

항만 및 해양 구조물용 고강도 내해수강 (POSEIDON500) 소개



이종구

포항산업과학연구원(RIST) 강구조연구소 책임연구원

ljku@rist.re.kr

1. 서론

항만 시설물, 해상교량 및 공항, 부유식 강구조물 등 해양 환경에 노출되는 강재는 다른 환경에 비하여 빠르게 부식되기 때문에 부식에 대한 대비가 필수적이다. 현재 부식을 억제하기 위하여 비말대와 간만대에는 도복장 방식을 적용하고 수중부에는 전기방식을 적용하고 있지만 방식처리를 하더라도 극심한 환경에 50년 이상 노출되기 때문에 부식을 완벽하게 억제할 수는 없다. 특히, 최근에는 해상풍력발전 구조물과 같이 해안에서 상당히 멀리 떨어진 지역에 강구조물을 설치하는 사례가 발생하고 있는데 이 경우 부식이 발생하기 시작하면 추가적인 부식이 빨리 진행되고, 또한 구조물에 접근하기도 어려워 현장에서의 보수 및 보강에 많은 시간과 비용이 소요된다(〈그림 1〉).

이에 따라, 국내에서도 강재 자체의 내식성을 향상시켜 비말대에서 일반 강재 대비 부식이 느리게 진행되는 저원가형 고강도 내해수강¹⁾(POSEIDON500)이 개발되었으며 최근 KS 규격²⁾에 강재 및 강관으로 신규 등록된 바



〈그림 1〉 해양 구조물의 부식발생 사례

1) 해양 환경에서 일반 강재 대비 부식이 느리게 진행되는 강재

2) KS D 3003 항만 및 해양구조용 내식성 강재, KS D 3300 항만 및 해양구조용 내식성 강관

있다. 본 기사에서는 이러한 고강도 내해수강의 특징과 적용 시 기대효과를 소개하고자 한다.

2. 해외 내해수강 적용 현황

대표적인 내해수강으로는 ASTM A690이 있는데 이는 강재 자체에 Ni, Cu, P 등의 성분을 증가시켜 해수 환경, 특히 비말대에서 내식성을 향상시킨 강재이다. A690의 부식성능은 장기간 수행한 장기폭로시험을 통하여 검증하였으며 이를 바탕으로 ASTM 규격에 등록되었다. <그림 2>는 일반 구조용 탄소강(A328)과 내해수강(A690) 시편을 해양환경에서 9년 동안 노출시켜 부식속도를 측정 한 결과를 비교하고 있다. <그림 2>를 통하여 알 수 있듯이 A690은 비말대 및 간만대에서 일반 탄소강에 비하여 2배가량 내식성이 우수하다.

A690은 <그림 3>과 같이 주로 항만부두에 사용하는 강널말뚝, H-말뚝, 강관말뚝으로 사용하고 있는데 내구연한은 일반 강재 대비 50% 저감한 부식속도를 이용하여 산정한다. 국내에서도 A690을 생산하여 주로 <그림 4>와 같이 냉간성형 강널말뚝으로 호안 등에 적용하고 있으며 광양 원료부두에서 강관말뚝으로도 적용한 바 있다.

일본에서도 1990년대에 항만 구조물, 해양 발전소, 인공섬 등 각종 해양개발에 적용하기 위하여 독자적인 내해수강을 개발하여 적용하였다. 일본에서 개발된 내해수강의 특징은 A690과 같은 Ni 첨가형 내해수강을 대신하여 저가의 Cr 첨가형 내해수강을 개발하였다는 점이며 대표적인 제품으로는 신일본제철의 Marilyl 강재이다.



