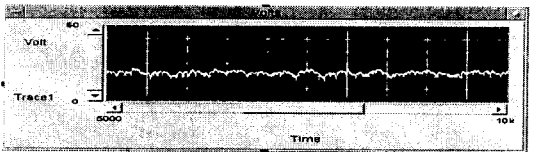
HL(Thyssen nautica 20)



KS E4313



KS E4311



KS E4301

#### 4.2 슬래그 박리성과 스패터 발생

슬래그 제거는 수중에서 용접 실험을 하였지만 대기 중에 꺼내어서 슬래그를 제거 하였다.

Photo 1 의 실험 관찰로 인해 용접봉에 따라 슬래그의 형상과 그에 슬래그 제거의 차이가 조금씩 있음을 알 수 있었다.

수중 용접실험에서는 물의 비등현상과 수온의 급속한 냉각 등으로 인하여 슬래그가 비드부에 용착현상이 발생함을 알 수 있었다.

수중 용접 실험에서 고산화티탄계(KS E4313)가 용접봉 중에 가장 딱딱한 슬래그를 만들어 내었고 TN20 (Thyssen Nautica 20)는 슬래 제거가 쉽지 않을 정도로 용착성이 많이 나타났다. UW-1과 UW-2는 슬래거가 쉽게 부스러졌으며, 고셀루로즈계(KS E4311)와 일미나이트계(KS E4301)는 물에 씻어 질

만큼 연한 슬래그를 만들어 냈다.

시험 개발한 용접봉은 고산화티탄계 용접봉과 유사하나 스패트의 크기가 미세한 차이를 보였다.

고산화티탄계(KS E4313)와 UW-1과 UW-2 그리고 TN20 (Thyssen Nautica 20)는 스패트를 발생시키었고 고셀루로즈계(KS E4311)와 일미나이트계(KS E4301)는 스패트를 거의 발생시키지 않았다.

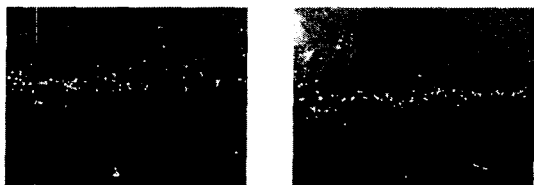
고산화티탄계(KS E4313)의 스패트 양이 가장 많이 발생하였고 TN20 (Thyssen Nautica 20)와 시험 개발한 UW-1과 UW-2도 조금의 스패트를 발견 할 수가 있었다.

위의 사항들을 종합하여 볼 때 TN20 (Thyssen Nautica 20)와 UW-2가 산화티탄을 주성분으로 하는 포복제 임을 알아 낼 수 있었다.



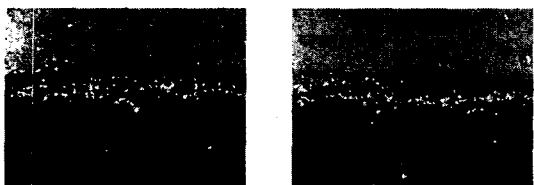
(a) KS E4313

(b) KS E4311



(c) KS E4301

(d) UW-1



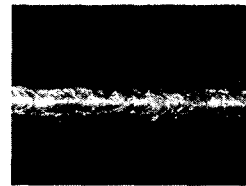
(e) UW-2

(f) TN20

photo 1 Appearance of slag in various welding electrode when underwater wet welding

#### 4.3 비드의 외관

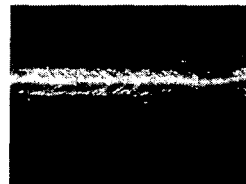
Photo 2는 시험에 사용한 각각의 용접봉들의 비드를 디지털 카메라(Digital camera)로 촬영한 것이다. 비드의 외관과 비드의 퍼짐성에 따른 아크의 안정성을 서로 비교하여 보았다.



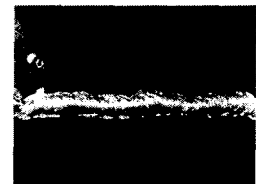
(a) KS E4313



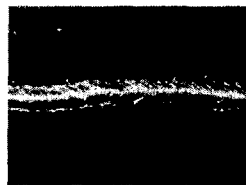
(b) KS E4311



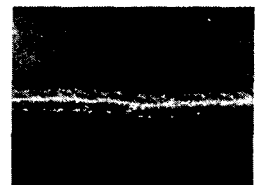
(c) KS E4301



(d) UW-1



(e) UW-2



(f) TN20

photo 2 Appearance of bead in various welding electrode when underwater wet welding

수중 용접이 잘되지 않는 않지만 용접이 된 부분의 비드 외관은 양호한 편이었다. 용접의 속도가 일정하여 용접봉에 따라 조금씩은 차이를 보였지만 최적으로 세팅한 속도에는 비드형상이 일정하여 각 용접봉의 차이는 거의 없었다.

그러나 고산화티탄계가 일미나이트계와 고셀루로즈계 보다는 비드의 형상이 조금은 더 균등하고 일정하였다. 시험 제작한 UW-2와 TN20는 보다 좋은 비드 형상을 가지었다.

