



# 천연가스 탱크기초 강관파일의 전기방식

이수홍\*, 최윤식\*\*  
(\* 한국가스공사 근무, \*\* 연세대 공대 전기공학과 조교수)

## 1. 서 언

전기방식법은 지하가스배관에 주로 적용해오고 있으나 최근들어 모든 매설금속에 대한 방식의 중요성이 인식되고 있고 전기방식법이 법으로도 규정화되고 있다.

여기서 전기방식의 적용원리는 금속면에서 주위의 수분이나 토양을 통하여 전류가 유출할 때 일어나는 현상이 부식이므로, 수분이나 토양을 통하여 직류전류(방식전류)를 금속표면에 유입시켜 금속 표면에서의 유출전류를 소멸시켜 부식을 방지하는 것으로, 전기방식법은 방식전류를 공급

하는 방법에 따라 유전양극법, 외부전원식 배류법등으로 구분되나 매설금속물의 자연전위, 토양의 성질(토양비저항, 습도, PH 등), 방식 소요전류량, 인접시설물의 영향, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 가장 적합한 방식법을 선정해야 한다. 그러나, 국내·외적으로 수집된 다량의 강관파일의 전기방식 적용사례는 거의 없고, 전기방식 분야는 특수성, 희귀성 경험에 바탕을 둔 다양한 자료, 주로 방식전문업체만의 설계·시공 및 외국문헌에 의존하는 실정에 있다.

본 논문에서는 바다 한가운데를 매립하여 만든 인공섬 위에 부식영향에 취약한 지역에 나관상태로 매설되는 액화 천연가스 탱크기초 강관파일에 전기방식을 적용하는 사례를 통하여 전기방식관련 자료검토와 현장예비조사를 통한 적절한 전기방식설계 적용, 전기방식 전위측정 시험방법, 방식설비 주위시설물에 대한 간섭영향 등을 논술하였다.

### 1.1 LNG 탱크설비의 구조 및 특성

액화 천연가스(LNG LIQUEFIED NATURAL GAS)는 대량수송과 저장을 위해 천연가스를 영하 162℃로 냉각시켜 부피를 1/600로 압축시킨 무색 투명한 액체를 말하는데, 이러한 LNG를 저장하기 위한 설비를 LNG 저장탱크라 하며 탱크설비의 표준단면도는 그림 1.1과 같다.

LNG 저장탱크의 외부는 90cm 두께의 특수 콘크리트로 만들어지며 초저온의 LNG와 직접 접촉되는 내부는 특수 스테인레스 철판인 멤브레인이 설치되고 외벽과 내벽사이에는 20cm의 특수단열재로 채워져 있으며 저장탱크 바닥과 기둥사이에

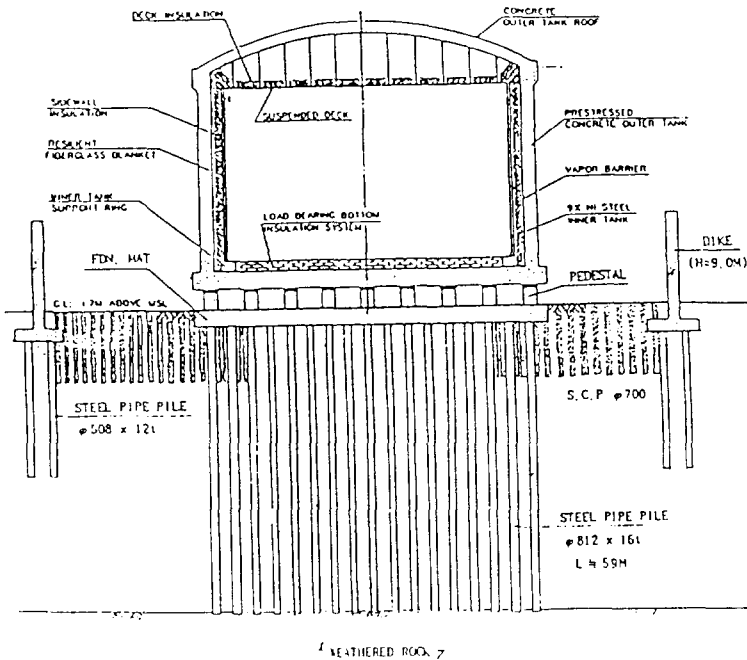


그림 1.1 액화천연가스 저장탱크 설비 표준단면도

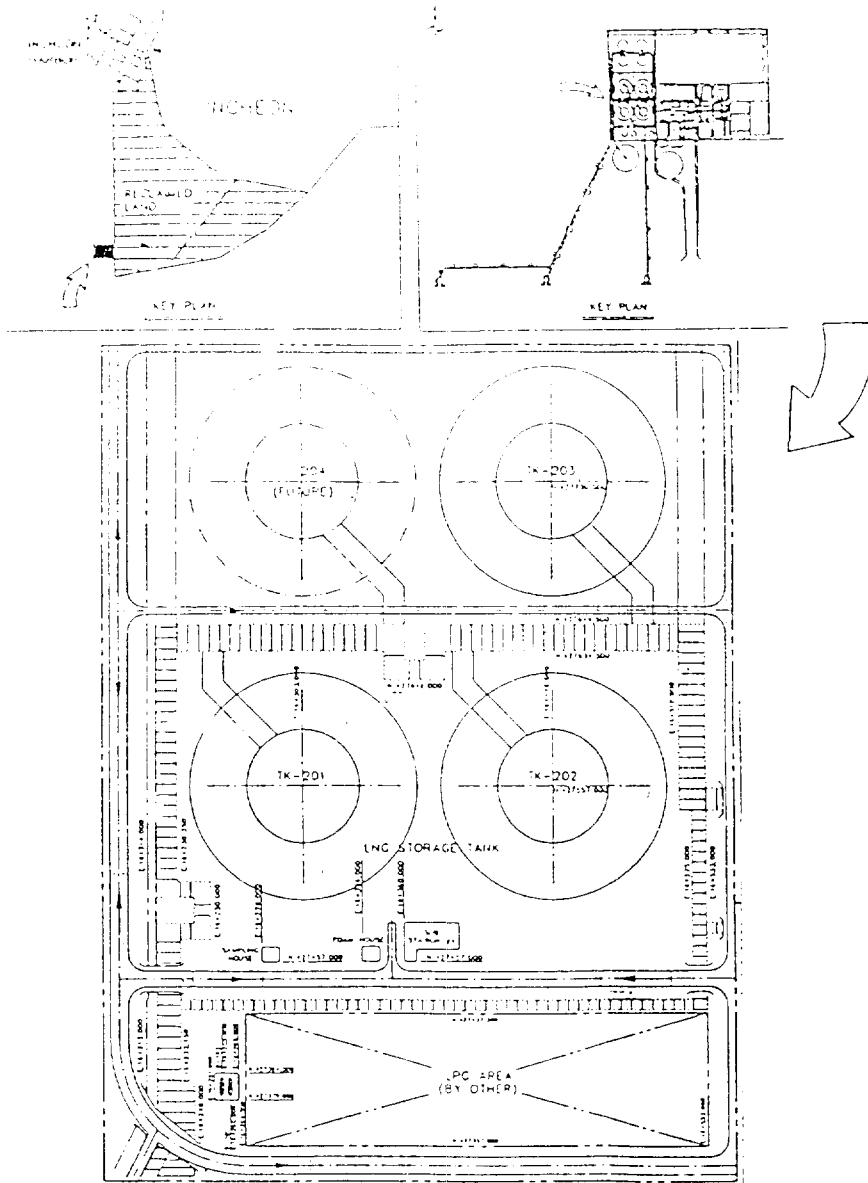


그림 1.2 액화천연가스 저장탱크 설비 배치도

국내 일반 토양의 비저항값은 10,000ohm.cm 이상으로 분포되어 있으나 탱크기초 강관과일이 설치되는 곳은 그림 1.2 액화천연가스 저장탱크 설비 배치도에서 보는 바와 같이 인천 송도에서 해상 남서방향으로 8km 지점의 바다 한 가운데를 준설하여 매립한 지역으로 토양비저항값이 2,000ohm.cm [현장예비조사결과] 이하로 현저히 낮은 값으로 강관과일이 부식환경에 놓여있고, 금속표면이 해토와 염분을 함유한 매립토를 동시에 접하고 있어 토양비저항 차이에 의한 농담전지형성과 염분에 의한 전기화학적 부식이 상당히 활동적일 것으로 예상되고, 특히 저장탱크는 초저온의 액화천연가스를 저장하는 설비로서 어떤 외적인 요인으로 탱크설비 자체에 조금이라도 안전성에 문제가 일어나는 것을 허용할 수 없는 설비이므로 탱크기초 강관과일에 부식방지 대책으로 전기방식을 적용해야 한다.