<그림 2> 일반 구조용 강재(A328)와 내해수강(A690)의 부식성능 비교(AASHTO, 1986)



(a) Mersin Port(Turkey) (b) NIT South Wharf(USA)

<그림 3> 해외 A690 적용 현황

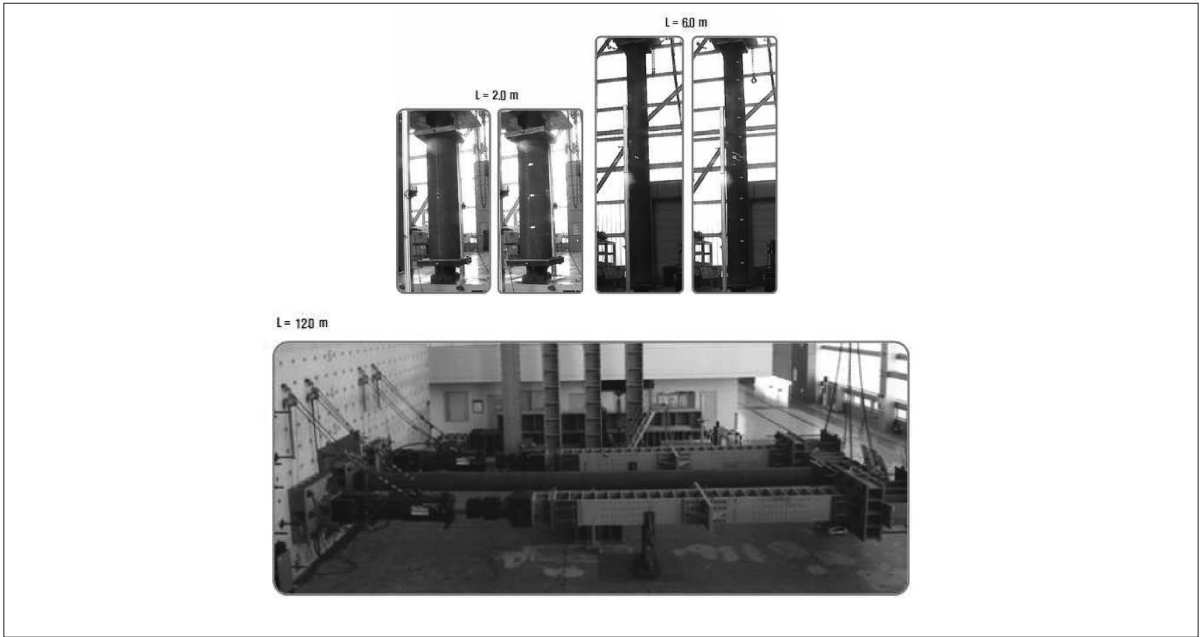


<그림 4> 국내 A690 적용 현황 (경인유하 굴포천 방수로 호안)

<표 1> 내해수강의 기계적 성질 비교

| 구분 | 일반 강관 | | 내해수 강관 | | |
|------|--------|--------|--------|---------|-------------|
| | STK400 | STK490 | A690 | Marilyl | POSEIDON500 |
| 항복강도 | 235MPa | 315MPa | 345MPa | 315MPa | 380MPa |
| 허용응력 | 140MPa | 185MPa | - | 185MPa | 230MPa* |

*한국강구조학회(2012) 제안값



〈그림 5〉 POSEIDON500 강관 압축시험

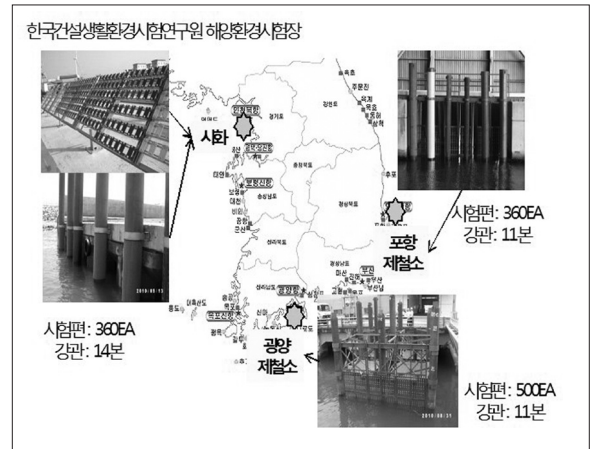
Mariloy에 대해서는 실내 부식시험 및 2년의 장기폭로시험을 통하여 내식성 검증하였다.

