

GIS연계형 지중매설 가스배관의 부식 예측시스템 개발

배 정 효 · 김 대 경 · 김 기 준*

한국전기연구소, *한국해양대학교
(2000년 9월 14일 접수, 2000년 9월 22일 채택)

The Development of GIS Interconnected Corrosion Prediction System for Underground Buried Gas Pipelines

Jeong-Hyo Bae, Dae-Kyeong Kim, Ki-Joon Kim*

KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

*Korea Maritime University

(Received 14 September 2000 ; Accepted 22 September 2000)

요 약

일반적으로 대부분의 GIS(Geographic Information System)는 단지 시설물의 지리적인 속성 정보로 위치, 관경, 길이 등의 자료만 데이터 베이스화하여 운영하고 있다. 그러나 최근 시설물 소유자들은 시설물을 안정하게 유지하기 위해 부식 정보가 중요하다는 것을 인식하기 시작하고 있다. 이에 발맞추어 대부분 대형 시설물(가스배관, 송유관, 상하수도관 등) 소유자들은 부식을 방지할 수 있는 전기방식설비(電氣防蝕設備)들을 갖추고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에는 GIS 연계형 부식예측시스템을 개발함으로써, 기존에 구축된 GIS의 활용도를 높일 뿐만 아니라 부식률을 미리 예측하여 시설물관리를 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다. 여기서 부식예측알고리즘은 세계 최초로 지중시설물에 대하여 개발한 것이며 현장적용을 통한 신뢰성확보를 하고 있는 중이다.

본 논문에서는 GIS의 부식정보 관련 D/B 구축, 방식대상물과 방식설비의 수명예측 알고리즘, 간섭해석 알고리즘에 대하여 기술하였다.

Abstract - In general, most of the GIS only deal with materials and geometric data which just include position, radius, length of the structure. Therefore it's hard to get corrosion data from it. But the one that an owner of metallic structures want to know is the integrity of the structure. Cathodic Protection System can not protect corrosion on the underground facilities perfectly but protect corrosion effectively. It therefore is necessary to monitor the facilities continually. So, we need the development of GIS interconnected a corrosion prediction system on the view point of the efficiency of operation and the protection for a big accident.

The results of the development of its system are described in this paper. It can do life prediction and interference analysis and also newest corrosion data should be updated regularly.

Key words : GIS, Life Predictoin, Interference

1. 서 론

70년대 이후 우리 사회가 산업화, 도시화되면서 대형화된 도시 기반 시설들을 갖추게 되었으며, 해마다 많은 종류의 시설물들이 급격하게 늘어가고 있다. 이러한 기반 시설중의 하나가 지중에 매설된 도시가스 배관이다. 최근 대구와 서울 아현동에서 발생한 도시가스 폭발사고⁽¹⁾는 도심지 매설 배관들의 관리에 대한 중요성을 인식시켜 주는 큰 계기가 되었다. 현재 국내의 대도시 도심지에는 도시가스배관, 상·하수도관, 송유관, 고압전력 케이블, 정보통신선로 등이 도시의 생명선 역할을 하며 도심 지하에 거미줄처럼 깔려 있다. 이 시설물의 관리 소홀로 인한 직·간접적인 손실이 연간 16조원에⁽²⁾ 달한다고 보고되고 있으며 또한 엄청난 대형사고를 불러일으킬 수 있는 위험이 산재해 있음에도 불구하고 아직도 개선되지 못한 기존의 공법으로 각종 매설 배관 공사를 하고 있다. 더군다나 이러한 시설물을 관리하는 주무 기관들이 잘못 작성된 도면을 가지고 있거나 아예 그것마저도 없는 경우가 많다. 또한 이렇게 위험한 지중 배관공사를 할 때, 전문지식이 없는 현장 인부들이 경험에 의존하여 공사를 진행하고 있는 실정이다.

