

22.9kV 배전선로와 병행하는 가스배관의 MIC에 대한 기초 연구

°하태현, 배정호, 김대경, 이현구, 최상봉, 정성환
한국전기연구소

A Basic Study on the Microbiologically Influenced Corrosion of Gas Pipeline Running Parallel with 22.9kV D/L

°Tae-Hyun Ha, Jeong-Hyo Bae, Dae-Kyeong Kim, Hyun-Goo Lee, Sang-Bong Choi, Seong-Hwan Jeong
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract - In general, the reason of the abnormal corrosion on oil tanks has been proved the MIC (Microbiologically Influenced Corrosion). The concern about MIC is increasing more and more now days.

Therefore, this paper presents the results of basic study on the Microbiologically Influenced Corrosion of gas pipeline running parallel with 22.9kV D/L (Distribution Line).

1. 서 론

최근 환경오염에 대한 관심이 증대되고 있는 것과 마찬가지로 부식분야에서는 비교적 오염지역에서 서식하는 혐기성 박테리아에 의한 부식이 관심분야로 대두되고 있다. 즉, 최근 오일 탱크에서 발생한 대부분의 이상부식의 주된 원인이 MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)에 의한 것으로 밝혀짐에 따라 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 실 사례연구를 통하여 MIC에 대한 기초연구 결과를 기술하며, 여기서 실 사례는 22.9kV 배전선로와 병행하는 가스배관이 방식상태에 있으면서도 부식이 발생한 경우으로써 원인 규명결과, AC 전류에 의한 부식과 코팅 박리(Coating Disbond) 부분에서 혐기성 박테리아에 의한 부식 즉, MIC에 의한 것으로 판명되었다. 본 논문에서는 MIC에 대한 연구결과만 중점적으로 상세히 기술하고자 한다.

2. 연구 배경

지중 금속매설물이 방식상태에 있으면서도 부식이 발생할 수 있는 대표적인 경우로 AC 전류에 의한 부식과 코팅 박리 부분에서 혐기성 박테리아에 의한 부식 즉, MIC에 의한 부식을 들 수 있다.

본 연구에서 실 사례로 든 부식현장의 환경은 부식이 발생한 지점의 배관이 항상 물에 잠겨있는 것으로 조사되었고, 부식이 배관의 코팅 결함부에서 발생한 점 및 배관의 코팅 접착층이 아스팔트와 열가소성(Thermoplastic) 고무(Rubber)로 구성되어 있으므로 양호한 박테리아의 서식환경이 될 수 있다는 점을 감안하여 MIC를 검토하게 되었다.[1]

본 논문에서는 제 외국의 MIC에 의한 부식사례를 조사하여 부식이 일어날 수 있는 환경 및 박테리아 숫자와 부식의 상관관계를 유추하였고, 부식현장에서 채취한 모래 시편과 토양 등을 실험실에서 분석하여 황산염 환원 박테리아의 유무를 조사하였으며, Pt 시편을 매설하여 황산염 환원박테리아의 서식환경을 조사하였다. 토양 분석은 Fe의 함유량에 주안점을 두어 분석하였고, 수질검사는 산도(pH)와 Fe 함유량에 주안점을 두어 조사하였다. 그 외에 현장에서 채취한 시료는 실험실에서 배지법을 사용하여 황산염 환원 박테리아의 개체수를 조사하였다.[2]

3. 제 외국의 사례

본 연구에서 조사된 MIC에 의한 부식을 경험한 외국 회사는 2회사, 즉 캐나다의 NGTL(Nova Gas Transmission Ltd.)과 미국의 TGPLC (Transcontinental Gas Pipe Line Corporation)으로써 특히 미국의 TGPLC는 '96년 현재 4번의 MIC에 의한 부식사고를 경험하였다.