3. 고강도 내해수강의 구조성능

국내에서도 내해수강으로서 A690을 생산하여 공급하였지만 내식성 성분인 Ni의 가격이 많이 상승하여 Cr 첨가 저원가형 고강도 내해수강(POSEIDON500)을 새로 개발하였다. 개발한 내해수강은 <표 1>과 같이 국내 항만에서 많이 사용하는 STK400이나 STK490 강관말뚝이나 해의 내해수강 대비 기계적 성질이 우수하여 경제적으로 적용할 수 있다.

POSEIDON500의 허용응력을 규정하기 위하여 D508×12t 강관에 대한 압축시험과 휨시험을 한국강구조학회와 공동으로 수행하였는데 특히, 압축시험은 세장비에 따른 허용축방향압축응력을 제시하기 위하여 <그림 5>와 같이 길이 2m, 6m, 12m에 대하여 수행하였다. 이

러한 시험결과를 바탕으로 한국강구조학회(2012)는 POSEIDON500은 도로교설계기준(2010)에 정의된 HSB500과 동등 이상의 성능을 보이므로 HSB500의 허용응력을 준용하거나 그 이상의 강도곡선을 적용할 수 있다고 제시하였다.



〈그림 6〉 POSEIDON500의 장기폭로 부식시험장치



〈그림 7〉 부식시험편의 회수

4. 고강도 내해수관의 장기폭로 부식성능

POSEIDON500의 부식성능을 검증하기 위하여 〈그림 6〉과 같이 국내 서해(시화), 남해(광양), 동해(포항)에 장기폭로 부식시험장치를 설치하였으며 일반 강재인 SS400 및 비교 강종인 ASTM A690과 함께 2년 동안 장기 폭로시험을 수행하였다. 시험은 75×150mm 크기의 쿠폰 시험편과 12m 길이의 강관시험편(D508x12t)으로 진행하였으며, 〈그림 7〉에 나타낸 바와 같이 쿠폰 시험편은 6개월 단위로 회수하여 무게 감량 측정법을 통해 부식속도를 산출하였으며, 강관시험편은 2년 폭로 후 폭로 위치별 두께 감량을 측정하여 부식속도를 산출하였다.

시험편을 2년 동안 폭로한 후 외관을 관찰한 결과는 〈표 2〉와 같은데 비말대 영역에서는 매우 심한 부식이 발생하였음을 확인할 수 있었으며, 간만대 및 해중부의 경우는 상대적으로 부식 발생이 적음을 확인할 수 있었다. 시험편에서 부식 스케일을 제거한 후 관찰한 결과는 〈표 3〉과 같은데, 비말대에서 일반강인 SS400은 A690 및 POSEIDON500과 비교해 볼 때 상당한 부식이 발생함을 확인할 수 있었으나 상대적으로 A690 및 POSEIDON500은 완만한 부식을 보임을 확인할 수 있었다.

국내 3지점에서 2년 동안 수행한 시험결과를 바탕으로 비말대 영역에서의 부식속도를 비교한 결과는 〈그림 8〉에 나타나 있다. 3지점에서 모두 강재의 초기 부식속도

〈표 2〉 2년간 해양 환경 폭로시험 후 회수한 쿠폰 시험편의 외관(광양 폭로시험장)

| 구분 | 비말대 | 간만대 | 해중부 |
|--------------|-----|-----|-----|
| SS400 | | | |
| A690 | | | |
| POSEIDON 500 | | | |

〈표 3〉 2년 폭로 쿠폰 시험편의 부식 스케일 제거 후 외관 (광양 폭로시험장)

| 구분 | 비말대 | 간만대 | 해중부 |
|--------------|-----|-----|-----|
| SS400 | | | |
| A690 | | | |
| POSEIDON 500 | | | |