는 네오파드라는 내진용 특수 지지관을 설치하고 또한 연약지반을 보강하기 위하여 탱크기초 강관과일을 설치하여 바탕기초 콘크리트(FOUNDATION MAT)위에 기둥을 설치하여 그 위에 탱크 본체를 설치한다.

유사시 LNG가 새어 나오는 경우에 대비, 저장탱크 외부에 방액제(DIKE)라는 콘크리트 차단벽을 설치하여 LNG의 외부확산을 차단할 수 있게 하였으며, 저장탱크에서 30cm 거리에 설치되는 방액제에도 연약지반을 보강하기 위한 기초 강관과일을 설치하여 그 위에 방액제를 설치한다.

## 1.2 탱크기초 강관과일의 전기방식의 필요성

## 2. 강관과일의 전기방식 적용방법

### 2.1 전기방식의 적용방법 개요

전기방식 적용방법은 일반적으로 그림 2.1의 전기방식 설계 흐름도와 같으며 전기방식 설계를 실시함에 있어 가장 먼저 현장조사를 통하여 방식대상물이 설치되는 장소의 토양의 부식성과 인접시설물의 정확한 조사, 검토 후에 가장 적합한 전기방식법을 선정하여 세부적인 전기방식 설계작업에 들어간다.

방식대상물의 방식소요면적 및 전류밀도, 부식환경, 양극의 종류 및 수명 등의 설계조건에 따라 방식설계 계산서를

사를 실시하여 강관파일의 전기방식 설계에 적용한다.

2.2.1 토양비저항 측정

측정하고자 하는 깊이의 평균저항을 가장 오차가 적게 측정할 수 있는 Wenner Four Pin Method에 의해 제작된 계기를 사용하며, 이 계기는 측정하고자 하는 깊이를 굴착하지 않고서도 측정할 수 있게 되어있다.

- (1) 측정원리 : 그림 2.2와 같이 C1과 C2 사이에 흐르는 전류 I에 의해서 P1과 P2 사이에서 일어나는 전압강하  $\Delta V$ 를 측정하면서  $V=IR$ 에서 저항 R을 구하고 식  $\rho = 2\pi aR$ 에 의하여 토양의 비저항을 구한다. 여기서,  $\Delta V$  : P1과 P2 사이에서 일어나는 전압강하, I : C1과 C2사이에 흐르는전류, R : P1과 P2사이에서 저항,  $\rho$  : 토양비저항, a : PIN의 간격

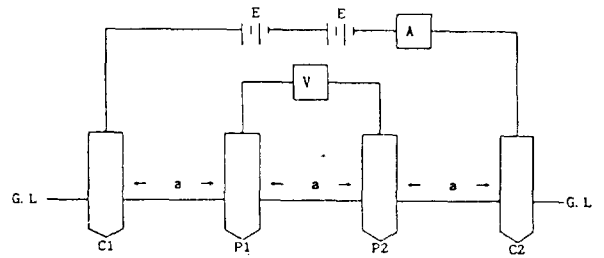


그림 2.2 토양비저항 측정원리

- (2) 측정방법 : 그림 2.2와 같이 Wenner Four Pin Method 계기를 연결하고 측정하고자 하는 깊이의 동일한 간격으로 Pin을 땅속에 묻고 Galvano Meter를 "0"이 되게 dial을 조정한다. 이 때의 값을 읽어서  $\rho = 2\pi aR$ 에 의해서 비저항 값을 계산한다. 측정하고자 하는 깊이를 반복해서 측정한 값의 대수 평균값은 측정깊이별로 다음과 같다.

측정깊이	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m
측정값 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	1072	1230	1622	2455	2818	3236

2.2.2 토양의 PH 측정

- (1) 측정원리 : 직독식 토양 PH메타로 측정하며 PH는 "수소이온 농도의 역수대수"이며 수소이온 농도는 금속의 전위에 영향을 주므로 두개의 전위가 안정된 금속을 서로 전기적으로 연결하고 그 두 금속을 같은 토양에 매설할 경우 그 금속들 사이에는 전류가 흐르게 된다. 이러한 원리를 이용하여 PH를 알수 있다.
- (2) 측정방법 : 측정하고자 하는 위치의 토양을 약 30cm

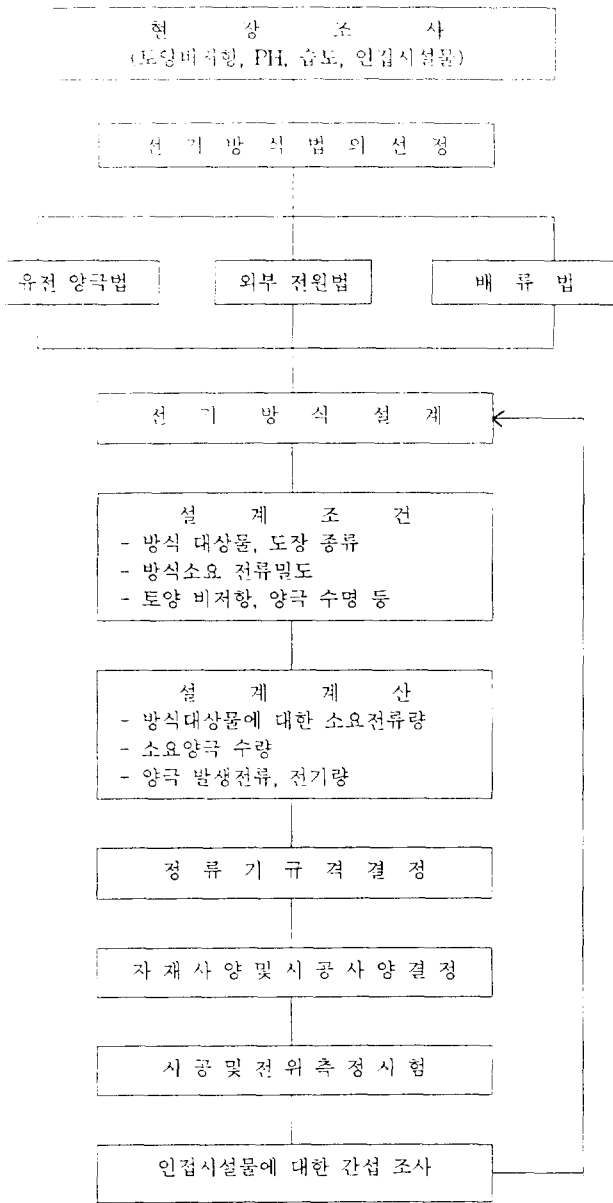


그림 2.1 전기방식 설계 흐름도

작성하여 방식설비의 전원구성방법, 자재 및 시공사양을 결정하여 방식설비 시공과 더불어 방식전위 측정을 실시하여 방식 상태가 방식전위 기준에 적합한지를 판단하고 또한 인접시설물에 대한 간섭영향조사를 실시하여 간섭에 대한 대책 등을 종합검토하여 방식설비 보완 또는 설비시공을 완료한다.