최근 선진국에서는 고도의 컴퓨터그래픽과 데이터처리기술의 발달과 더불어 도시지리정보시스템(UIS: Urban Information System)과 같은 지중 매설배관에 대한 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)이 보편화되어 도시가스관 및 상하수도관 등에도 적용되고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 이와 관련된 통합기구나 GIS 개발 관련 표준화가 없는 실정이며, 따라서 매설배관의 경우, 각 시설물의 소유주가 별도로 관리함으로써 시설물 상호간에 발생하는 각종 문제를 그대로 안고 있는 실정이다. 또한 일부 개발되어 사용하고 있는 GIS에서도 상호간에 데이터 호환성이 없어 시설물의 종합적인 관리면에서 개발효과를 거의 보지 못하고 있다. 그리고 이미 개발된 GIS에는 특히 매설 배관의 안전에 주요 요소인 부식정보에 대한 속성이 포함되어 있지 못해 효과적인 매설 배관의 방식관리가 되지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 매설 가스 배관용 GIS에 부식정보를 연계하여 위치정보와 함께 정기적으로 새로운 부식정보를 분석하여

시설물의 수명예측과 간섭해석을 포함한 개선된 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 시스템 개요

본 시스템은 그림 1과 같이 기존 GIS시스템에 부식정보를 연계할 수 있도록 사용자의 필요사항, 지형도의 축적비, 속성자료의 종류, 입력방법 등 표준환경을 구축하고자 하였다. 측정단자함 (Test box)를 통해 수집된 위치 및 방식전위 등 각종 자료를 TRS(Trunked radio system) 단말기를 사용하여 매설배관 관리기관의 Server로 전달하고, 이곳에서 다시 Shape file base로 측정데이터를 인터넷이나 모뎀과 같은 통신망을 통해 전송한다. 이렇게 전달된 데이터는 부식예측 Server에서 해당 매설배관에 대한 잔존 수명예측 그리고 간섭유무를 해석한 다음 그 최종결과를 다시 매설배관 소유기관의 Server로 각각 전송하도록 구성되어 있다.

부식예측시스템 개발을 위해서 이미 상용화되어있는 여러 가지 S/W들을 조합하여 사용하였다. 먼저 GIS 소프트웨어로는 ESRI사의 ArcView 3.1⁽³⁾을 사용하였다. 이 부식예측시스템 소프트웨어의 구성은 그림 2에서 보는 바와 같이, 입체적인 공간 데이터를 생성하기 위해서 도형의 작성에 있어서 매우 간편하고 많은 사용자를 가지고 있는 AutoCad(Release 14)를 사용하였다. 그리고 모든 포맷 데이터와 액세스 기능, 지리 데이터의 갱신과 확장을 위해서 ArcView(V. 3.1)를 사용하였으며, GIS 데이터에 대한 다양한 분석 편집 기능이 있는 MapObject(V. 1.2)⁽⁴⁾와, GIS 소프트웨어의 사용을 보강하기 위한 Visual Studio(V. 6.0)⁽⁵⁾도 사용하였다. 그리고 지중 배관망의 3차원 Display가 가능하도록 VRML(Virtual reality modeling language)을 사용하였다. 또한 Visual C**을 사용하여 인터페이스, 데이터 관리 및 부식예측 알고리즘을 개발하였다. 일반적으로 GIS 분야에서 사용되고 있는 S/W들은 아래와 같다.

- AUTOCAD14

미국 AutoDesk 가 Mapping용 Package로 개발한 AutoCad14를 사용하여 기초적인 공간 데이터를 생성하였다. AutoCad14는 도형 Data의 생성에 있어 다른 package보다 쉽고 간단하며 153개국 300만 이상의 사용자를 보유한 뛰어난 호환성을 가지고 있다. 본 시스템 구축에 필요

일 포맷을 기본으로 구축하였다.

-ARCVIEW3.0

ERSI사에서 개발한 GIS 소프트웨어로써 손쉽게 사용할 수 있는 GUI 환경, 거의 모든 포맷 데이터와 액세스 기능, 지리 데이터의 갱신과 확장성 제공, 다중 플랫폼을 지원한다.

- MAPOBJECT1.1

ERSI사에서 개발한 컴포넌트 GIS 소프트웨어로써 MICROSOFT OLE2.0 표준에서 개발이 가능하며 다양한 비주얼툴(Visual Basic, Delpi, Visual Foxpro)에서 개발이 가능하며 GIS 데이터에 대한 다양한 분석 편집 기능이 제공된다.

