

지하연료저장탱크의 부식손상 방지에 관한 연구(1)
(바다모래에서 부식손상)

임 우 조 · 서 동 철

부경대학교

(2001년 1월 30일 접수)

**Study on the Prevention of Corrosion Damage for
Underground Fuel Storage Tank(1)
(Corrosion Damage under the Sea Sand)**

Uh-Joh Lim and Dong-Cheol Seo*

Pukyong National University

(Received January 30, 2001)

Abstract

As consumption rate of energy increase rapidly, the facilities of fuel storage tank become large size. Almost all of the industry or public facilities storing fuel in underground fuel storage tank is manufactured by steel materials.

Thus, this fuel storage tank made of steel materials is damaged by stray-current corrosion, it become destruction. If fuel storage tank is destructed, petroleum, oil and gas are leaked. So it bring about environmental pollution, energy loss, fire and explosion.

Therefor, in this study, for study on the prevention of corrosion damage in underground fuel storage tank, it were investigated by corrosion and stray-current corrosion for SS 400 in dry sea sand and wet sea sand along to specific resistance.

The main results obtained are as follows : As specific resistance decrease in wet sea sand, corrosion rate per year increase linearly, in case of back fill up wet sea sand in underground fuel storage tank, if the water is flow into dry sea sand, corrosion tendency of underground fuel storage tank is supposed sensitive.

서 론

산업발전과 공업화로 인하여 에너지 소비량은 급속히 증대하고 있는 추세이다. 하지만, 우리나라는 에너지 빈곤국가로서 소비되는 에너지의 대

부분을 해외로부터 수입에 의존하고 있기 때문에 에너지 확보 차원에서 연료 저장탱크의 시설은 증대되면서 대형화되고 있다. 에너지 확보 차원 및 군사 전략적 차원으로 주유소의 수는 증가하고 있고, 산업체나 공공시설에서도 대형 저장탱크에 연

* 이 논문은 1999년 부경대학교 학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

료를 저장하여 사용하고 있다. 이러한 연료는 대부분 지하에 탱크를 시설하여 저장하고, 이 연료저장탱크는 철강 판재에 의해 제작되고 있다.

철강 판재에 의해 제작되는 지하 연료저장탱크는 연료저장탱크를 보호하기 위하여 건조 모래로 뒷채움한다. 최근, 연료저장탱크의 뒷채움하는 하천모래의 부족현상으로 인해 바다모래의 사용이 증가되고 있다. 뒷채움한 건조 바다모래는 결로현상이나 콘크리트의 균열로 수분이 생성되면 바다모래의 비저항이 낮아지면서 부식이 활성화되고, 비저항이 낮은 바다모래와 철근콘크리트와의 전기화학적 기전력 차이로 전식에 의한 부식손상도 발생하고 있다.

이상과 같은 원인에 의해 연료저장탱크의 철강판재가 부식손상으로 관통됨으로써 석유를 비롯한 각종 유류 또는 가스가 누설되면 환경오염, 에너지 손실, 화재 및 폭발을 일으킴으로서 막대한 경제적 손실 및 귀중한 인명피해를 초래한다.

그러므로 지하 연료저장탱크 철강판재의 부식손상을 방지하기 위하여, 연료저장탱크 철강재의 부식거동 및 전식거동에 대한 규명과 토양이나 수중에서 부식방지가 가장 확실하고, 경제적인 음극방식법에 의한 연료저장탱크의 방식특성에 대한 연구가 요구되어진다.

따라서 본 연구에서는 지하 연료저장탱크의 부식손상 방지에 관한 연구를 하기 위하여, 연구(1)에서는 바다모래를 뒷채움한 지하 연료저장탱크의 부식거동 및 전식특성에 대해 고찰하고, 연간 부식률을 정량적으로 구하였다. 그리고 연구(2)에서는 유전양극에 의한 음극분극특성을 규명하고, 유전양극에 의한 최적 음극방식법을 구하고자한다.