2.2 현장 예비조사

현장 예비조사의 목적은 전기방식설계를 하는데 있어 가장 중요한 인자로서 적용되고 검토되어야 할 토양의 부식성(토양비저항, 토양ph, 토양습도 등) 및 인접 시설물의 조

물토한 후 Meter의 금속부분이 완전히 매몰되게 하고 약 30초 이상 경과 한 후에 PH를 측정한다. 이때 PH가 4-9를 벗어날 때는 측정지점을 옮겨서 다시 측정하고 또다시 4-9를 벗어날 때에만 그 값을 인정한다. 이와 같은 방법으로 토양의 PH측정한다.

### 2.2.3 토양의 습도 측정

- (1) 측정원리 : 직독식 토양 습도계를 측정하며 수분의 농도에 따라 서로 다르게 작용하는 두금속을 전기적으로 연결하여 그 사이에 흐르는 전류를 측정하여 습도를 측정한다.
- (2) 측정방법 : 토양 PH측정방법과 동일한 방법으로 실시한다.

### 2.2.4 인접 시설물 조사

- (1) 타시설물에 대한 조사 : 액화천연가스 저장탱크 설비 배치도 (그림 1.2 참조)의 도면을 참고로 하여 탱크지역 주위의 고압철탑 및 변전소 위치, 강관파일 및 지하매설물과의 관련 조사를 실시한 길과 탱크지역 근처에 6.6KV급 변전소가 탱크기초 외곽에서 약 150M이상 이격되어 있으나 방식대상물 제한거리 (154KV에서 2m ~ 6m)에는 영향이 전혀 없으며 저장탱크 주위에 시설되는 설비는 방액제로서 이는 탱크기초 강관파일의 외곽에서 약 30m 이격되어 방액제 기초강관 파일이 추후 설치될 예정에 있으므로 탱크기초 강관파일과 방액제기초 강관파일 이 전기적으로 연결되어 있지는 않지만, 탱크기초 강관파일의 전기방식으로 인하여 상호간섭이 발생하는지의 여부는 탱크기초 강관파일 전기방식의 전위측정 및 간섭여부를 조사한 후에 검토한다. 인접시설물 조사에서 지하구조물로서 방액제기초 강관파일 이외 다른 구조물이나 방식 설계에 고려할만한 것은 없다.
- (2) 기초 콘크리트 내부철근의 부식검토에 대한 조사 : 액화천연가스 저장탱크표준 단면도 (그림 1.1 참조)에서 탱크기초 강관파일 상부는 Foundation Mat (기초 콘크리트)가 설치되며 기초 콘크리트내부는 철근이 설치된다. 설치되는 철근은 강관파일과 접속되고 모든 철근은 전체적으로 연결되게 된다. 콘크리트 내부의 철근은 콘크리트내부가 알칼리성이 되므로 부식이 정지하게 되나, 시간이 경과함에 따라 콘크리트는 열화되어 내부가 중성에 가까워 짐에 따라 부식 환경으로 변하게 되어 철근도 부식될 수도 있게 된다.

본 논문의 경우 기초 콘크리트와 탱크를 지지하기 위해 설치되는 Pedstal부분은 전해질인 토양과 접촉하지 않으며 콘크리트 내부의 알칼리성 성분이 크게 변하지 않을 것으로 판단하여 전기방식 대상에서 제외시키고, 기초 콘크리트 내부의 철근중에서 Foundation중심부는 토양의 영향을 거의 받지 않고 알칼리성 성분이 크게 변하지 않으므로 부식에 미약한 것으로 판단되나 정확히 구분 할 수 없으므로

본 논문에서는 기초 콘크리트 내부철근 전체를 방식대상으로 고려한다.

## 2.3 현장 예비조사에대한 검토 및 설계 적용기준 결정

### 2.3.1 토양 비저항

탱크설비 설치지역은 바다 한가운데를 매립한지 얼마 안되는 곳으로 현재 조사된 토양비저항 값(대수평균 2,000 ohmcm 이하)은 매립된 직후의 값으로 해수의 직접적인 영향이 미치고 있는 상태이나 추후 공사가 완료된 후 시간이 경과되면 해수의 유입은 차단되고 서서히 담수화가 되어 토양 비저항값은 증가 될것으로 판단되어 현재 측정된 대수평균 수치보다 증가된 수치인 약 2.5배의 토양비저항 값인 5,000 ohm.cm를 본 논문에 적용한다.

물론 이 수치에 도달할 수 있는 기간도 알수 없으며 이 수치에 맞는 방식소요 전류밀도를 적용하는 것은 아니며 (방식소요 전류밀도는 별도로 적용할 것임) 여기서 적용하는 토양비저항 값은 양극용 전극의 접지 저항값의 산출과 정류기의 정격산출 및 효율적 운영을 위하여 필요한 값으로 적용한다.

### 2.3.2 토양의 PH 및 습도

측정된 토양의 PH가 최저 4.8, 최고 6.8, 평균 5.7로서 물속의 금속부식에 대한 PH의 영향 (가스도관 방식 핸드북 P.4 PH의 영향 참조)에서 PH 4~ 9범위에서는 금속의 부식상태가 거의 일정한 자연적인 부식상태가 되기 때문에 본 논문의 방식설계에서는 반영하지 않기로 한다.

또한 측정된 토양의 습도는 최저 55%, 최고 85%, 평균 72%로서 일반적으로 (미군 TM 5-8114 CORROSION CONTROL P.62 참조) 토양습도 30%미만이면 토양의 비저항이 급속히 증가하여 매설금속의 부식율이 감소하나 40% 미만 지역이 없기 때문에 토양의 습도 변화에 의한 비저항의 차이가 예상되지는 않는다. 따라서 토양습도에 의한 부식상태 변화율의 영향은 없을 것으로 판단하여 본 논문의 방식 적용에는 반영 하지 않기로 하지만, 다만 토양의 PH와 습도의 값을 참고하여 방식소요 전류밀도를 결정하는데 고려하기로 한다.

### 2.3.3 방식소요 전류밀도의 결정

방식소요 전류밀도는 방식설계를 하는 데 있어 매우 중요한 요소로서 방식대상물이 설치되는 장소의 토양의 부식성, 토양비저항, 매설깊이 및 조건에 따라 다르게 적용시킬 수 있으며, 이러한 이유로 방식대상물이 얼마만큼의 방식소요 전류밀도가 필요한지를 예측하여 방식설계에 적용시켜야 하는 어려움이 있다. 그래서 지금까지 국내.외 문헌과 방식전문회사들이 설계.시공 사례의 중요한 경험적요소등을 토대로 하여 본 논문의 탱크기초 강관파일은지하 59m에 매설되고 현장조사에서 토양비에서 토양비 저항값은 매우 낮으나 추후 이값은 증가될 것이므로, 토양 비저항별 소요 전

표 2.1 본 연구의 방식설계에 적용되는 방식소요 전류밀도

매설 깊이	방식소요 전류밀도 (mA/mA <sup>2</sup> )
10M 이하	15
25M 이하	10
50M 이하	5

를 적용하기로 한다.