-VISUAL STUDIO 5.0

GIS 소프트웨어의 불편한 사용자 인터페이스를 보강하기 위하여 가장 대중적인 개발 엔진인 MICROSOFT사의 모든 비주얼개발 도구가 통합된 비주얼 스튜디오5.0을 사용하였다. 위에 내장된 VisualBasic5.0을 기본으로 GIS 공간분석의 효율성을 위하여 VisualC**5.0을 사용하였으며 지하 가스배관망의 3차원 Display 구현을 위하여 Visual Java2.0을 사용하였다.

-VRML(Virtual real modeling language)

지하 가스배관망의 3차원 Disply를 위하여 인터넷 상에서의 가장 강력한 3차원 Vector 이미지를 지원하는 VRML 파일 포맷을 이용하였으며 이의 운용을 위하여 JAVA 기술과 VRML 브라우저인 MICROSOFT 사의 WORLD VIEW2.1을 사용하였다.

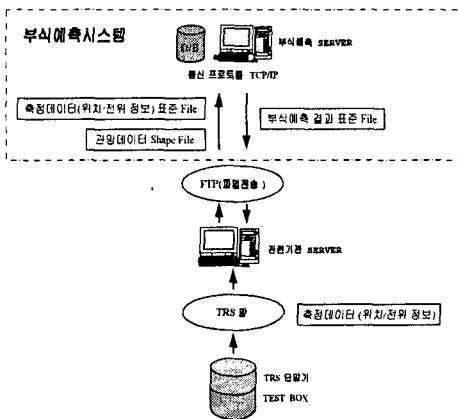


Fig. 1. Schematic of the hard ware of the corrosion prediction system

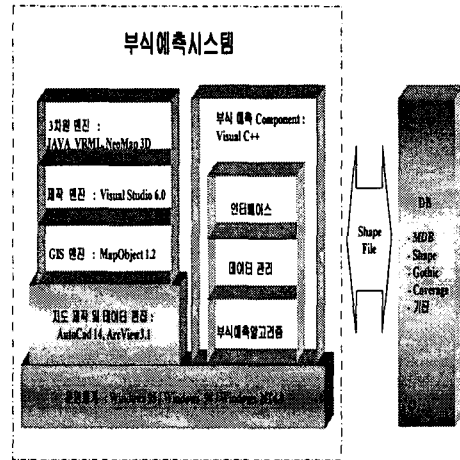


Fig. 2. Schematic of the soft ware of the corrosion prediction system

2.1. 부식 예측 시스템의 D/B 구축

부식 예측 시스템의 D/B는 실 지형도를 기초로 하였으며, ArcView에서 도형 데이터는 Shape File 기능을 이용하였고, 속성 데이터는 MDB File을 이용하였다. 부식 예측시스템의 D/B구축 과정은 Fig. 3과 같다.

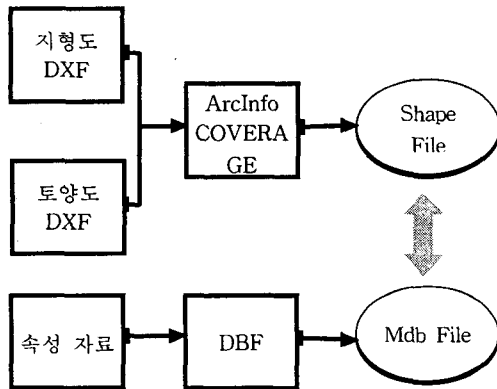


Fig. 3 Procedures of data analyses

상기 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 데이터는 수치지도와 현지조사를 통해 입력되는 기본 지형도, 시설물 탐사를 통해 입력되는 지하시설물 및 속성 데이터인 원데이터(Raw Data)를 공간조화 및 Display가 가능하도록 변환하였고, 공간 정보는 ArcView의 Shape File로, 속성정보는 Microsoft의 액세스 데이터 화일인

MDB File로 변환하였다. 또한 Shape와 MDB File 형식으로 변환하기 위하여 AutoCad사에서 호환을 좋게 하기 위해 만든 DXF형태의 지형도 및 시설도와 Eext(또는 Excel)형태의 속성자료를 각각 중간 형태의 EESRI사에서 만든 GIS 용 공간데이터 파일인 ArcInfo Coverage와 Microsoft사의 data base 파일인 DBF로 변화시킨 후 Translator를 사용하여 변환하였다.