실험방법

1. 시험편

본 실험에 사용된 지하 연료저장탱크의 시험재료는 두께 4.0 mm인 일반구조용압연강재(SS 400)이며, 이 시험재료의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used material (SS 400)

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	Ni	Cr
	0.18	0.34	0.9	0.024	0.04	0.02
Mechanical properties	Tensile strength (MPa)		Yield strength (MPa)		Elongation (%)	
	465.5		318.5		30	

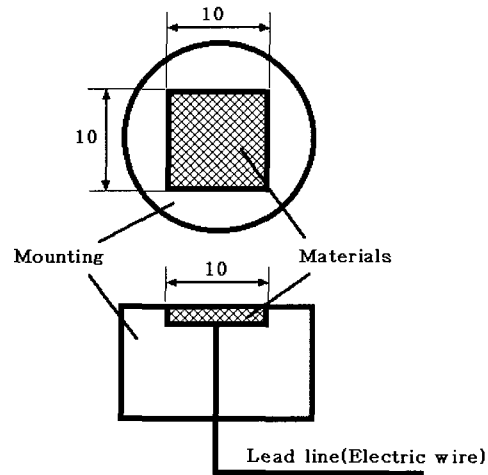


Fig. 1. Configuration and dimension of corrosion test specimen (unit : mm).

Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 성질을 가진 SS 400 판재로부터 가공경화 및 열응력을 배제하기 위하여 다이아몬드 휠커파터로 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 4.0 mm, 유효노출면적은 1.0 cm²로 절취하여, 전선을 연결시키고, 호마이크로 마운팅한 부식시험편을 Fig. 1에 나타내었다.

시험편 표면은 400~1200번까지의 에머리 페이퍼와 산화알루미늄 분말을 사용하여 연마한 후, 아세톤으로 탈지하고, 열풍으로 건조하였다.

2. 전기화학적 분극시험

본 실험에 사용된 부식 및 음극방식 특성시험에 이용된 실험장치는 다른 부식·방식 평가법 보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식 및 방식 평가법으로 많이 이용되고 있는 전기화학적 분극시험을 실시하였다. 이 전기화학적 분극실험장치의 전체계통도는 Fig. 2

와 같다.

이 실험장치는 EG&G의 273 potentiostat와 PC를 연결하여, M352 corrosion software를 이용하여 분극 특성실험을 실시하고, 프린트를 통해서 각종 분극도 및 부식반응과 음극방식 특성의 Data가 기록되도록 하였다. 여기서, 기준전극은 포화 황산동전극(Cu/CuSO₄), 보조전극은 백금망으로 하였다.

부식환경조의 건조바다모래에 물을 모래 무게의 17%로 혼합하여 모래와 물이 충분히 혼합한 습바다모래로 하고, 온도는 실험실 온도로 하였다. 또한 습바다모래의 비저항을 10², 4×10³(담수의 비저항 3~5×10³ Ω·cm), 10⁴ 및 10⁵ Ω·cm로 하였다.

그리고 지하연료 저장탱크 주위의 철근콘크리트는 고전위, 연료 저장탱크는 저전위가 되면서 기전력의 형성에 의해 저전위인 연료저장탱크에서 부식전류가 유출되어 철근콘크리트로 배류됨으로써 연료저장탱크에 전식이 촉진되기 때문에 인가전위에 따른 연료저장탱크 철판의 부식시험을 실시하였다.

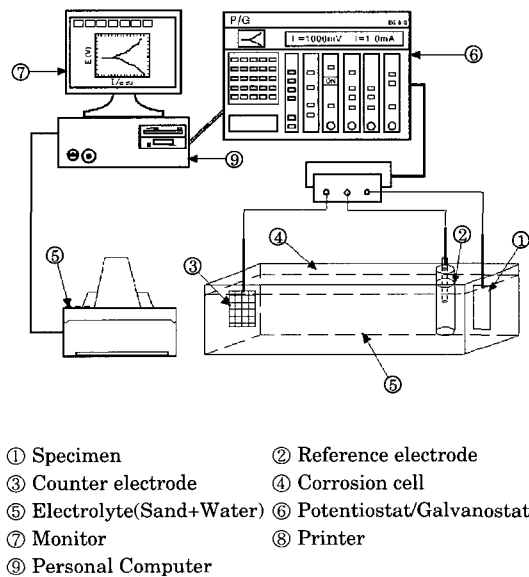


Fig. 2. Schematic diagram of polarization test equipment.

결과 및 고찰

1. 습바다모래의 비저항에 따른 부식거동

비저항 ρ 를 10², 4×10³, 10⁴ 및 10⁵ Ω·cm로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 연료저장탱크용 연강재의 부식전류밀도 변화를 시간경과에 따라 Fig. 3에 나타내었다.