2.4 전기방식법 및 방식양극의 결정

2.4.1 방식 방법의 결정

본 논문의 탱크기초 강관파일의 전기방식법으로 결정하기 위하여 표 2.2 에서 알아본 유전양극식과 외부전원식의

표 2.2 유전양극식과 외부전원식의 장단점 비교

방식법	장점	단점
유전양극식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 간편하다.</li> <li>2. 단거리의 피방식 구조물에는 비용이 싸다.</li> <li>3. 다른 매설금속체에 대한 간섭이 거의 없다.</li> <li>4. 피방식의 염려가 없다.</li> <li>5. 양극을 분산시켜 설치하므로 전류분포가 고르다.</li> <li>6. 이상전압에 대해 접지의 역할을 하기 때문에 안전하다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 효과 범위가 좁다.</li> <li>2. 장거리의 피방식 구조물에는 비용이 비싸다.</li> <li>3. 소모되기 때문에 일정한 기간이 경과하면 보충해야 한다.</li> <li>4. 시설 후 전류의 조절이 곤란하다.</li> <li>5. 강한 전식에 대해서는 효과가 없다.</li> </ol>
외부전원식	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 효과 범위가 넓다.</li> <li>2. 장거리의 피방식 구조물에는 양극의 수가 적어진다.</li> <li>3. 전극의 소모가 적으므로 평상시 관리가 손쉽다.</li> <li>4. 전식에 대해서도 방식이 된다.</li> <li>5. 대규모 시설에서는 시설비가 비교적 저렴하다.</li> <li>6. 시설 후 방식상태에 따라 정류기에서 인위적으로 전압, 전류를 조절할 수 있다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 초기 투자비가 많이 든다.</li> <li>2. 강력하기 때문에 다른 매설금속체에 대한 간섭에 대해서 충분히 검토해야 한다.</li> <li>3. 직류전원이 필요하고 유지전력비와 관리비가 든다.</li> <li>4. 이상전압에 대해 보안장치를 할 필요가 있다.</li> <li>5. 양극을 집중설치하므로 전류의 분포가 고르지 않다.</li> </ol>

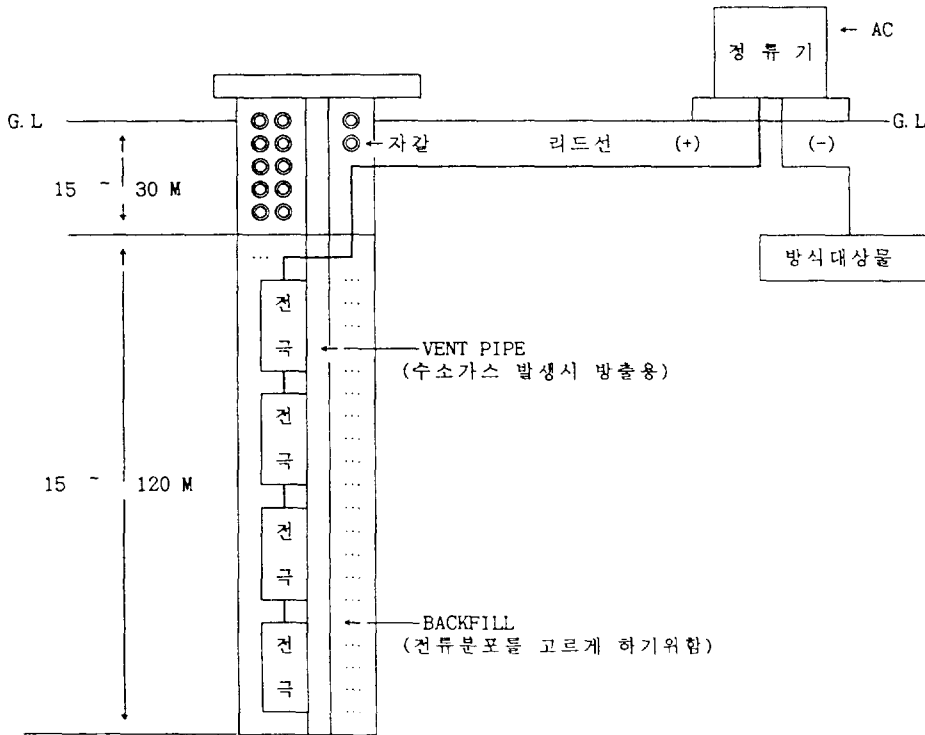


그림 2.3 심매 전극법의 설치방법

장단점 비교검토된 내용을 토대로 하여 방식방법을 결정하기 위해 알아보면

첫째, 유전양극법은 탱크기초 강관파일이 다량으로 매설되고 나관인 상태로 방식에 필요한 소요 전류량이 매우 많다. 그러나 유전양극식의 경우 양극의 발생전류량이 매우 적으므로 본 방법을 적용하는 경우 매우 많은 수량의 양극을 매설해야 하므로 강관 파일이 매설되는 곳에 유전양극을 설치할 수 있는 부지확보가 불가능하므로 적용하기 곤란하다.

둘째, 외부전원식 천매전극법은 양극을 설치해야 하는 부지가 많이 필요한데, 탱크기초 강관파일의 경우 소요전류량이

류밀도와 토양의 PH값, 강관파일의 매설깊이 등을 종합적으로 판단해 볼때 본 논문의 방식설계에 적용되는 방식소요 전류밀도는 표 2.1과 같이 매설 깊이별 소요 전류 밀도

이 매우 크므로 양극이 다량으로 필요하고 매우 넓은 부지가 필요하게 된다. 그리고 본 탱크설비기초 내에는 여러 타 시설물이 있고 타시설물에 간섭의 영향을 미치지 않도록

충분히 이격시켜야 하기 때문에 양극을 설치할 수 있는 부지 확보가 불가능하므로 적용하기 힘들다.

세제, 외부전원식의 심매 전극법을 적용할 경우 강관파일의 항타시 적당한 지점을 선정하여 보링공사를 하고 양극을 매설하면 별도의 부지를 확보할 필요가 없으며, 또한 탱크기초 강관파일이 다량으로 매설되므로 양극을 강관파일과 근접하여 매설하면 가까이에 있는 강관파일의 방식을 담당하도록 한다.

이와 같이 방식방법을 검토한 결과 본 연구의 탱크기초 강관파일의 전기방식법으로는 외부전원식의 심매 전극법(DEEP-WELL GROUND BED)으로 적용하기로 한다.

#### 2.4.2 사용 양극의 결정

외부전원용 전극으로 사용되는 양극은 국제 부식협회(NACE)에서 추천하고 있는 종류로서 GRAPHITE, HIGH SILICON CAST IRON( 고규소주철 ), LEAD SILVER ALLOY, PLATINUM, 순철 등이 있다. 이런 양극들은 전기방식이 적용되는 구조물의 주변환경에 따라 선정되고 양극의 설치조건에 따라, 토중에서는 BACK FILL( 효율적인 전류흐름 및 분포를 위해 사용 )형태를 취한 상태로 설치되고, 수중에서는 BACK FILL 없이 순양극 형태로 설치된다.

지중구조물이나 지하배관에 적용되는 전기방식용 양극은 H, S, C, I 양극이 NACE 기준서에서 추천하고 있고, 국내·외적으로 가장 널리 사용되고 있으므로 본 논문의 방식용 양극은 H, S, C, I 양극이 적합한 것으로 판단한다.

표 2.3은 양극의 크기별 양극홀(양극을 설치하기 위한 보링구멍)의 규격을 나타낸 것으로 양극의 규격을 결정하는데 반영되는 요소이다. 즉 보링직경과 길이, 양극홀당 양극수량, 전류분포 등을 고려하여 양극의 규격을 결정한다. 또한 고규소주철 양극의 소모율을 알아보면 표 2.4와 같으며 본 논문의 탱크기초 강관파일지역은 매립토양이므로 양극 소모율은 0.75 LB/A.Yr 을 적용하도록 한다.

표 2.3 양극 크기별 양극홀 규격

양극의 SIZE (INCH)	양극홀의 SIZE (INCH)	비 고
1 × 60 (직경) (길이)	6 × 84 (직경) (길이)	양극홀은 BACK FILL SIZE를 고려함
1.5 × 60	6 × 84	
2 × 60	8 × 84	
3 × 60	10 × 84	
4 × 80	12 × 104	

참고) CORPUS OF ENGINEERS ( U. S ARMY ) MAN UAL EM 1110-1-184 , 1975

표 2.4 토양별 양극의 소모율

토양구분	소 모 율	비 고
일반토양	0.25 LB/A. Yr	* 소모율은 양극표면의 1 ft <sup>2</sup> 당 1A 이하의 전류를 발생할 때 양극의 소모율이다.
남 수	0.25 LB/A. Yr	
해 저 토	1.5 LB/A. Yr	
매립토양	0.75 LB/A. Yr	

참고) DESIGNING IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION SYSTEM, WILLIAM T. BRYAN

그러므로 상기와 같은 양극의 규격을 본 논문의 방식용 양극 규격을 다음과 같이 정한다.