Table 1. Base items of the data base

Name	속 성	데이 터값	비 고	Name	속 성	데이 터값	비 고
Test Box	관리번호			절연 배브	관 경		
	관리기관				설치년도		
	설치일자				연결관로	~	
	재 질			절연 joint	관리번호		
	관 경				관리기관		
	신 도				설치일자		
	P/S 전위 (mV)	최대 최소 평균			재 질		
	측정일자				관 경		
	토양비저항	($\Omega \cdot \text{cm}$)			연결관로	~	
	부식률 예상수명	(mpv)		Anode	관리번호		
					관리기관		
	정류기	관리번호			설치일자		
		관리기관			재 질		
		설치일자			관 경		
		출력전압			연결관로	~	
		출력전류		배관	출력전압		
		배류점전위	(mV)		신 도		
		방식별의 부식상태			관 경		
					표 면 적		
	관로	관리번호			관 직		
		관리기관			표 면 적		
		설치일자			부 식 륜		
		재 질					
		관 경					
		길 이					
		부 식 륜					
	가스압력	(kg/cm^2)					
	최대신도						
	최소신도						
절연배브	관리번호						
	관리기관						

2.2. 토양 비저항 D/B 구축

토양 비저항은 지하구조물이나 상하수도관, 가스관과 같은 매설 배관의 부식에 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 이들 구조물의 부식예측 및 방식설계에 있어서 없어서는 안될 주요 항목이다. 일반적인 토양이 갖는 비저항 값은 수분함량, 온도, 화학적 이온함량, 밀도, 성분의 물리적 이방성, 주파수 등에 따라 달라지므로 해당 현장을 측정하여 정확한 비저항 값을 알아야 한다. 따라서 본 연구에서는 ABEM사의 SAS 300B 토양 비저항계를 사용하여 웬

너(Wenner)와 슬럼버저(Schlumberger)배열에 의한 쌍극자⁽⁶⁾⁽⁷⁾와 수직탐사 배열⁽⁶⁾⁽⁷⁾에 의한 탐사를 병행하였다.

2.3. 부식 및 방식 정보 D/B 구축

부식 및 방식 D/B는 전기방식을 이용하여 매설가스배관을 관리하는 업체를 대상으로 설문조사 및 현장방문을 통하여 수집된 자료의 분석 그리고 표준화 검토를 거쳐 구축하였다. Table 1은 전기방식설비와 방식대상물의 수명 예측 및 간섭해석에 필요한 속성을 나타낸 것이다.

3. 부식예측 알고리즘

최근 각종 시설물(화학플랜트, 원자력 발전소, 화력발전소, 가스배관등)^{(8)~(12)}에 대한 안전성 평가와 관련해서 보다 과학적이고 체계적인 부식예측이 연구되어 오고 있으나, 전기방식 설비가 시설된 지중 매설 가스배관에 대한 구체적인 정확한 예측알고리즘을 개발한 사례는 없다. 따라서 본 연구에서는 전기방식이 시설된 가스배관에 있어서 전기방식 설비중 양극(Anode)의 출력전류를 모니터링하여 최종적으로 양극의 수명을 예측하고 부식률 측정센서의 부식률을 모니터링하여 방식대상물의 수명을 예측하고 수명에 직접적으로 영향을 주는 간섭 해석을 함으로써 실제적이고 구체적인 수식을 사용하여 부식예측 알고리즘을 세계최초로 개발하였다. 전체적인 부식예측의 알고리즘은 Fig. 4와 같다⁽¹³⁾.