NGTL은 "미생물 작용으로 배관 표면에 생긴 황화철(FeS)은 배관표면과 짝이 되어 갈바니 전지(Galvanic Cell)를 형성한다. 이 황화철은 전도체이면서 미세한 고체로써 표면적이 넓으므로 이 황화철까지 방지시키기 위해서는 많은 방식전류가 필요하게 된다. 그리고 배관의 자연 부식률은 보통 0.2[mm/year]이며, 공식률은 0.7[mm/year]인데 반해 MIC에 의한 부식률은 6.4[mm/year]까지 보고되고 있다"고 보고하고 있다.

TGPLC는 "지중에 흐르는 물은 여러 가지 유기물을 운반하는 매개체이며, 박테리아의 균종들은 여러 가지 형태로 존재하기도 하며 상호 긴밀한 관계를 가지고 활동한다"고 보고하고 있다.

TGPLC가 경험한 부식 사례를 정리하면 아래와 같고, 각각의 부식사고 지점에서 측정된 황산염 환원 박테리아 수를 종합한 것은 표 1과 같다.

① 사고 예 I

- 일시 : 1990년 상반기
- 배관사양 : 직경 : 24", 두께 : 0.312", 규격 : X-52 Grade
- 코팅 : Asphalt Enamel Coating
- 부식 부위 : 코팅 결함부
- 주변 조건 : 젖은 점토
- 부식 양상 : 반구모양의 컵 형상, 공식 내부의 공식, 고전적인 줄무늬

② 사고 예 II

- 일시 : 1992년 하반기
- 배관사양 : 직경 : 30", 두께 : 0.312", 규격 : X-52 Grade
- 코팅 : Coal Tar Enamel Coating
- 부식 부위 : 코팅 결함부
- 주변 조건 : 젖은 점토
- 부식 양상 : 줄무늬 형태의 공식(Striated Pits)
- 특기사항 :
 - 현장에서 부식부분에서 S 및 FeS 검출
 - Instant off 전위 : -1.1[V/CSE]

③ 사고 예 III

- 일시 : 1993년 상반기
- 배관사양 : 직경 : 12", 두께 : 0.250", 규격 : X-52 Grade
- 코팅 : Asphalt Coating
- 부식 부위 : 코팅 결함부
- 주변 조건 : 점토 형태의 토양
- 부식 양상 : 언급 없음
- 특기사항 : 언급 없음

④ 사고 예 IV

- 일시 : 1993년 하반기
- 배관사양 : 직경 : 30", 두께 : 0.312", 규격 : X-52 Grade
- 코팅 : Coal Tar Enamel Coating
- 부식 부위 : 코팅 결함부
- 주변 조건 : 젖은 점토
- 부식 양상 : 줄무늬 형태의 공식(Striated Pits)
- 특기사항 :
 - FITC, IFA 등을 이용하여 APB 및 SRB 검출

표 1 부식지점에서의 MIC 분석 결과(미 TGPLC)

Dig No.	Viable Bacteria/ml of Slurry				Total Bacteria/ml FITC Method	SRB/ml IFA Method	Iron Bacteria Detected (Yes/No)
	AER	ANA	APB	SRB			
1	5	2	1	1	1.9×10^6	1.9×10^4	No
2	5	3	1	1	1.3×10^6	$< 5.4 \times 10^2$	No
3	4	3	1	1	3.2×10^4	5.9×10^4	No
4	3	2	2	1	1.1×10^6	4.9×10^2	No
5	5	5	5	1	1.2×10^6	$< 5.4 \times 10^2$	No
6	5	3	3	1	9.7×10^4	1.6×10^2	No
7	2	2	1	1	1.1×10^4	$< 5.4 \times 10^2$	No
8	2	2	2	2	2.3×10^4	1.1×10^2	No
9	2	2	1	1	9.7×10^4	5.4×10^2	No
10	5	5	5	1	7.9×10^6	8.1×10^4	Yes

4. 실험실 시험

4.1 토양의 이온 함유량 분석

부식 현장 주변의 토양의 성질을 파악하기 위해 각종 이온 함유량을 조사하였다. 특히 Fe의 함유량은 부식 지점의 Fe 함유량과 비교·검토하기 위한 기초자료로 활용하였다.

