

GIS를 이용한 가스관의 안전 관리시스템 개발 A Development of Gas Line Safety Management System by GIS

최병길* · 정영동** · 김영곤***

Choi, Byoung-Gil · Jung, Young-Dong · Kim, Young-Kon

要 旨

GIS는 많은 양의 도형자료와 문자자료를 통합·관리·분석하는 시스템으로 복잡한 네트워크를 형성하고 있는 도시의 지하매설물을 관리하는데 적합한 시스템이다. 가스관의 안전도 관리 시스템은 가스관과 지형자료를 데이터베이스화하고 여기에 가스관의 안전도를 모델화 하여 이들에 대한 안전상태를 수치로 평가할 수 있는 시스템이다. 본 시스템에서는 가스폭발의 피해영향권에 대한 도면 출력 시스템을 구축, 가스폭발에 의한 피해영향을 쉽게 추정할 수 있도록 하였다. 가스관이 파괴될 경우, 잠금대상 밸브 및 가스공급 중단 시설물에 대한 추적기능을 구축하였으며 또한 안전사고시 신속하게 대응할 수 있는 응급정보 조회 기능을 구현하였다. 마지막으로 지하매설물 현황과 공사 현황을 출력하여 각종 공사시 초래될 수 있는 사고를 방지할 수 있는 공사관리 기능을 구축하였다.

ABSTRACT

GIS is the system that has ability of integrating, managing, and analyzing the voluminous graphic and text data, which is adequate system to manage complex network of the underground utilities of urban area. A development of gas line safety management system is accomplished to construct a database of gas line network and topographic data, create safety managing model, and estimate openly its safety by GIS. This system is designed to evaluate easily the damaged facilities in case of gas line explosion by the establishment of the geographic output system. It is designed to trace and present efficiently closed valves and interrupted facilities of gas when gas line breakage occurs, and offer the information by which one can take quickly emergency. And also, it is constructed to prevent from accident occurring under construction work by showing underground utilities and states of work.

1. 서 론

급속한 산업발달 및 무분별한 도시지하공간 개발은 지하에 무엇이 어디에 매설되어 있는지를 체계적으로 관리할 수 없었으며, 이로 인한 도시 지하매설물은 사고 위험을 항시 수반하고 있는 실정이다.

다양한 형태의 데이터를 저장, 검색, 처리, 분석할 수 있는 기능을 가진 GIS는 1980년 이후 컴퓨터의 발달과 함께 많은 분야에서 급속도로 확산되어 실용화되고 있다. GIS는 특히 많은 양의 도형자료와 문자자료를 통합, 관리, 분석하는 시스템으로 복잡한 네트워크를 형성하고 있

는 도시의 가스관을 관리하는데 적합한 시스템이다.⁴⁾⁹⁾

본 연구의 목적은 가스관의 효율적인 데이터베이스 구축 방안 및 폭발의 정량적 위험성 평가 모델을 연구하고 GIS를 이용하여 가스관의 안전 관리 시스템을 개발하는데 있다.

본 시스템은 크게 가스관의 안전도 평가 부분과 관리 부분으로 나누어지며 안전도 평가 부분은 가스관의 폭발에 의한 피해영향을 추정하는 부분이고 관리 부분은 가스관을 관리하는데 필요한 전반적인 정보를 제공하는 부분이다.

본 연구에서 채택한 가스관 폭발의 정량적 위험성 평가 모델은 구멍지름, 온도, 배관압력, 누출시간, 피해정도를 입력하여 폭발에 의한 영향거리를 구하는 모델이다. 본 모델을 시스템에서 효과적으로 구현하기 위하여 시설의 특성에 따른 인덱스를 만들었다. 이 모델과 가스관의

*인천대학교 토목공학과 부교수

**조선대학교 토목공학과 교수

***조선대학교 토목공학과 박사과정

관리를 담당하고 있는 가스공사의 업무를 고려하여 시스템 구현을 위한 데이터베이스를 설계하였으며 연구된 모델과 설계된 데이터베이스를 바탕으로 프로토타입의 안전 관리시스템을 개발하였다. 본 시스템의 안전도를 평가하기 위한 모듈로 피해요소 평가시스템을 구현하였고, 가스관의 효율적인 관리를 위한 모듈로 제원별 출력 시스템, 피해요소 추적시스템, 응급정보 조회 시스템, 공사 관리시스템을 구현하였다.