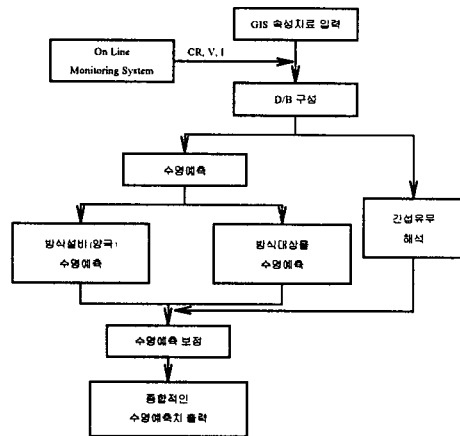


Fig. 4. Flowchart of the corrosion prediction system

3.1. 수명예측

지중시설물의 경우 타 시설물에 비해서 한번 설치하면 보수나 보강이 매우 어려우며, 보수 보강 작업을 한다 하여도 막대한 경비가 소요 되기 때문에 이를 사전에 예방하는 것이 무엇보다 중요하다. 지중시설물중 전기방식설비를 갖춘 방식대상물에 그 방식설비가 정상적으로 동작한다면 방식설비중 소모성인 희생양극이나 외부전원용 양극의 수명 평가만이 필요할 것이다. 그러나 전기방식 설비가 되어있지 않거나 작동불량 등으로 미방식 상태에 있는 시설물의 경우 시설물 자체에 대한 잔존 수명평가가 필요하다. Table 4에서 보는바와 같이 수명예측에는 방식설비(전기방식 설비중 전류를 공급하는 양극)의 수명예측과 방식대상물(가스배관 등 주로 철 구조물)의 잔존 수명예측으로 나눌 수 있다. 이들에 대해 그 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

3.1.1 방식설비의 수명예측

지하매설 배관의 부식방지를 위한 전기방식 방법에는 크게 희생양극법과 외부전원법의 두가지가 있다. 희생양극법의 경우, 희생양극의 수명계산은 식 (1)과 같다⁽¹⁴⁾.

$$Y = \frac{C_a \times W_t \times f}{I_t} \quad (1)$$

여기서, Y 는 양극의 수명[year], C_a 는 양극의 전류용량[A · y/kg], W_t 는 양극의 무게[kg], f 는 이용률(Mg양극의 경우 0.85⁽¹⁵⁾, I_t 는 양극의 출력전류[A]이다.

또한 외부전원법의 경우, 불용성양극으로 주로 쓰이는 고규소주철(High Silicon Cast Iron; HSCI)양극의 수명은 (2)와 같이 산출된다⁽¹⁴⁾.

$$Y = \frac{W \times f}{I_t \times C_r} \quad (2)$$

여기서, Y 는 양극 수명[y], W 는 양극 무게[kg], f 는 이용률(HSCI의 경우 0.5)⁽¹⁵⁾, I_t 는 발생전류[A], C_r 는 양극 소모율[kg/A · y]이다.

3.1.2 방식대상물의 수명예측

매설가스배관의 부식률은 그 토양환경하에서 단위시간당 발생하는 부식 양을 나타내며, 부식센서에 의해 측정이 가능하다. 부식률 측정 장치로부터 얻어진 데이터는 여러 가지 원인에 의한 오차를 포함하고 있다. 따라서 통계적 처리방법에 의해 오차를 줄이기 위한 상관관계 분석이 필요하다. 본 시스템에서는 Fig. 4와 같이 최소자승법을 적용하여 부식률 예측식을 유도하고, 배관의 부식여유두께를 고려하여 방식대상물의 수명을 예측하였다⁽¹⁶⁾.

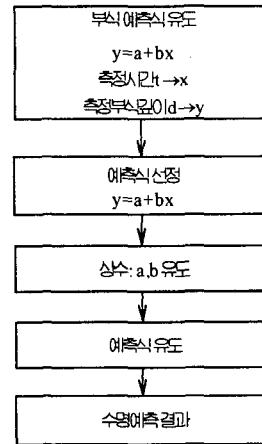


Fig. 5. Life prediction algorithm of the structure

3.2. 간섭유무 해석

간섭은 지하 매설 가스배관의 방식에 악영향을 미치는 요소로써, 근접해 있는 다른 시설물 주변의 방식전위분포를 변화시키며 때에 따라 정상적인 방식전류의 흐름을 방해한다. 이러한 간섭은 전위변화의 원인에 따라 양극간섭, 음극간섭, 합동간섭 등으로 분류할 수 있다.

본 시스템에서는 Fig. 5와 같이 전기방식의 방식방법에 따라 희생양극법과 외부전원법으로 구분하여 간섭유무를 해석하였다. 희생양극법에서는 매설가스배관의 허용전위 변화분의 차이를 계산하였고, 외부전원법에서는 이론치와 실측치의 허용전류 변화분의 차이를 계산하여 간섭유무 및 간섭종류를 판단하도록 하였다.