표 2에서 흙살림은 주변의 화원에서 비료로 사용하고 있는 비료의 상표명이며, 화원용 퇴비는 화원에서 분갈 이용으로 주로 사용하는 퇴비의 상표명이다.

본 연구에서는 측정을 3회 반복하여 평균 수치로 그 값을 결정하였다. 조사 시료의 이온 함량을 분석한 결과 특히 사황은 발견되지 않았고, 화원용 퇴비에서 마그네슘이 비교적 많이 검출되었다.

표 2 토양의 각종이온 함량

토양종류/이온(ppm)	Al	Fe	Ca	Zn	Mg
흙살림	16	11.58	17.336	2.511	61.36
화원용 퇴비	67	93.6	75.856	11.808	119.28
과수원 토양	32	31.6	2.4608	0.1803	4.852
삼덕섬유 앞 현장토양	21	22.8	1.3645	0.0994	2.378
마을입구 쪽 현장토양	11	9.14	1.5531	0.0855	1.0754

4.2 수질 분석

본 연구에서 수질 분석에 사용된 물은 모재 손상 복구 현장에서 배관이 굴착된 상태에서 그 주위에 고여 있는 물을 채취하였고 변질을 막기 위해 플라스틱용기를 밀봉하여 국립기술품질원에 의뢰하였다. 여기서 1번 시료는 모재 부식지점에서 지하 2(m)깊이의 흐르는 물을 채취한 것이며, 2번 시료는 코팅 결함부이지만 모재부식이

없었던 지점에서 지하 2(m) 깊이에 고여있는 물을 채취한 것이다.

분석 결과 표 3과 같이 pH는 5.5~5.8로써 약산성을 나타내었으며, Fe는 오히려 부식지점에서 낮게 검출되었다. 이것은 흐르는 물과 고여있는 물의 농도차에 의한 것으로 판단되므로 본 연구에서 목적한 부식당시의 수질을 분석하는 데는 실패하였다.

표 3 수질 분석 결과

항 목	1번 시료	2번 시료
채취 장소	부식지점 흐르는 물	코팅결함부 고여있는 물
pH(25℃)	5.8	5.5
전기전도도($\mu\text{s/cm}$)	280	230
총 경도 (CaCO ₃ , mg/L)	82.7	77.2
Ca(mg/L)	28.7	24.3
Mg(mg/L)	2.7	4.0
Zn(mg/L)	검출 안됨	0.1
Cl(mg/L)	24.2	43.6
Fe(mg/L)	3.0	25.1

4.3 토양의 황산염 환원박테리아 분석

현재까지 MIC 분야에서 황산염 환원박테리아를 조사하기 위한 방법으로는 크게 배양법(Culture Test), FA(Fluorescent Antibody)법, IFA(Indirect Fluorescent Antibody)법, FITC(Fluorescein Isothiocyanate), 그리고 기타 전자현미경을 이용한 분석법 등이 사용되고 있다. 여기서는 배관 모재의 부식을 일으키는 황산염 환원박테리아 수와 이와 관련된 토양의 pH, 전도도, 염분도를 조사하기 위해 비교적 경제적인 방법인 배지(Media)를 이용한 배양법을 이용하였다.

일반적으로 자연계 미생물의 분리에는 고체 한천평판 배지와 액체배지 2가지를 이용한다. 고체 한천평판은 획선도말법(Streak Plate)과 Spread 평판법 그리고 혼합평판법(Pour Plate)으로 대별되며 토양 등의 분리원을 연속 희석하여 한천배지에 접종하여 일정시간 후 미생물 Colony를 관찰하고 미생물을 분리·계수한다. 이러한 고체 한천평판법은 분리 시료를 연속 희석하므로 분리 시 유의성에서 분체가 있을 수 있으며, 생장이 느리거나 혹은 성장조건이 까다로운 미생물 균종인 경우 Colony형성 등에 시간이 걸리고 생장을 확인하기 어려운 경우도 있다.