습바다모래 중에서 비저항이 증가할수록 연강재의 부식전류밀도는 더 적게 배류되고, 비저항 10⁵ Ω·cm로부터 담수의 비저항에 상당하는 비저항 ρ 가 4×10³ 까지의 습바다모래 중에서는 부식전류밀도가 크게 증가하지 않지만, 비저항 4×10³ Ω·cm이하인 비저항 10² Ω·cm의 습바다모래 중에서는 부식전류밀도가 급격히 높아지는 경향을 나타내고 있다.

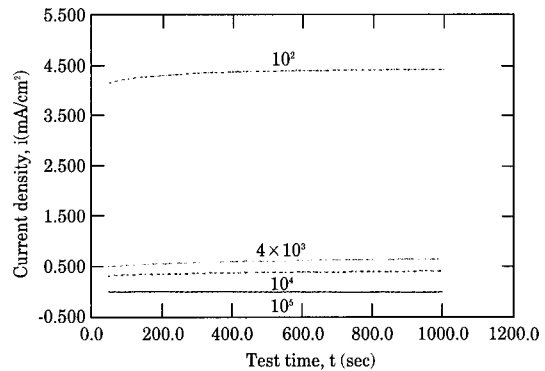


Fig. 3. Corrosion current density of SS 400 vs. test time under various specific resistance.

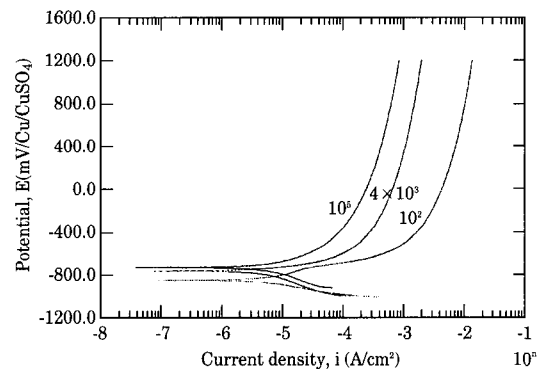


Fig. 4. Potentiodynamic polarization curves of SS 400 under various specific resistance of wet sea sand.

Fig. 4는 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 연강재의 Potentiodynamic 분극곡선을 나타내었다.

습바다모래의 비저항이 감소할수록 개로전위는 비전위화되고, 개로전위(open circuit potential) 하에서의 부식전류밀도는 비저항이 감소할수록 더 높게 배류되는 것을 알 수 있다. 또한 연강재의 양극전위가 상승할수록 비저항 $\rho = 10^2 \Omega \cdot cm$ 의 습바다모래 중에서 배류되는 부식전류밀도는 비저항 ρ 가 4×10^3 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 의 습바다모래 중에서 배류되는 부식전류밀도보다 더 증가하는 경향을 나타내고 있다.

2. 전식거동에 미치는 습바다모래의 영향

Fig. 5는 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 , 10^4 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 자연부식(0 V) 및 인가전위를 $1000 mV/Cu/CuSO_4$ (1 V)로 부가한 경우에 배류되는 전류밀도 변화를 나타낸 것이다.

습바다모래의 비저항이 감소할수록 자연부식하에서나 인가전위를 $1000 mV/Cu/CuSO_4$ 로 부가하여 배류되는 전류밀도는 더 높게 나타나고 있다. 또한 인가전위를 $1000 mV/Cu/CuSO_4$ 로 부가한 경우의 전류밀도와 자연전위하의 전류밀도의 차는 비저항이 감소할수록 더 크게 나타남을 알 수 있다. 그러므로 비저항이 감소할수록 인가전위에

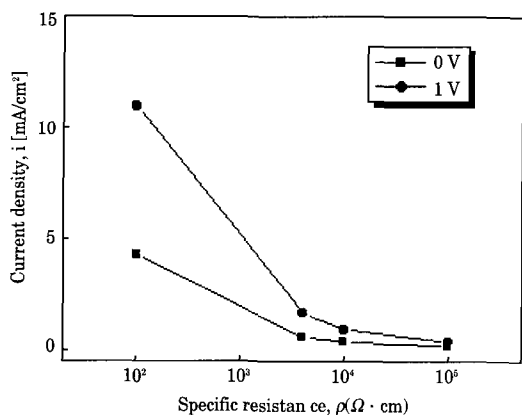


Fig. 5. Current density of SS 400 by impressed potential vs. specific resistance of wet sea sand.

의한 연강재의 전식손상은 심하게 일어날 것으로 판단된다.