- 양극 재질 : HSCI ANODE ( 고규소주철 양극 )
- 양극 규격 : 2" DIA × 60" LONG, 44LB/EA ( 중량 )
- 양극 소모율 : 0.75 LB/A. Yr ( 매립토양 )

### 3. 방식대상물과 전기방식법의 적용

#### 3.1 강관 파일의 설치환경과 방식 대상물

본 논문에 적용되는 액화천연가스 저장탱크는 인천 송도에서 해상 8KM지점의 바다를 매립(그림 1.2 위치도 참조)하여 만든 인공섬위에 탱크 1기당 직경 812.8mm, 두께 16mm, 길이 약 59m의 강관파일이 535개 설치(그림 3.1 평면 배치도 참조)되므로 강관파일의 금속표면이 해수와 염분을 함유한 매립토로 심한 부식활동이 예상되고, 토양 비저항이 국내 일반토양보다 5배이상 낮은 토양의 부식환경에 놓여 있어 부식대책으로 전기방식을 적용하며 방식대상물은 다음과 같다.

- (1) 탱크기초 강관파일: 탱크 1기 기준(총 방식적용 파일은 탱크 3기)
  - Pile 재질 : steel pile (carbon), bare(without coating)
  - Pile dia :  $\Phi$  812.8mm, t=16mm
  - Pile length : about 59m
  - Pile quantity : 535EA
- (2) 기초 콘크리트내부 접근 : 토목용, 전기방식 공사용

#### 3.2 방식대상 면적 및 소요전류 밀도 계산

- (1) 방식대상 면적 : 방식 대상물(탱크기초 강관파일, 기초콘크리트내부 접근)을 구분하여 적용한다.
  - 탱크기초 강관파일 방식면적 : 파일 1개의 길이별 면적 x 본수 x 도장손상율 (나관 : 100%)
  - 기초 콘크리트 내부철근 방식면적 : 철근의 단위길이 당 면적 x 길이 x 도장손상율(콘크리트 도장

60%적용 : 40%)

(2) 방식소요전류 밀도 : 방식대상물을 구분하여 소요전류량 계산

○ 탱크기초 강관과일 방식 소요전류량 : 방식대상면적 x 소요전류 밀도

단, 소요전류밀도는 표2.1에서 정한 매설 깊이별로 구분적용

○ 기초 콘크리트 내부철근 방식 소요전류밀도 : 내부철근 방식대상면적 x 소요전류밀도(콘크리트 도장 보호율 등을 고려하여 4mA/m<sup>2</sup> 적용)

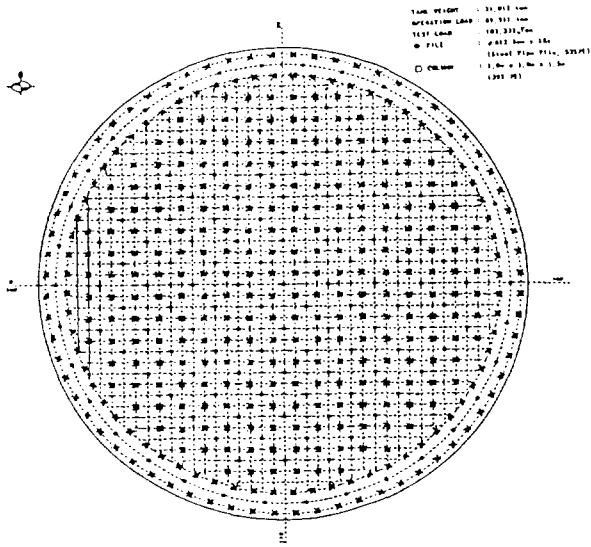


그림 3.1 탱크기초 강관과일 평면 배치도

(3) 방식 대상면적과 소요전류량은 표3.1과 같다.

### 3.3 전기방식 이론 양극수량

(1) 총 필요한 양극의 중량 (LB)  $W=Y \times I \times S \div 0.5$   
 단, Y : 방식수명, I : 방식 소요전류량, S : 양극의 소모율

0.5 : 양극의 유효 중량율

○  $W= 30 \times 628.2 \times 0.75 \div 0.5 = 28.269LB$

(2) 총소요 양극수량  $N=W/W_1$  단,  $W_1 =$  양극 1개 중량 (LB)

표 3.1 방식 대상면적 및 소요전류 밀도 (탱크 1기 기준)

구분	방식대상면적	방식소요전류	방식 소요전류량
탱크기초 10m 이하	13,661.2 m <sup>3</sup>	15mA/m <sup>3</sup>	204.9A
" 25m 이하	20,491.7 m <sup>3</sup>	10mA/m <sup>3</sup>	204.9A
" 50m 이하	34,152.7 m <sup>3</sup>	5mA/m <sup>3</sup>	170.8A
" 50m 이상	12,294.0 m <sup>3</sup>	2mA/m <sup>3</sup>	24.6A
내부철근	5,744.6 m <sup>3</sup>	4mA/m <sup>3</sup>	23.0A
총 방식 소요 전류량 (탱크 1기당)			628.2A
강관과일 1기당 방식 소요전류량	628.2 ÷ 535 = 1.17A		

○  $N=28.269 \div 44 = 642.5EA$

(3) 총소요 양극 적용수량 : 643EA

### 3.4 전기방식용 양극홀 및 회로지향

(1) 양극홀의 저항 (R1) : DWIGHT의 수직 양극홀의 접지 저항식

$R1 = \frac{\rho}{2\pi L} (LN \frac{8 \times L}{D} - 1) = 0.969 \text{ ohm}$

단,  $\rho$  : 토양비저항(5,000ohm.cm), D : 양극홀직경(20cm),

L : 양극홀유효깊이 (55m)

(2) 정류기 회로에서 사용하는 전선의 저항

사용전선은 전압강화 및 전선의 고유저항등을 고려하여 CV 600V 1C 100mm<sup>2</sup>(0.180ohm/km)를 사용하고 전선의 사용길이는 (+),(-) cable 각 411m를 사용한다.

즉, 전선저항  $Rw = (411+411) \times 0.18 \div 1,000=0.148ohm$

(3) 기타저항 : 0.1ohm 적용

정류기회로의 연결시 케이블, 방식대상물 등의 접촉저항등을 고려하여 기타저항 0.1ohm을 적용한다.

### 3.5 전기방식용 양극홀수 및 양극 총수량

(1) 양극 간격 : 2.5m

(2) 양극홀 최대 깊이 : 60m (유효깊이 55m, 무효깊이 5m 기준)

(3) 양극홀수(NH)

$NH = \frac{643EA}{55M \div 2.5M/EA} = 29.23 \text{ HOLE}$

∴ 적용홀수 : 30개

(4) 총 양극수량(NA)

$NA = \text{양극홀 당 양극수량} \times \text{양극홀수} = 22EA/HOLE \times 30H$   
 $= 660EA$

∴ 적용 총 양극수량 : 660개

### 3.6 전기방식용 정류기 수량 및 정격 결정

(1) 정류기 회로수 : 총 10회로(탱크 1기 기준 : 4회로 2대, 2회로 1대)

(2) 정류기 1회로당 양극홀수 및 회로저항

○ 양극홀수(CH) = 총 양극홀수 ÷ 총 정류기 회로수 =

30HOLE 회로

○ 정류기 회로지항 (RC)

RC = 양극홀의 저항(0.969)÷1회로당 홀수(3)+전선 저항(0.148)+기타저항(0.1) = 0.571 OHM

(3) 전기방식의 필요정류기 전압 및 전류

○ 전압 = 총소요전류(628.2A)÷정류기총회로(10) x 회로지항(0.571) x 1.5 (안전율)=53.81V, 적용 : 60V

○ 전류 = 총소요전류÷정류기 총회로 x 안정율 = 94.23A  
적용: 100A

(4) 정류기 정격(탱크1기 기준)

- 교류입력 : 3Φ 440V AC 60HZ
- 직류출력 : DC 60V, 100A, 4회로 2대  
DC 60V, 100A, 2회로 1대

3.7 양극홀 배치방법

탱크지역에 매설되는 기초강관 파일은 그림3.1 의 평면 배치도와 같이 탱크지역내에 집중적으로 다량의 군집된 강관파일이 매설되고, 강관파일간의 간격이 매우 좁게 (3~5m)매설되고 있어 방식대상물에 따라 양극배치 설계를 하여야 하며, 다음과 같은 배치방법이 있다.