본 연구는 미국 ESRI사의 ARC/INFO를 주 개발 도구로 사용하였으며 본 연구의 기초 데이터는 창원시에서 구축한 것을 사용하였다. 또한 필요한 경우 데이터를 가공하거나 직접 입력하였다.⁷⁾

2. 정량적 위험성 평가 모델 및 데이터베이스 설계

2.1 가스폭발의 정량적 위험성 평가 모델

한국가스안전공사에서 발행한 ‘가스사고연감’에 의하면 가스사고 원인은 위의 표 1과 같다.⁸⁾

표 1에서 보는 바와 같이 가스관의 경우 수도관의 경우와는 달리 관 자체의 노후도에 의한 파괴는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 가스관의 경우 관 자체의 노후도 평가보다는 관의 파괴시 피해요소 추적 및 그 영향 정도의 추정에 중점을 두었다.

본 연구에서 사용한 모델의 기본 이론은 다음과 같다.

2.1.1 구멍을 통한 증기의 유출량 계산

흐르는 액체의 경우 운동에너지 변화는 무시할 수 있고 밀도 등 물리적 특성은 일정하다. 그러나 흐르는 가스나 증기에 대해서는 이 가정은 단지 작은 압력변화($P_1/P_2 < 2$)와 낮은 속도($< 0.3 \times$ 가스 중 소리의 속도)에 대해 가능하다. 가스나 증기 내에 압력의 형태로 존재한 에너지는 구멍을 통해 누출될 때 운동에너지로 변환된다.

안전 측면에서는 구멍을 통한 최대 유출량이 중요하다. 이상기체에 적용했을 때 최대 유출은 다음 식에 의

하여 계산된다.

$$(Q_m)_{choked} = C_o A P_o \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)}}$$

여기서 M : 방출가스나 증기의 분자량

R_g : 이상기체상수

C_o : 방출계수

γ : 비열비

T_o : 켈빈 온도

A : 관의 단면적

P_o : 배관압력

2.1.2 피해영향 산정

폭발로부터 발생하는 구조학적인 손실은 폭발로 생긴 순간적인 과압을 계산함으로써 예측할 수 있으며 이에 대한 데이터를 표 2에 나타내었다.

피해 거리는 개방 공기 중 폭발(free air explosion)의 경우로 계산상의 과정은 조절된 TNT의 같은 양을 비교하여 계산된 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$m_{TNT} = \left[m_c \times \frac{\Delta H_c}{1115} \times \eta \right]$$

여기서 m_{TNT} : TNT 당량(kg),

ΔH_c : 최소 연소열(kcal/kg),

η : 폭발효율

m_c : 누출된 가스량(kg)

표 2. 폭발 초과압력에 의한 구조물의 피해

과압 (psig)	예상 피해
0.03	Occasional breaking of large windows already under stress
0.10	Breaking of small windows under strain
1.0	Partial Demolition of houses ; made uninhabitable
5.0-7.0	Nearlu complete destruction of houses

표 1. 사고원인별 사고현황

구분	사용자취급 부주의	취급자 취급 부주의	불량제품 사용	제도적 결함	시설 미비	불법	고의	기타	합 계
LPG	98	33	46	1	60	9	33	8	288
도시가스	18	91	20	3	120		4	8	264
일반가스	9	7	2		5			2	25
합계	125	131	68	4	185	9	37	18	577