Fig. 6은 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 , 10^4 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 인가전위를 $3000 mV/Cu/CuSO_4$ 로 부가한 경우에 배류되는 전류밀도 변화를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

Fig. 3의 자연부식에서와 같이 인가전위에 의한 배류되는 연강재의 전류밀도는 습바다모래 중의 비저항이 증가할수록 더 적게 배류되고, 비저항 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로부터 10배의 비저항에 상당하는 비저항 ρ 가 4×10^3 까지의 습바다모래 중에서는 전류밀도가 크게 증가하지 않지만, 비저항 $4 \times 10^3 \Omega \cdot cm$ 이하인 비저항 $10^2 \Omega \cdot cm$ 의 습바다모래 중에서의 부식전류밀도는 급격히 높아지고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 비저항이 증가할수록 부식전류 밀도가 낮게 배류되는 이유는 $i = \frac{E}{R(\rho)}$ 에서 인가전위 E가 일정한 경우 비저항 ρ 가 증가하면 부식전류밀도 i 가 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 그러므로 인가전위하에서 습모래 중의 비저항이 감소할수록 전식에 민감할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Fig. 6의 습바다모래 중에서 인가전위를 $3000 mV/Cu/CuSO_4$ 로 부가하여 전식이 가장 민감할 것으로 생각되는 비저항 ρ 가 $10^2 \Omega \cdot cm$ 습바다모래 중에서 인가전위를 각각 1000, 3000 및 $5000 mV/Cu/CuSO_4$ 로 부가한 경우에 배류되는 전

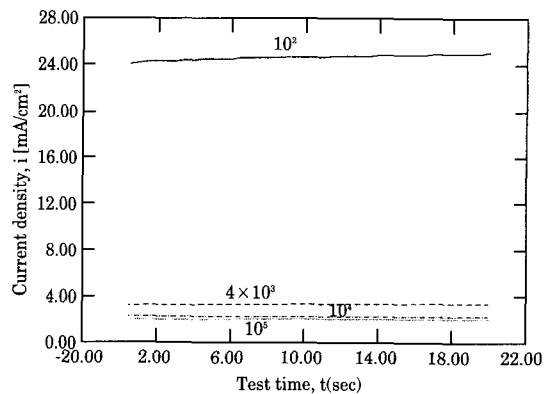


Fig. 6. Potentiostatic polarization behaviour of SS 400 by impressed potential($3000 mV/Cu/CuSO_4$) under various specific resistance of wet sea sand.

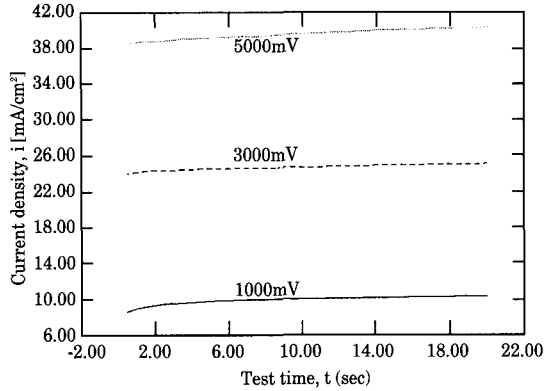


Fig. 7. Potentiostatic polarization behaviour of SS 400 by various impressed potential under resistance, $\rho = 10^2 \Omega \cdot cm$ of wet sea sand.

류밀도 변화를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

인가전위가 높아질수록 배류되는 전류밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있으므로 지하연료저장탱크와 주위의 금속구조물과의 사이에 인가전위가 높아짐에 따라 바다모래를 뒷채운 지하연료저장탱크는 전식에 더욱 민감할 것으로 사료된다.

3. 환경조건에 따른 부식속도의 평가

Fig. 8은 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 , 10^4 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 연강재의 Tafel 분극곡선을 나타내었다.

습바다모래의 비저항이 감소할수록 연강재의 개로전위는 비전위화되고, 연강재의 개로전위 범위는 $-720 \sim -800mV/Cu/CuSO_4$ 정도를 보이고 있다. 또한 양극전위영역에서 배류되는 부식전류밀도는 비저항이 감소할수록 더 높게 배류되는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9는 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 , 10^4 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 Fig. 8의 개로전위하에서 배류되는 부식전류밀도 변화를 정리하여 나타낸 것이다.

습바다모래의 비저항이 감소할수록 개로전위하에서의 부식전류밀도는 선형적으로 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 비저항 ρ 를 10^2 , 4×10^3 , 10^4 및 $10^5 \Omega \cdot cm$ 로 각각 일정하게 한 습바다모래 중에서 연간부식률을 정리하여 나타낸 것이다.