본 실험에서는 조사대상인 황산염 환원박테리아가 생육이 느리고 생육조건도 매우 까다로운 균종이므로 액체 배지를 사용하여 분리 판정하는 것이 효율적이라고 판단되었으며, 생균수 측정(Viable Bacterial Enumeration)은 확률적인 방법인 최확수법(Most Probable Number; MPN)을 이용하였다.

본 조사에서 생균수를 판정한 황산염 환원박테리아는 황산염을 환원시켜 황화수소(H₂S)가스를 발생시키므로 판정배지에 철(보통 Ferrous Ammonium Sulfate: Fe(NH₄)₂(SO₄)₂)를 함께 넣어주면 생성된 황화수소와 철이 반응하여 황화철의 침전이 생기므로 시료를 연속 희석하게 되면 판정배지에서 박테리아수를 계수할 수 있다.

토양 중에 존재하는 황산염 환원박테리아의 최확수, 토양의 전도도, 염분함량, 총 고용 물질량은 표 4와 같다.

황산염 환원박테리아는 부식 생성물, 황성오니, 과수원 토양, 화원용 퇴비, 흙살림, 삼덕섬유 앞 현장토양,

마을 입구쪽 현장 토양, 채취용 장갑, 일반토양, 증류수
 표 4 토양중의 황산염환원 박테리아수

시료 종류	SRB (토양 100(g) 당 마리수)	pH	전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	염분도 (salinity) (ppt)	총 고용 물질량 (mg/l)
증류수	0	7.00	89.1	0.0	6.7
흙살림	7.0×10^6	7.09	31,000	17.0	21,000.7
화원용 퇴비	13.0×10^6	7.03	32,000	18.9	22,000.4
과수원 토양	3.05×10^6	6.14	940	4.9	6,340.0
삼척섬유암 현장토양	32.5×10^6	6.76	1244.0	0.8	870.0
마을입구쪽 현장 토양	23.0×10^6	6.65	1482.0	0.9	1,030.0
부식 생성물	9.1×10^6	-	-	-	-
채취용 장갑	3.9×10^6	-	-	-	-
일반토양 1	16.5×10^6	7.84	89.1	0.0	62.4
일반토양 2	0.9×10^6	7.83	282	0.0	186.1
일반토양 3	0	8.33	156.4	0.0	109.9
활성오니 1	90.0×10^6	8.26	253.5	0.0	177.5
활성오니 2	6.0×10^6	8.51	293	0.0	205.1

순으로 많이 존재하고 있었다. 부식 생성물에서의 황산염 환원박테리아수(9.1×10^6)는 일반토양에서의 $0 \sim 16.5 \times 10^6$ 마리(창원대학교 정원 및 잔디밭을 비교 표본으로 사용하였음)에 비해 상당히 많이 검출되었으며, 가장 환원 상태가 발달한 토양인 활성오니와 비슷한 정도의 황산염 환원 박테리아가 존재함이 확인되었다. 또한 단위를 [SRB 마리수/ml]로 환산하면 약 9.1×10^4 마리/리 싸외국의 TGPLC의 부식사고가 발생한 현장인 Dig No 2, 3, 6, 7, 8, 9의 경우와 비슷하므로, 본 부식현장의 모재손상부에서 채취한 부식생성물에는 상당히 많은 황산염 환원박테리아가 존재함을 알 수 있다.

참고로 부식현장 토양의 pH는 6.14에서 7.09까지로 중성이긴 하나 일반토양이 약 7.8임을 감안할 때 비교적 산성화되어 있음을 알 수 있다. 부식 생성물 및 채취용 장갑은 시료가 소량이므로 pH 측정이 불가능하였다.