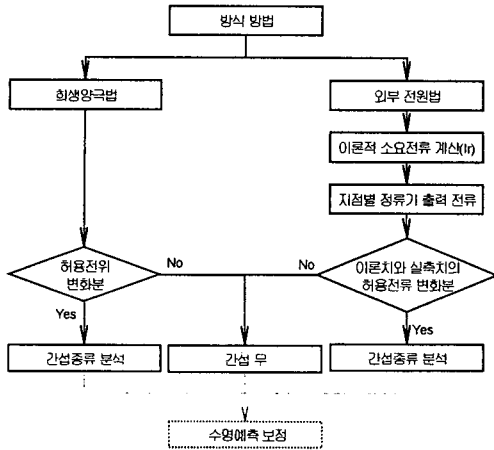


Fig. 6. Interference interpretation algorithm

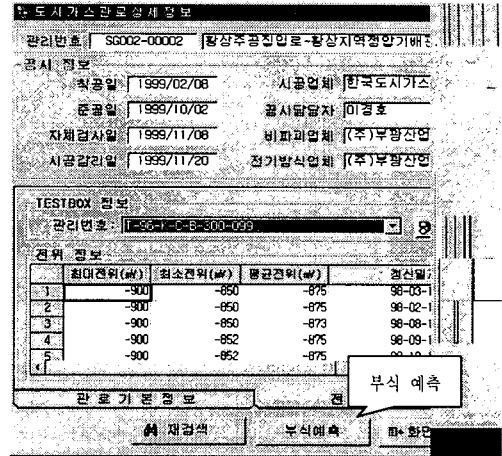


Fig. 8. Information of the selected pipeline

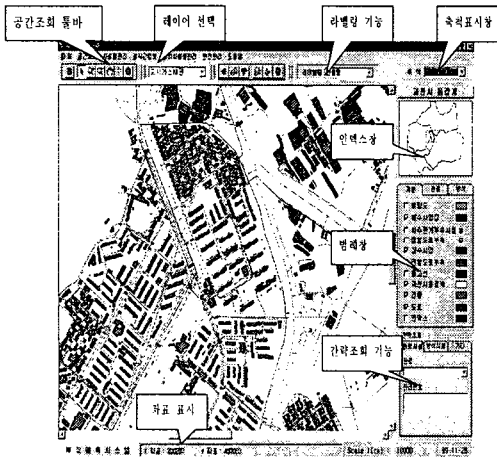


Fig. 7. Main screen of the life prediction system

4. 부식예측시스템 시작품

부식 예측 시스템의 시작품은 전술한 바와 같이 기존 GIS 시스템과 시설물의 부식에 정보를 연계할 수 있는 표준 환경을 구축하고, 토양 비저항 정보 D/B와 부식정보 D/B를 구축하고, 부식정보 분석 S/W를 개발하여 가스배관에 대한 간섭 해석 및 부식 예측이 가능하도록 하였다.

본 시스템은 기 구축된 시스템 자원의 최대한 활용을 위하여 설계 단계에서부터 다른 기종 시스템간에 데이터 호환이 가능하도록 설계하였다.

또한 부식예측시스템은 지하 시설물을 가지고 있거나 관리하고 있는 관련 회사 및 기관에 대한 사전 설문 조사를 통한 철저한 사용자 요구사항을 분석하였을 뿐 아니라 부식 예측 알고리즘을 도입하였으며, 분석 단계에서부터 기 구축된 지하시설물 시스템에 대한 시설물 관리대장 분석, 유지 점검결과표 분석 등을 통하여 세밀한 분석을 하였고 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 Top-down 메뉴방식을 채택하여 시스템을 구성하였다. Fig. 7과 8은 각각 시작품의 주메인 화면과 배관정보 검색화면이다. Fig.7에서 GIS의 지형정보는 실제로 과천시에서 구축된 자료를 사용하였다. Fig. 7에서 공간조회 툴바는 시설물의 위치, 길이 등을 조회할 수 있는 기능을 가지며, 레이어 선택은 방식대상물인 가스배관, 송유관 등을 선택할 수 있는 기능을 가지며, 라벨링 기능을 GIS의 지형정보중 건물, 행정구역 이름 등을 표시하는 기능을 가지며 축적표시항은 임의 지역을 Zoom하기 위한 영역을 표시하는 기능을 가지며, 범례창은 토양도, 등고선, 건물, 도로 등을 선택할 수 있도록 되어 있으며, 간략조회 기능은 가스배관의 임의 구간을 선택하여 개략적으로 여러 가지 공간 정보를 볼 수 있도록 한 것이며, 좌표표시는 마우스가 표시하는 시설물의 X 및 Y좌표를 나타낸다. Fig. 8은 가스배관의 임의 지점(관리번호 : SG 002-00002)에 대한 배관정보를 나타낸 것으로써 착공일, 준공일, 공사업체 등을 나타내는 공사정보와, 측정단자합 정보와 전위 정보를 나타내고 있다. 전위통보는

TRS 시스템을 이용하여 특정한 예를 입력한 값이며 통계처리되어 최대, 최소, 평균값을 표시하고 있다.