주어진 과압에서의 거리는 미국 육군에서 사용하는 환산거리와 과압에 대한 관계그래프를 적용하여 만든 다음식을 이용하였다.

$$X = m_{TNT}^{1/3} \exp(3.5031 - 0.7241 \ln(O_p) + 0.0398(\ln O_p)^2)$$

여기서, X : 주어진 과압에서의 거리(ft),

O_p : 폭발 과압(psi)

본 연구에서는 대표적인 몇 개의 과압을 선택하여 피해거리를 계산한 후 피해를 입는 시설물들을 각 과압에 따라 출력하고 통계값을 추출하는 작업을 수행하였다. 피해거리 산정에 사용되는 인자들 중 LNG의 특성에 관계되는 상수들은 시스템 내부변수로 처리되었으며, 나머지 온도, 배관압력, 과압, 파손직경, 가스누출시간 등 상황에 따라 변화하는 변수는 사용자가 평가작업을 할 당시의 조사값을 직접 입력하게 하였다.

본 방법은 가스관의 파손시 가스폭발의 정량적인 위험성을 미리 파악할 수 있고, 가스폭발 후에 그 피해정도를 빠르게 예측할 수는 있으나 예방차원의 접근이 아니어서 무의미한 시스템이 될 가능성이 있다. 각 가스관의 센서와 연결되면 압력이 변하는 가스관을 체크하여 누출된 가스의 양을 알아낸 후 피해의 범위를 출력하여 피해 예상 건물에 통보가 가능한 시스템이 만들어지면 매우 유용하리라 생각된다.

2.2 데이터베이스 설계

본 시스템을 구현하기 위한 데이터베이스는 주로 창원시에서 구축한 것을 사용하였고 필요한 경우에는 직접 입력, 제작하였다. 그리고 각 기능을 효과적으로 실행시킬 수 있도록 선정, 설계되었으며, GIS의 장점을 최대한 살릴 수 있도록 인덱스화 하였다. 데이터베이스 설계는

연구에 사용할 GIS 툴의 종류에 따라 달라지게 되므로 툴에 적합한 데이터베이스 포맷을 연구하는 것이 중요하다. 본 연구에서 사용한 GIS 툴은 ESRI의 ARC/INFO이며 모든 데이터베이스는 ARC/INFO에 적합하도록 설계되었다. 그림 1은 가스폭발에 의한 피해영향 거리를 구하기 위한 과정이며 가스폭발의 피해영향 거리 안전도 평가를 위한 데이터베이스 설계는 아래의 과정에 의거하여 이루어졌다.

본 연구에서는 창원시에서 구축한 도곽, 지형평면(건물, 실폭도로, 도로구조물), 도로망(도로중앙선, 교차로), 지적, 가스시설(가스관, 가스관련시설) 레이어를 사용하였으며 레이어에 따른 속성테이블 외에 참조테이블을 설