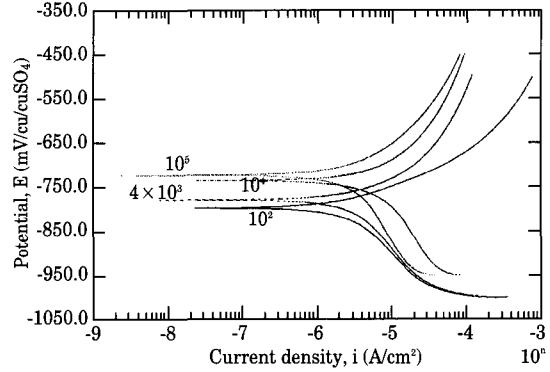


Fig. 8. Tafel polarization curve of SS 400 under various specific resistance of wet sea sand.

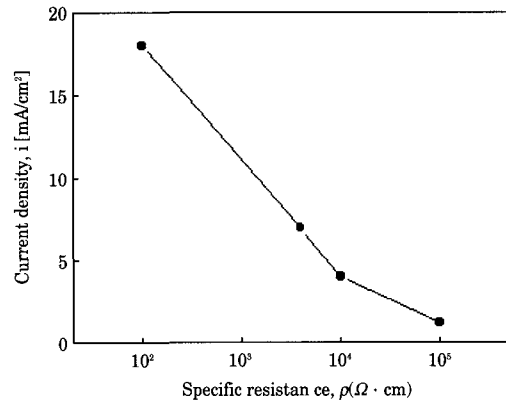


Fig. 9. Current density of SS 400 under open circuit potential vs. specific resistance of wet sea sand.

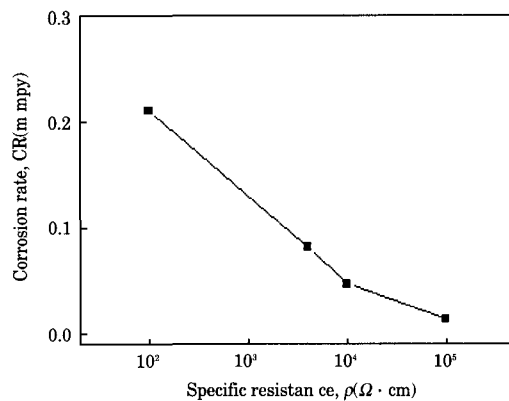


Fig. 10. Corrosion rate of SS400 vs. specific resistance of wet sea sand.

습바다모래 중에서 비저항이 감소할수록 연간 부식률은 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있

다. 해수의 비저항이 $25 \Omega \cdot cm$ 이므로 지하연료저장탱크에 건조한 바다모래로 뒷채움을 실시하는 경우에 물이 유입하여 습바다모래로 되는 경우에는 지하 연료저장탱크용 연강재의 부식성은 민감할 것으로 판단된다.

결 론

바다모래에 의해 뒷채움된 지하연료저장탱크용 연강재의 부식전류밀도, 개로전위, 전식거동 및 연간부식률에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 습바다모래 중에서 비저항이 감소할수록 개로전위는 비전위화되고, 부식전류밀도는 높게 배류된다.
- 2) 습바다모래의 비저항이 감소할수록 인가전위 부가에 의한 부식전류밀도는 자연전위에서의 부식전류밀도보다 급격히 증가한다.
- 3) 습바다모래 중에서 비저항이 감소할수록 연간부식률은 선형적으로 증가함으로 지하연료저장탱크에 바다모래로 뒷채움하는 경우

습기가 유입하면 지하연료저장탱크의 부식성은 민감할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Herbert, Uhlig, H.(1985) : Corrosion and Corrosion Control, John wiley & Sons, pp. 178~186.
- (2) Denny, A. Jones(1992) : Principle and Prevention of Corrosion, Macmillan publishing company, pp. 381~386.
- (3) Shreir, L. L., Jarman, R. A. and Burstein, G. T. (1995) : Corrosion, Butterworth Heinemane, pp. 2 : 73~2 : 86.
- (4) 전대회(1985) : 부식과 방식의 관리, 일중사, pp. 270~275.
- (5) 이학렬(1995) : 금속부식공학, 연경문화사, pp. 175~177.
- (6) 임우조 · 양학회 · 인현만 · 이진열(1994) : 부식과 방식, 원장출판사, pp. 307~309.
- (7) 伊藤伍郎 (1982) : 機械工學全書 6 / 腐蝕と防蝕, コロナ社, pp. 306~310.