(1) REMOTE GROUND BED 방법 : 방식대상과 양극의 간격을 전기적으로 멀어지게 하여 방식대상의 모든곳에서 방식전류가 거의 동일하게 유입되도록 하는 방법이다.

이 방법은 방식대상이 서로 교차되거나 다량으로 매설되어 방식전류의 유입이 직·간접적으로 차단되게 되는 경우에는 방식전류의 유입이 일정하게 할수 없기 때문에 부분적으로 과방식과 미방식이 발생할 수 있다.

(2) CLOSED GROUND BED 방법 : 방식대상과 양극의 간격을 가까이 하여 근접한 방식대상물에 방식전류가 집중적으로 유입되도록 하는 방법이다.

이 방법은 방식대상이 집중되어 다량으로 있을때 부분적으로 방식대상과 양극을 근접하게 설치하여 방식전류를 부분적으로 집중시켜 전체를 방식하는 경우에 사용된다.

그러나 이 방법은 방식대상을 장거리로 하는 경우에는 양극과 근접한 방식대상에 방식전류가 집중되므로, 집중되는 부분은 과방식이 되고 다른 부분은 미방식이 될 수 있다.

상기와 같은 양극홀의 배치방법을 기초로 하여 탱크기초 강관파일의 배치상황을 고려하여 전기방식 양극홀의 가장 효율적인 배치방법을 선정하여야 하므로 다음과 같은 매설 방법을 알아본다.

(3) 탱크지역 외곽에만 양극홀을 매설하는 경우 : 탱크기초 강관파일의 전기방식을 위하여 양극홀을 탱크지역 외곽에 집중적으로 매설하여 전체 기초 강관파일을 방식하는 방법이다.

이 방법은 탱크지역 외곽의 양극홀에서 방식전류를 보내므로 방식전류가 중심부까지 도달하기 위해서는 외곽부와 중심부 사이의 많은 강관 파일을 지나서 중심부의 강관파일에 도달하게 된다.

따라서 양극홀과 쉽게 회로를 형성할 수 있는 지역과 멀리 떨어져 있어 회로 형성이 어려운 지역이 있게 된다.

이때 방식전류는 회로형성이 쉬운 양극홀과 가까운 강관파일에 집중되게 되고 멀리 있는 강관파일은 방식전류 도달에 어려움이 있게 되어, 방식전류 유입이 집중되는 외곽부는 과방식이 되고 방식전류 유입이 어려운 중심부는 미방식이 될 것이다.

(4)탱크지역 내부와 외곽에 양극홀을 매설하는 경우 : 탱크기초 강관파일의 전기방식을 위하여 양극홀을 탱크지역 내부와 외곽에 매설하는 경우로서 양극홀을 중심으로 양극홀에 가까이 있는 강관파일을 방식하도록 하는 방법이다.

즉 방식대상물 가까이에서 집중적으로 방식전류를 유입시켜 전체를 부분적으로 방식하는 것인데 이 경우 양극홀 설치면적 확보가 문제가 되나 강관파일의 배치를 고려하여 양극홀을 배치하게 되면 충분히 설치면적 확보가 가능할 것으로 판단한다.

그리고 양극홀 부근의 가까운 강관파일에 주로 방식전류를 보내게 되므로 전체적으로 균일한 방식전류 분포를 나타내게 되어 과방식이나 미방식의 우려가 없을 것으로 판단한다.

따라서 지금까지 양극홀의 배치방법을 알아본 결과 탱크기초 강관파일의 전기방식 양극홀배치는 방식전류의 분포를 고려하여 탱크지역 내부와 외곽에 설치하는 것으로 한다.

3.8 강관파일 전기 방식 설계도 작성 및 공사시행

3.8.1 설계 도면 작성

양극홀 배치방법을 종합적으로 고려하여 탱크 1기에 대한 탱크기초 강관파일 전기방식 도면을 작성 (그림 3.2 참조)하고 강관파일 전기방식 설계도면에 나타난 설비들을 설명하면 다음과 같다.

R1 ~ R3 : 정류기 (RECTIFIER)로서 외부전원식 전기방식에서 직류전원을 공급하기 위하여 교류를 직류로 변환시키는 장치

◎ : 외부전원식 양극홀(ANODE BED)을 표시하며 양극홀 내부에 양극을 넣어 정류기로부터 전선을 통하여 (+)전류를 토양을 통하여 방식대상물로 보내기 위해 설치하는 설비

① : 측정함으로서 방식대상의 방식상태, 양극의 전류발생 상태등 전기방식에 필요한 각종시험을 하기 위한 설비

R. B : 저항 박스(REISTOR BOX)는 외부전원식 양극의 LEAD CABLE과 정류기의 (+)CABLE을 연결하는 사이에 저항 및 분리기(SHUNT)를 연결하여 각양극의 방식전류분포를 조정할 수 있도록 하기 위한 시설물임

J. B : JUNCTION BOX로서 외부전원식 양극과 연결되는 RESISTOR BOX에서 정류기의 (+) CABLE을 중간에서 연결시키기 위한 케이블 접속 상자임.

— — : CAD WELD 를 표시하는데 이는 정류기의 (-) 케이블과 방식대상물을 접속시키는 것으로 나타낸다.