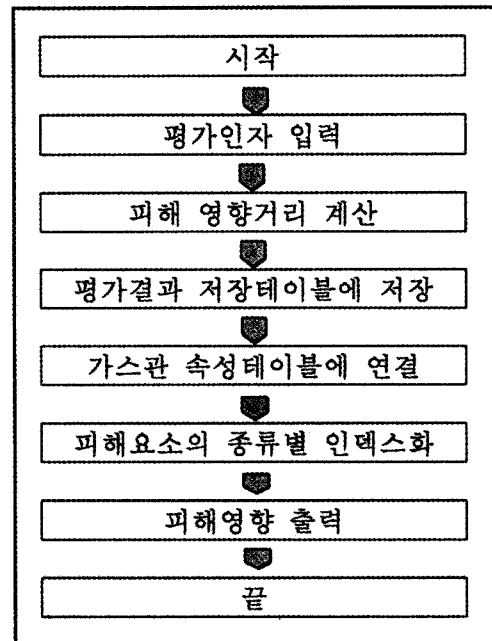


그림 1. 피해영향 거리 추정 진행도

표 3. 피해영향 거리 저장테이블

번호	항목명	항목	형식(길이)	Key	Null	비고
1	ID	속성테이블 연결을 위한 코드	B(4)	P	N	
2	YEAR	실행 일자	C(4)		N	
3	A0	구멍지름	F(8)		N	
4	B0	현재온도	F(8)		N	
5	C0	배과압력	F(8)		N	
6	D0	누출시간	F(8)		N	
7	E0	피해정도	F(8)		N	
22	DISTANCE	피해거리	F(8)		N	

표 4. 참조테이블 설계

· 관중별 분류를 위한 테이블						
번호	항목명	항목	형식(길이)	Key	Null	비고
1	KNJONG	관중분류코드	C(8)	P	N	
2	SYMBOL	십불종류	I(3)		N	
· 지하내설물 구분 표기를 위한 테이블						
번호	항목명	항목	형식(길이)	Key	Null	비고
1	ALL	지하매설물분류코드	C(40)	P	N	
2	SYMBOL	십불종류	I(3)		N	

계하였다.

확장테이블은 관로의 노후도를 평가하고 평가 결과로 작성되는 결과 데이터를 연속적으로 보관하도록 ARC/INFO의 INFO 모듈(Module)을 사용하여 작성하였다. 표 3은 피해 영향 거리 출력을 위한 저장테이블이다.

참조테이블은 도면을 출력하는데 있어 색상이나 십불을 효과적으로 표현할 수 있도록 표시하는데 사용함으로써 작업의 효율성을 높인다.⁶⁾ 본 연구에서 설계, 작성한 참조테이블을 위한 테이블 등이 있으며, 관중별 분류는 관중별, 관경별, 지하매설물의 구분 표 테이블과 지하매설물의 구분 표기를 위한 테이블 등이 있으며, 관중별 분류이블을 표 4에 나타내었다.

3. 가스관 안전도 관리 시스템

3.1 시스템의 구현

본 시스템은 크게 6개의 세부 시스템으로 나누어져 있으며 각 시스템은 다시 2~7개의 모듈 시스템으로 구성되어 있다. 각 모듈별 시스템은 가스관을 관리하고 있는 실무자가 업무에 직접 적용할 수 있는 항목 위주로 구현하였다.

3.1.1 피해요소 평가 시스템

피해요소 평가 기능은 피해거리를 결정하는 인자를 입력하여 과압에 따른 피해거리를 계산하고 버퍼기능을 통하여 계산된 거리내의 건물을 선택한 후 각 건물의 중요도 및 용도를 Index로 구분하여 출력하는 기능으로 사전 평가와 사후평가 기능이 있다.

3.1.2 제원별 출력 시스템

제원별 출력 시스템은 관중, 관경, 매설년수등으로 분류된 도면을 출력하는 시스템이다.

관중별 출력 시스템은 각 관의 종류에 따라 인덱스를

출력하고 전체관의 속성을 보여주는 시스템이다. 또한 이 시스템에서는 각 관마다 고유의 번호를 출력시켜 속성을 참조하고자 하는 관과 연계할 수 있도록 하였고, 참조테이블을 설계, 작성하여 가스관 커버리지에 연결시켰다.

관경별 출력 시스템은 각각 지름으로 관을 분류하여 출력하는 시스템으로 참조테이블을 설계, 작성하였다. 참조테이블은 가스관 커버리지에 연결되어 있다. 그림 3은 관중별 출력 화면이다.

3.1.3 응급정보 조회 시스템

피해요소 추적 시스템에서는 어느 지점의 가스관이 파괴되었을 경우 밸브를 잠가야 할 위치를 나타내 주고, 밸브를 잠갔을 경우 가스의 공급이 차단되는 관로 구간과 해당 건물 등을 표시하고 피해 요소들에 대한 속성을 보여준다.