는 매우 높게 나타나며, 시간이 경과할수록 부식은 안정화 되어 완만히 감소하는 것을 확인할 수 있었는데 일반강에 비하여 A690 및 POSEIDON500은 폭로 시간이 경과하면서 일반강 대비 부식속도가 더 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 POSEIDON500의 경우, 강제 표면에 형성되는 부식 스케일이 Cr 산화층에 의하여 안정화되어 일반강 대비 낮은 부식속도를 나타내기 때문이다. 절대적인 부식속도는 폭로시험 환경별로 약간씩 차이가 있었는데, 남해 환경인 광양시험장과 서해 환경인 시화 시험장에서는 서로 유사한 부식속도를 보였으며, 동해 환경

인 포항 시험장은 상대적으로 낮은 부식속도를 나타내었다. 그러나 일반강에 대한 POSEIDON500의 상대적인 부식율을 계산해 보면 환경 시험장에 따른 차이는 거의 없었으며, 전체적으로 일반강 대비하여 60% 수준의 부식속도를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. KS 규격(KS D 3003/3300)에서는 강제 생산 및 시험 오차 등을 감안하여 POSEIDON500은 비말대에서 일반 강재 대비 2/3 수준의 부식속도를 보이는 것으로 제시하였는데 이는 POSEIDON500 적용 시 부식속도를 저감하여 설계할 수 있는 공인된 자료로 활용할 수 있다.

폭로시험을 통하여 검증하였다. 또한, POSEIDON500에 대한 구조성능 평가결과, 도로교설계기준(2010)에 제시된 HSB500과 동등 이상의 성능을 보였으며 한국강구조학회(2012)는 HSB500의 허용응력이나 강도곡선을 준용하여 설계할 수 있는 것으로 제안하였다. POSEIDON500은 이러한 성능검증 결과를 바탕으로 최근 KS 규격에 신규 등록되었으며 향후 항만 및 어항설계기준, 강구조설계기준 등에 반영되어 법제화가 완료되면 국내 강관말뚝, 강널말뚝 등에서 부식에 대한 내구성을 높이면서도 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

감수: 이진학(yjih@kiost.ac)

5. 고강도 내해수강의 경제성

POSEIDON500의 기계적 성질은 항복강도 380MPa 이상으로서 <표 1>에 나타낸 바와 같이 기존 항만 및 해양 구조물에서 많이 사용하는 STK400이나 STK490 보다 고강도이면서 부식이 느리게 진행되어 내구연한을 증가시킬 수 있다. 따라서 일반 강재와 동일한 내구연한으로 설계하면 그만큼 부식에 대한 저항력이 높은 것이므로 강구조물의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. POSEIDON500은 STK400이나 STK490 보다 고강도이므로 이들을 대체할 경우, <표 4>와 같이 강관 중량을 13~32% 절감할 수 있어 경제적인 설계가 가능하다.

참고문헌

- 한국도로교통협회(2010), 도로교설계기준 2010
- 한국강구조학회(2012), POSEIDON 500 강관의 허용응력 규정(안)
- ASTM(2012) A690, High-Strength Low-Alloy Steel H-Piles and Sheet Piling for Use in Marine Environment.

6. 요약

이상과 같이 국내에서 새로 개발된 고강도 내해수강, POSEIDON500을 간략히 소개하였다.

POSEIDON500은 현재 항만 및 해양구조물에 사용하고 있는 강관(STK400 및 STK490) 보다 20% 이상 항복강도가 높으면서도 비말대에서 일반강 대비 2/3 수준의 부식속도를 보이는 특징을 가지고 있으며 이는 국내 서해, 남해, 동해 대표 지점에서 2년 동안 수행한 해양환경 장기

저자 약력

- 1992-1996 : 서울대학교 토목공학과 학사
- 1996-1998 : 서울대학교 토목공학과 석사
- 1998-2003 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사
- 2003-현재 : 포항산업과학연구원(RIST)