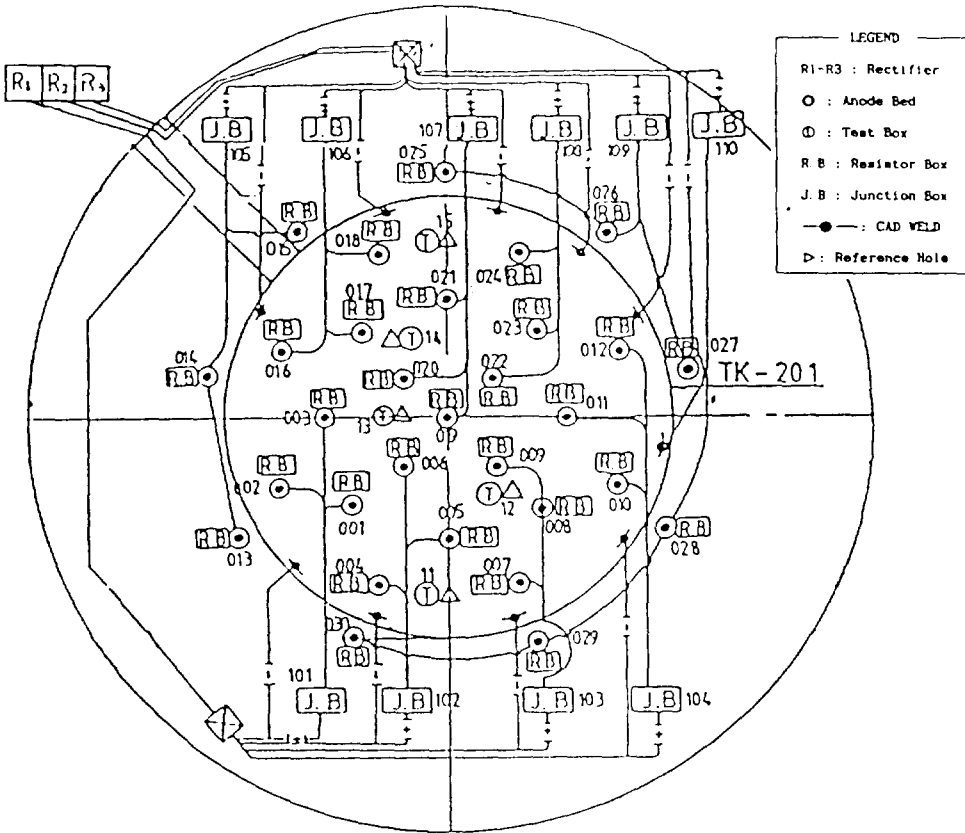


그림 3.2 탱크 1기에 대한 탱크기초 강관파일 전기방식 설계도

△ : REFERENCE HOLE 을 표시하며 이는 방식대상물의 방식상태 즉 방식전위를 측정하기 위해 설치되는 홀(직경 150mm, 길이 30m)로서 상부에는 측정합이 설치되며, 탱크지역은 콘크리트로 전부 설치되고 추후에는 시공이 불가능한 지역이므로 방식설비 설치시 동시에 시공해야 함.

3.8.2 탱크기초 강관파일 전기방식공사 시행

공사 시행은 강관파일 전기방식 설계도면을 기준으로 공사를 수행하되, 탱크설비공사와 병행하여 공사를 수행하여야 하므로 공정계획에 맞추어 시공해야하는 어려움이 있으며, 본연구와 같이 군집된 다량의 강관파일 전기방식공사는 국내·외에서 거의 사례가 없는 만큼 시공 도중에 전기방식전위 측정을 실시하여 전기방식 전류분포가 유효적절하게 될 수 있도록 하는 것이 좋겠다.

4. 전기방식 전위측정 및 분석

4.1 전기방식 전위측정 시험

예비시험에서 여러가지 상황들을 고려해 볼때 강관파일의 전기방식 설계시 반영된 부식조건보다 중간조사 결과에

서 부식성 환경에 놓여 있는 것으로 보이고, 이에 따른 방식 소요전류 증가가 수반되어야 할 경우에 대비하여 추가예비 시험 및 상세시험 등을 통하여 소요전류 가감등의 적합한 설계 반영이 필요하므로 전위측정 시험을 실시한다.

4.1.1 조사장비 및 조사항목

- 조사장비 : 발전기 2대(각 50KW), 임시정류기 4대 (60V 100A & 130A, 40V 40A x 2대)
- 사용계기 : 포화항산동 기준전극 2EA, 염화은 기준전극 2EA, DIGITAL MULTIMETER 2대, HOOK METER 2대
- 조사항목 : 방식 소요전류 시험, 방식전위, 자연전위, 양극출당 출력전류 및 전압, 인접 시설물(방액제기초 강관파일)에 대한 전위조사

4.1.2 시험방법

- 5개의 양극홀이 수용할 수 있는 기초강관의 양만큼(약 90본 파일)을 (-)연결하고 (-)케이블을 5가닥 인출하여 해당정류기에 연결한다.
- 5개의 양극홀을 시험하기 위하여 (+)케이블을 각 정류기까지 인출하여 연결한다.
- 정류기를 ON시킨후 출력전류를 설계 출력전류(약 106A)만큼만 인가할 수 있도록 정류기 TAP을 조절하여 SETTING한다.
- 정류기를 ON 시킨후 시간이 경과함에 따라 TEST HOLE을 기준으로 깊이별 전위변화를 방식파일과 비 방식파일을 구분해서 측정한다.
- 자연전위는 정류기를 가동하기 전부터 측정기록하고 자연전위 변화여부를 판단할 수 있도록 지속적으로 측정한다.
- 시험 대상물이 방식전위 기준에 도달 하였을때 정류기의 출력전압 및 전류를 확인하여 방식소요 밀도를 측정할 수 있도록 측정기록 한다.

4.1.3 시험 내용

- 자연전위조사 : 시험용 정류기를 ON 하기전에 강관과

일의 자연 대전위치를 임의 선정된 지점에서 (TEST HOLE)빌터메타와 포화 황산등 또는 염화은 기준전극을 사용하여 측정하며, 측정시 가능한 대전위위에 영향을 줄 수 있는 요인들을 제거하고 측정한다.

- 방식전위 측정 : 5개의 양극홀(ANODE BED)중 중심에 위치한 양극홀 주변에 있는 강관 파일(18본)중에서 1본을 임의 선정하여 지정된 TEST HOLE을 기준하여 전위 변화량을 깊이별로 측정하고, 이때 강관파일의 전위가 100%변화 된후 정류기의 출력전압 및 전류를 측정기록한다.
- 방식전류가 인접시설물(방액제기초 강관파일)에 미치는 간섭영향 조사 : 임의의 방액제 기초 강관파일 3본을 선정하여 자연전위 및 탱크기초 강관파일 방식 전위시험 전·후의 전위상태를 조사하여 기록한다.

#### 4.2 전기방식 전위측정 시험조사에 대한 분석

- 발전기 사용에 따른 출력전압이 불안정함
- 주변에서 항타작업 및 용접작업을 전위분포에 약간의 영향을 미치고 있음
- 아주 작은 인가전압(정격치의 10%정도)에서 출력전류가 생산되고 있기 때문에 전류값의 가감 및 전위 조절이 어렵다.
- 강관파일의 자연전위는 포화황산등 기준전극으로 일 반적인 자연전위값(-) 0.45 ~ 0.64V보다 약 200mV(-) 방향으로 조사되고 있다.
- 방식전위를 설계전류치에서 방식기준전위(포화황산등 기준전극기준 : -0.85 mV)이상을 나타내고 있는 것으로 보아 적합한 것으로 판단한다.
- 방액제기초 강관파일의 자연전위는 초기값(정류기 운전전전)보다 약 50mV전위값이 변화되고 있어 탱크기초 강관파일의 외곽에 위치한 양극홀이 추후 가동될 경우 전류 간섭영향으로 부식에 대한 대책이 필요하다.

#### 4.3 인접시설물에 대한 간섭영향과 대책

##### 4.3.1 방액제기초 강관파일의 실측 전위변화에 의한 예상부식량 계산

- (1) 탱크내부지역 양극홀에 의한 방액제기초 강관의 전위 변화 : 50mV
- (2) 예상 부식량 계산
  - ① 51mV에 의한 방액제기초 강관의 예상 방출 전류량 계산
  - ㉞ 방액제기초 강관의 접지저항(R)

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} [ \ln(8L/D) - 1 ] = 0.462 \text{ ohm}$$

단,  $\rho$  : 토양 비저항(2,000ohm, cm),  
 $L$  : 방액제기초 강관의 길이(3,700CM)  
 $D$  : 방액제기초 강관의 직경(50.8CM)

㉞ 방액제기초 강관파일 1개당 방출(흡수) 전류량 : 전류는 파일 면적의 1/2에서 흡수되고 나머지 1/2에서 방출되므로 부식되는 쪽의 접지저항은 파일 접지저항의 2배임

$$\therefore R \times 2 = 0.462 \times 2 = 0.924\text{ohm}$$

$$\Delta V=IR \text{ 에서 } \rightarrow I=0.050/0.924 = 0.054A$$

##### ㉞ 방액제 기초 강관의 연간 총 예상 부식량 계산

적용공식 :  $W = Y \times I \times S$

단, W : 예상 부식중량(Kg), Y : 년, I : 방출 전류량 (A), S : 철의 부식량(9.127Kg/A · Yr)

$$\therefore W=1 \times 0.054 \times 9.127 = 0.493 \text{ Kg/Yr}$$

##### ㉞ 부식이 용접부위에만 집중된다고 예상할때 강관파일 1개당 부식 깊이

$$\rightarrow \text{부식율} = \frac{\text{연간 부식량(g/Yr)}}{\pi \times (D/2) \times L \times \text{철의비중} \times \text{용접개소}}$$

$$= 2.6\text{mm/Yr}$$

단, L : 용접부의 길이 (15mm 기준),

D : 강관파일 직경(508mm)