잠금대상 밸브 출력 시스템은 가스관 사고시 잠가야할 밸브를 검색하는 시스템으로 밸브의 위치를 잘 나타내기 위하여 주변 건물의 이름을 동시에 출력하였다. 이 시스템의 구현을 위하여 가스관의 밸브 지점을 일정 반경으로 나눈후 ARC/INFO의 네트워크 기능을 이용하였다.

공급중단 건물 출력 시스템은 가스관 사고시 단수가 되는 건물을 그 속성과 함께 출력하는 시스템으로 각 건물마다 고유의 번호를 출력하여 건물과 그 속성값을 연계할 수 있게 하였으며 속성값으로 건물의 주소와 전화 번호를 출력하여 공급 중단시 각 건물마다 연락을 쉽게 할 수 있도록 고려하였다. 이 시스템의 구현을 위하여 본관에서 가정으로 공급되는 관의 레이어를 생성하였으며, 각 건물의 추적은 공급 중단이 되는 지역내의 가정 공급 관 레이어와 겹쳐지는 건물을 추적, 출력하였다. 그림 4는 공급 중단 건물을 출력한 화면이다.

3.1.4 응급정보 조회 기능

응급정보 조회 시스템은 가스관 사고가 발생한 경우

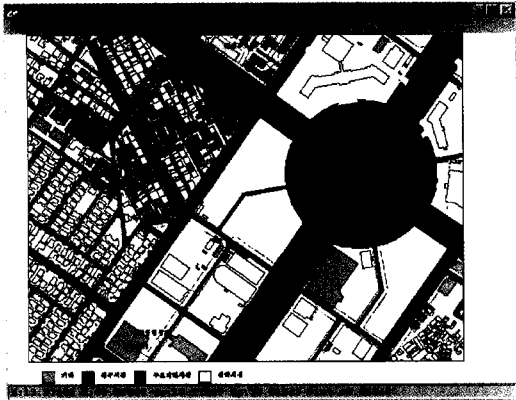
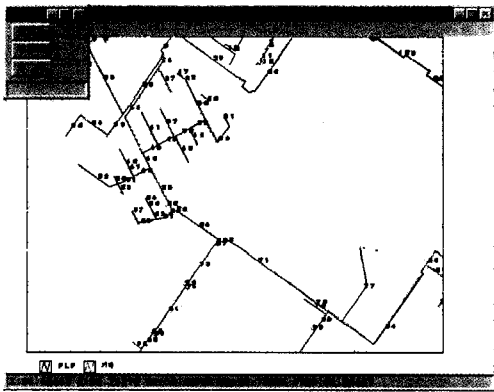


그림 2. 인덱스를 이용한 피해시설 검색 화면(사진평가)



Record	Seq	Address	Damage	Area	Level
914	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
965	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1056	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1096	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1149	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1242	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1482	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1520	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도
1627	555-5555	충청남도	충청남도	177	충청남도