#### 4.4 경도 분포

실험의 결과를 분석하여 보면 습식 수중 아크용접시의 열 영향부에 대한 경도 분포는 용접봉의 종류에 관계없이 전반적으로 열 영향부 영역에서 공통적으로 급격히 상승되었고 용착 금속부분에서는 모재 부분의 평균 경도 보다 훨씬 높은 것으로 나타났다. 각 시편의 경도측정은 0.5mm간격으로 실시하였으며, 각각의 용접봉에 따라 열 영향부의 경도차이가 크게 나타났다.

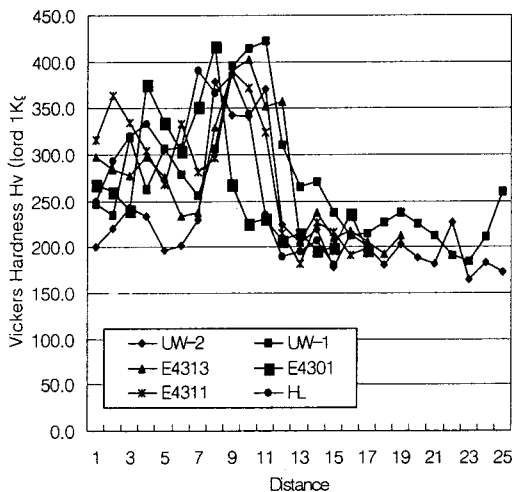
Fig 3은 용접 전류 120A에서 용접봉의 종류에 따른 열 영향부의 경도 분포를 나타낸 것으로 고산화티탄

계(KS E4313)와 일미나이트계(KS E4301)의 경우에는 최고 경도가 Hv400 정도이고, UW-1과 고셀로우즈계(KS E4311)는 Hv385 정도가 최고로 측정되었다. 수중 용접봉으로 사용중인 TN20 (Thyssen Nautica 20)와 시험 개발한 UW-2은 최고의 경도가 Hv370 정도로 낮게 나타났음을 알 수 있었다.

본 시험 결과를 비교 분석해 보면 습식 수중 아크 용접시 열 영향 부에 대한 경도 분포는 용접봉의 종류에 관계없이 전반적으로 열 영향부에서 공통적으로 급상승되었다.

이 것은 습식 아크 용접의 경우 용접부가 물 온도의 영향을 받아 급냉되고 담금질 효과에 의하여 경화되어 있음을 알 수 있었다.

Fig 3 hardness distributions of HAZ



## 5 결론

습식 수중 용접에 적합하도록 피복체의 배합 비율을 적절하게 개선하여 시범적으로 제작한 수중 용접봉(UW-1, UW-2)과 일반용으로 시판되고 있는 일미나이트계(E4301) 및 고산화티탄계(E4313), 고셀로우즈계(E4311), 독일에서 시판되는 수중용접봉 TN20 (Thyssen Nautica 20)을 사용하여 최적 수중 용접 조건을 선정하고, 이것을 바탕으로 일반 구조용 연강판(SS400)에 대하여 습식 수중 용접을 실시 한 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 자체 시험 개발한 UW-1과 UW-2를 비교하여 볼 때 UW-1보다 UW-2가 비드의 외관과 슬래그의 박리성이 더 양호하게 나왔다.

2) 고산화티탄계(E4313)계 용접봉이 수중 용접시에 용접성이 좋은 것으로 보아 산화티탄의 성분이 수중용

접에 미치는 영향이 큰 것으로 생각된다.

3) 시험 제작한 UW-2는 수중 용접시의 아크의 안정이 뛰어 나서, 독일의 TN20만큼의 안정적인 전압과 전류를 유지하였다. 시험 제작한 UW-2를 조금더 연구 개선한다면 TN-20과 같은 수준의 수중 용접봉을 제작 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- 오세규, 강문호, 김민남, "선용강판 수중 용접부의 인장 구속 균열 특성에 관한 연구", 대한박용기계학회지, 11(3), pp.211~218, 1987
- 오세규, 김민남, "TMCP강의 습식수중 아크 용접성에 관한 고찰", 대한용접학회지, 5(4), pp. 28~35, 1987
- A. Sanchez-Osio, S. Liu, D. L. Olson(1995) "Designing Shield Metal Arc Consumables for Underwater Wet Welding in Offshore Applications" Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. vol 117 .pp. 212-220
- Asnis, A, E., I. M. Savich, "The new method of mechanized underwater welding", Proc. of Int. Conf. IIW, pp.311~317, 1983
- Chung, J. S., "Technologies for petroleum and mineral", J.of OET, 1 (1), pp.10 ~20, 1987
- Cotton, H. C., "Welding underwater and in the splash zone-a review", Proc. of Int. Conf. IIW, pp.4~48, 1983
- D. L. Olson and S. Ibarra, "Underwater welding metallurgy", International workshop on Quality in Underwater welding of Marine structures, pp. 1-9, November 1985
- Duke Ogden, "School brings wet welder training on-site", Welding journal, pp. 54-56, June 1997
- Richard N. Fulton, "Progress in underwater welding" J of Ocean industry, pp. 40-44, April 1998
- R. J. Dexter, E. B. Norris, W. R. Schick, P. D. Watson, "Performance of underwater weldments" Ship structure committee SSC-335, pp. 1-241, 1990
- 運井淳. 菅泰雄, 關水信之, "水中におけるキプマーミーク溶接(第1報)", 日本 溶接學會誌 48(9), pp. 689~695, 1979