개발품의 주요 기능을 크게 나누어 보면 첫째, 아래와 같이 지하 시설물 3차원 조회가 가능하였으며,

- 시설물 정보 조회 기능
- 시설물간 최단 거리 조회 기능
- Zoom In, Zoom Out, Move, Full Extent

둘째, 아래 알고리즘을 이용하여 부식 예측을 통한 배관 교체 시기 정보조회 기능을 포함시켰으며,

- 방식대상물 수명예측 알고리즘
- 방식설비 수명예측 알고리즘
- 배관상호간 간섭분석 알고리즘

셋째, 아래의 부식정보를 원격 무선전송을 통한 On-Line 모니터링이 가능하도록 하였다.

- 부식속도, 정류기출력, 전위값 정보

4. 결 론

본 연구는 기존의 매설배관용 GIS에 부식정보를 연계하여 그 시설물의 수명예측과 전기방식 간섭해석이 가능한 부식예측 시스템의 구성과 방식설비의 양극수명과 방식대상물의 부식수명을 예측하는 알고리즘 개발에 관한 것이었다. 1차 개발연구에서 상당한 성과를 거두었다고 생각되며 계속하여 pH 등의 다양한 부식촉진인자를 고려한 부식예측 알고리즘을 보완하는 등의 기술적인 면을 보완하고, 현장에 직접 부식률 측정센서를 설치하여 이론치와 실측치간의 오차를 보완해 간다면 이러한 부식예측 시스템 개발로 인하여 막대한 경제적 손실 감소와 가스배관 등 위험한 매설배관의 안전하고 효율적인 관리에 상당히 기여할 수 있을 것으로 기대된다.⁽¹⁷⁾

참 고 문 헌

- [1] 대한민국 중앙 일간지, 1995, 4,28. 1994, 12, 7
- [2] R.A Gummow & I.R. Myers. "Cathodic Protection : Theory & Data Interpretation" NACE 1989, 10.14.
- [3] ArcView 3.1 사용자 매뉴얼
- [4] Map object V.1.2 사용자 매뉴얼
- [5] visual Studio 0.6 사용자 매뉴얼
- [6] "Earth Resistivities of canadian Soils Volume I -Main Report" Canadian Electrical Association 143T 250
- [7] D. Mukhedkar. "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", IEEE Std 81-1983
- [8] G.H.Koch, C.E.Jaske "Prediction of Remaining Life of Equipment Operating in corrosive Environments" NACE, Life Prediction of Corrodible Structures Volume II, p.672~686
- [9] T.Hirano, K.Yoshida "On Developing Status of Monitoring Techniques for Nuclear Plant Components" NACE, Life Prediction of Corrodible Structures Volume II, p.698~706
- [10] J.M.Malo, E.M.Garcia, J.Uruchurtu, A.Martinez-Villafane "Corrosion Monitoring of Regenerative Heat Exchangesrs in Oil-Fired Power Plants" NACE, Life Prediction of Corrodible Structures Volume II, p.672~686
- [11] D.Erickson, E.Buck, J.Kolts " Evaluation of Internal Corrosion for Life Prediction of a Wet Gas Pipeline" NACE, Life Prediction of Corrodible Structures Volume II, p.715~729
- [12] S.Sudoh, T.Tsuru "Corrosion Monitoring and Life Prediction on the Outer Side of the Bottom Plate" NACE, Life Prediction of Corrodible Structures Volume II, p.744~751
- [13] John Morgan, "Cathodic Protection", NACE, January 1993.
- [14] NACE Standard RP 0176-94
- [15] 한국 방식 편람 제5권, 건설교통부 p159-167
- [16] "Standard Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data", ASTM G 16-93.
- [17] "Corrosion Management Solutions", CORRDATA PLUS Manual, RCS, 1998.