그림 4. 공급중단건물 출력화면



Record	Seq	Address	Damage	Area	Level
1	P.F.P	200	133 23	2 50	2 50
2	P.F.P	300	122 00	1 50	1 50
3	P.F.P	50	51 53	1 20	1 20
4	P.F.P	50	51 53	1 20	1 20
5	P.F.P	50	25 80	1 20	1 20
6	P.F.P	0	5 64	0 00	0 00
7	P.F.P	100	49 29	1 20	1 20
8	P.F.P	100	71 96	1 40	1 40
9	P.F.P	200	61 30	1 30	1 30
10	P.F.P	100	43 03	1 20	1 20
11	P.F.P	100	49 89	1 20	1 20
12	P.F.P	0	12 05	0 00	0 00
13	P.F.P	150	36 43	1 20	1 20
14	P.F.P	150	28 40	1 20	1 20
15	P.F.P	150	193 29	0 00	2 00
16	P.F.P	50	37 29	1 20	1 20
17	P.F.P	0	1 42	0 00	0 00
18	P.F.P	200	133 23	2 50	2 50
19	P.F.P	100	42 39	1 20	1 20
20	P.F.P	200	327 03	1 60	1 60
21	P.F.P	80	20 09	1 20	1 20
22	P.F.P	0	2 44	0 00	0 00
23	P.F.P	200	122 40	1 20	1 20
24	P.F.P	150	210 43	1 50	1 50
25	P.F.P	80	30 79	1 20	1 20
26	P.F.P	150	155 19	1 50	1 50
27	P.F.P	80	53 60	1 20	1 20
28	P.F.P	80	40 30	1 10	1 10
29	P.F.P	150	135 13	1 20	1 20
30	P.F.P	150	143 79	1 20	1 20
31	P.F.P	0	2 49	0 00	0 00
32	P.F.P	80	67 01	1 20	1 20
33	P.F.P	80	34 38	1 20	1 20
34	P.F.P	100	72 00	1 20	1 20
35	P.F.P	80	34 79	1 20	1 20

그림 3. 관종별 출력화면

이름	충청남도
주소	충청남도 100 : 204
전화번호	(TEL) 555-5555 (FAX) 555-4444
이름	충청남도
주소	충청남도 100 : 204
전화번호	(TEL) 555-5555 (FAX) 555-4444
이름	충청남도
주소	충청남도 100 : 204
전화번호	(TEL) 555-5555 (FAX) 555-4444

그림 5. 방재기관 조회 화면

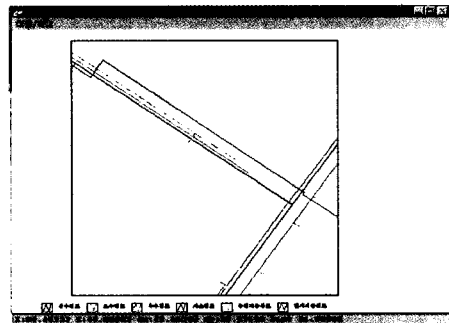


그림 6. 매설물 현황 출력 화면

신속한 복구를 위한 유용한 정보를 제공하는 시스템으로 가스공사 조회, 방재기관 조회, 의료시설 조회등의 정보를 제공한다.

이 시스템은 가스관 파손시 신속한 복구를 위하여 연락을 하여야 할 기관들을 조회하는 시스템이다. 각 시스템의 속성 정보는 건물 레이어의 속성 테이블에 넣지 않

고 별개의 텍스트 파일을 작성하여서 쉽게 속성 정보를 수정할 수 있도록 하였다. 그림 5는 방재기관을 조회한 화면이다.

3.1.5 공사 관리 시스템

공사 관리 시스템은 매설물에 영향을 미치는 공사를 관리 하기 위한 시스템으로 매설물 현황 및 건설공사 현황 출력 시스템으로 구성되어 있다.

매설물 현황 조회 시스템은 공사를 착공하기 전에 공사 대상지역에 대한 매설물의 현황을 보여 줌으로써 굴착시 매설물의 파손을 방지하기 위한 시스템으로 각 매설물을 인덱스로 구분하여 출력한다. 이 시스템의 구현을 위하여 별도의 확장테이블을 작성하였으며 그림 6은 매설물 현황을 출력한 화면이다.

건설 공사 현황 조회 시스템은 현재 시공되고 있는 공사현장 및 공사내용을 출력하는 시스템으로 가스공사 등에서 공사에 의한 가스관의 파괴 등을 감시, 관리할 수 있도록하는 시스템이다. 이 시스템의 구현은 모든 가스관은 도로 밑에 있다는 것에 착안하여 도로의 속성테이블에 공사와 관련된 정보를 입력하였다.