5. 현장 시험

일반적으로 배관주위에 Backfill한 부분은 주위 원토 양보다 많은 수분을 함유하고 있고 박테리아수도 10배 ~ 100배 더 많이 서식한다고 보고되고 있다. 박테리아는 보통의 토양에서도 서식할 수 있으나 특히 습기방식되고 있는 배관표면의 수막(Moisture Film)부분에 잘 서식한다. 더욱이 코팅 결함부가 생기면 이 부분에 주로 서식하면서 국부적인 부식진전을 발생시켜 부식을 유발시킨다.

일찍이 1958년 F.E. Costanzo와 R.E. Mcvey 등은 현장에서 백금(Pt)를 이용하여 박테리아에 의한 부식성을 판단할 수 있는 프루브를 제작·시험하였다. 그들이 제시한 부식정도를 판단하는 기준을 표 5에 Pt의 수소기준전극(Standard Hydrogen Electrode) 대비의 전위로 표시하였다.

표 5에서 언급한 내용을 바탕으로 부식현장의 배관주위에 대하여 박테리아에 의한 부식환경을 조사하기 위해, 본 시험에서는 순도 99.99%의 백금시편을 각각 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ (1번 시편), $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ (2번 시편), $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ (3번 시편), $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ (4번 시편) 크기로 만들어 10차에 걸쳐 측정하여 그 결과를 표 6에 표시하였다. 측정된 결과는 배관 모재 복구시에 백금시편을 매설할 수 있도록 미리 시공한 PVC 관내에 백금시

편을 배관깊이까지 설치하여 측정된 것이다.

표 5 Pt의 Redox 전위를 이용한 박테리아에 의한부식판정기준

Redox 전위 (mV/SHE)	부식정도
100 이하	심각
100 ~ 200	보통
200 ~ 400	약간
400 이상	없음

표 6 Redox 전위 10차 측정 결과
 (위치: 배관 깊이, 측정시간 : 1998년 9월 2일 13:05, 20일 경과후, 방식상태)

	Redox 전위 [mV/SHE]	판정
1번 시편	374	약간
2번 시편	348	약간
3번 시편	360	약간
4번 시편	362	약간
종합판정		약간

측정 결과 설치 직후에는 부식성이 없는 것으로 조사되었으나, 약 1시간 이후에는 환경에 따라 부식성이 있는 것으로 조사되었다. 특히 과수원에서 측정된 값은 측정지점이 배수구의 활성오니와 비슷한 환경이므로 부식성이 비교적 심각한 것으로 조사되었다. 배관깊이 지점에서 측정된 값은 매설 직후는 "없음"으로 조사되었으나 장기간 경과(20일)후에는 미방식 상태(방식용정류기 OFF 상태)와 방식상태(방식용정류기 ON 상태)에서 모두 "약간"으로 측정되어 일반 지하수의 "없음"에 비해 비교적 부식성이 높은 것으로 조사되었다.

6. 결 론

22.9kV 배전선로와 병행한 가스배관에 대하여 부식현장의 모재 손상부에서 채취한 부식생성물과 기타 증류수를 비롯한 주변 토양 등에 대하여 배지법을 이용한 실험실 시험 결과, 외국의 TGLPC의 부식사고 지점에서 조사한 황산염 환원박테리아 수와 비슷하게 검출되었다. 이를 통해 MIC에 의한 부식의 가능성이 확인되었다.

그리고 부식현장에서 백금시편을 이용한 Redox 전위를 측정하여 황산염 환원박테리아에 의한 부식성을 조사한 결과, "약간"으로 조사되어 일반 지하수의 "없음"과 비교해 볼 때 부식 가능성이 있는 것을 알 수 있었다. 이것은 주위에 하수도 배관이 평행하게 경과함으로써 활성 옹이의 환경조성이 쉽고, 과수원에서 사용하는 각종 비료와 약품에 의해 생성된 유기물들이 하수도를 통해 가스배관 주변 토양에 영향을 준 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. W. Borenstein, "Microbiologically Influenced Corrosion Handbook" Industrial Press Inc. 1994.
- [2] 배정효외 3인, "배관모재 부식원인 조사" 한국가스공사 용역보고서, 1998.