용접개소 : 2개소/pile, 철의 비중 : 0.00787g/mm<sup>2</sup>

#### 4.3.2 방액제기초 강관파일의 전위변화에 의한 예상부식량 검토결과

방식전류의 흡수부분은 자연부식보다 부식율이 느려지며 전류 방출부분은 부식율이 심하게 됨을 알수 있는데, 전기방식 시험결과 방액제기초 강관파일의 전위변화가 약 50mV 발생 할때 방액제기초 강관의 부식율 계산 결과는 약2.6mm/Yr임을 확인하였으며, 부식이 용접부위에 집중되는 경우 자연부식과 더불어 간섭에 의한 부식이 발생하므로 부식은 심하게 발생할 것으로 판단된다.

##### 4.3.3 간섭영향에 대한 방액제기초 강관파일의 간섭대책

타시설물에 간섭이 발생하는 경우 방지대책으로는 절연(도장)하는 방법, 전류유입의 차단, 전기방식의 실시등의 방법이 있다.

본 논문에서는 도장방법이나 전류유입의 차단을 위하여 설비를 시설하는 방법은 시공의 어려움으로 적용하기 어려움으로 방액제기초 강관파일에도 전기방식을 적용하여 부식방지를 하는 것이 좋겠다.

방액제기초 강관파일이 설치되는 곳 역시 탱크기초 강관파일 지역과 마찬가지로 부식환경이 좋지 않은 곳에 설치되므로 전기화학적 부식활동과 탱크기초 강관파일 전기방식의 간섭영향으로 부식이 더욱 가중될 것으로 판단되어 방액제 기초강관에도 전기방식법을 적용하되 탱크설비와 방액제 설비는 근접해 설치되므로 상호 연계하여 전기방식을 적용하는 것이 바람직하다.

즉 탱크기초 전기방식으로 인한 방액제기초 강관의 간섭영향은 전기적으로 탱크기초와 방액제기초 강관과 상호연

설을 시키면, 간섭이 아니라 방식대상물로 변하기 때문에 추후 방액제기초전기방식 설계시 이를 반영하여 전기방식을 적용시키면, 간섭영향 뿐만 아니라 부식문제도 해결될 것으로 판단한다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 바다를 매립하여 인공섬을 만든 지역에 액화천연가스 저장탱크설비를 건설함에 있어 저장탱크 기초강관 파일의 전기방식에 대하여 논술하였다. 이러한 적용은, 국내·외적으로 군집된 다량의 강관 파일의 전기방식 설계사례가 거의 없는 관계로 방식관련 자료와 방식설계 전문회사들의 설계자료 조사 및 전기방식 전위 측정·분석 등을 기초로 하여 얻은 결론을 아래와 같이 정리해 보았다.

1. 탱크기초 강관파일이 설치되는 곳은 바다 한가운데를 매립한 지역으로 토양비저항값은 국내 일반토양 비저항값보다 약5배이상 낮고, 금속표면이 해수와 염분을 함유한 매립토를 동시에 접하고 있어 비저항 차이에 의거한 전기화학적 부식이 극심할 것으로 나타났다.
2. 전기방식 전위측정·시험을 통하여 강관파일의 자연전위가 초기 강관파일의 자연전위값보다 약200mV 하락된 원인으로서는 시험정류기의 인가전압과 DC용접기 사용등으로, 토양비저항이 낮고 강관파일이 나관상태이기 때문에 각각의 강관파일이 콘덴서처럼 충전되어 시험정류기 인가전압을 중지 순간이후에 일정한 양은 전류방출(방전)이 일어나고, 상당량의 전위가 그대로 남아 있는 현상이 발견되었다.
3. 군집된 다량의 강관파일(방식대상물)이 토양 비저항이 낮고, 바다를 매립하여 금속표면이 해수와 염분을 함유한 매립토에서 외부전원의 전기 방식법에 있어 방식전위에 도달하는데는 토양과 나관의 강관파일 전체가 방식전류를 충전되기 위해서 적어도 5-7일 이상 지나야 정상적인 방식전위에 도달되는 것으로 나타났다.
4. 전기방식 시설물의 간섭영향 조사에서 방액제기초 강관의 전위변화 50mV로 인한 강관파일의 예상 부식량은 계산결과 2.6mm/Yr로서 심한 부식율로 나타나 있고, 탱크기초의 설치지역과 마찬가지로 방액제기초 강관파일을 전기적으로 연결(상호간섭이 아니라 동일한 방식대상물)하여 추후 방액제기초 강관 파일의 전기방식을 실시하는 것으로 바람직하다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] 전 대회, 실용방식공학, 태화 출판사, 1989  
 [2] A. W. PEABODY(미), CONTROL OF PIPELINE CORROSION, N.A.C.E., 1978  
 [3] DEPARTMENT OF THE AIR FORCE(미), AF(AIR FORCE) MANUAL 88-45, 1983

[4] BRITISH STANDARD INSTITUTION(영), CP(CATHODIC PROTECTION) 1021, 1973  
 [5] L.L.SHREIR, CORROSION CONTROL, NEWNES-BUTTERWORTHS, 1977  
 [6] TECHNICAL PRACTICES COMMITTEES, NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS, 1974  
 [7] DEPARTMENT OF THE ARMY (미), EM(ENGINEERING MANUAL) 1110-1-184  
 [8] W.V.BAECKMANN & W.SCHWENK (영), HANDBOOK OF CATHODIC PROTECTION, 1975  
 [9] FRANK E. RIZZO (미), CORROSION PREVENTION BY CATHODIC PROTECTION, 1975  
 [10] 상공자원부, 전기방식 조치기준, 상공자원부 고시 제 1994-49호, 1994  
 [11] WILLIAN T. BRYAN (미), DESIGNING IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION SYSTEM, DURCO ANODES, 1980  
 [12] 부식방식협회(일), 금속방식기술편람, 기전연구소, 1993  
 [13] 일본가스협회, 가스도관 방식핸드북, 1982

### 저 자 소 개



이수홍(李秀鴻)

1960년 4월 21일생. 1983년 2월 서울시립대학교 전자공학과 졸업. 1995년 2월 연세대학교 산업대학원(전기공학전공) 졸업(석사). 1985년 7월 -현재 한국가스공사 근무. 주관심 분야: 전기 방식법 설계, 전기 계통 설계 등.



최윤식(崔潤植)

1957년 2월 12일생. 1979년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업. 1984년 5월 Case Westm Reserve University, 시스템공학과 졸업 (M.S.E.). 1987년 5월 Pennsylvania State University, University Park, 전기공학과 졸업 (M.S.). 1990년 12월 Purdue University, West Lafayette, School of Electrical Engineering 졸업 (Ph.D.). 1984년 5월 -8월 University of Illinois, Urbana-Champaign, Fusion Lab. Technical Assistant. 1984년 9월 -87년 8월 Pennsylvania State University, 전기공학과 Graduate Instructor. 1988년 1월 -90년 11월 Purdue University, School of Electrical Engineering 연구조교. 1990년 11월 -93년 2월 현대전자산업주식회사 산업전자연구소 HDTV 개발팀 책임 연구원. 1993년 3월 -현재 연세대학교 전기공학과 조교수. 주관심 분야: 산업전자기기, 영상신호처리, 컴퓨터 시각, 시스템설계 등.