3.1.6 화면 조정 시스템

화면조정 시스템은 화면상에 출력된 그래픽을 사용자의 필요에 의하여 조정하는 시스템으로 확대, 축소, 다시 그리기, 지우기, 이동, 부분확대, 전체화면 등으로 구성되어 있다.

3.2 시스템 분석

본 시스템과 현재 가스공사 및 도시가스회사에서 적용하고 있는 안전 관리 방법과의 비교에 의한 유용성을 살펴보면 다음과 같다.

3.2.1 피해요소 사전, 사후평가

현재 가스공사 및 도시가스회사에서는 가스폭발에 의한 피해를 산정하는 방법으로 사고후 조사에 의한 방법 외에는 별다른 방법이 없는 실정이다. 본 시스템에서 개발한 피해요소 평가 기능은 그 피해를 정확하게 추정하는 모델이 개발되어 센서와 연결되면 사전피해를 막을 수 있음은 물론, 사후에 신속한 복구를 하는데 유용할 것이다.

3.2.2 공급중단 건물 추적

현재 가스공사나 도시가스회사에서는 공급 중단이 예상되는 지역에 대하여 사전에 홍보를 하고 있으며 홍보 방법으로 각 가정에 방문이나 전화를 통해서 하는 경우

도 있으나 거의 대부분은 대상지역에 대하여 방송매체나 동사무소의 앰프를 통하여 알리고 있다.

그러나 후자의 경우 대상지역에 포함되어 있는 가정도 관망의 구성에 의하여 공급 중단이 되지 않거나 대상지역이 아니어도 공급 중단이 되는 경우가 있어서 각 가정에 불필요한 준비를 하게 하거나 미처 대비를 못하여 어려움을 겪는 가정을 발생하게 하는 등 문제점을 나타내었다. 그러나 현재의 여건상 모든 가정에 전화나 방문으로 홍보를 하기는 시간적, 인적 차원에서 어려운 실정이다. 이 시스템을 사용할 경우 많은 시간과 인적 노력을 절약할 수 있으며, 특히 홍보를 하여야할 가정이 많을 경우 그 효과는 더욱 클 것이다.

3.2.3 공사관리

현재 가스공사 및 유관 기관에서 가스관의 매설, 갱생, 보수 등을 위하여 도로 굴착을 해야 할 경우에는 우선 구청 건설과의 건설행정계의 허가를 받아야 한다. 허가를 받기 위해서는 망도를 복사하여 한국전력, 상수도 사업본부와 같은 지하매설물 관리 기관과 협의를 해야만 하고 승인이 난 후에도 지하매설물 관리 기관의 현장입회가 있어야 한다. 이러한 복잡한 과정은 지하매설물을 통합 관리하는 기관이 없기 때문이다. 그러나 이 시스템의 지하매설물 현황 조회와 같은 모듈을 지하매설물을 통합 관리하는 기관이 갖추고 있다면 위에서 언급한 허가 과정의 상당수를 줄일 수 있을 것이다. 그리고 이 시스템의 공사현황 조회 모듈은 공사지역에 매설된 가스관에 특별한 주의를 기울일 수 있도록 하므로써 공사에 대한 안전도를 확보할 수 있도록 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 신속, 정확하고 효율적인 가스관의 관리를 위하여 GIS를 이용, 비전문가라 할지라도 안전도에 대한 사전지식만 있으면 누구나 쉽게 사용할 수 있는 프로토타입의 안전 관리 시스템을 개발하였다.

1. 본 시스템은 가스관 폭발에 의한 피해영향을 신속히 파악할 수 있게 하였고 건물의 중요도에 대한 인덱스를 사용함으로써 사고시 효율적인 대처를 가능케 하였다.

2. 본 시스템은 가스관의 파손시 잠금대상 밸브 및 공급중단 건물을 자동으로 추적하고 대상 건물과 관련기관에 대한 위치와 속성 정보를 출력시킴으로써 정확하고 신속한 응급 처리를 할 수 있도록 하였다.

3. 본 시스템은 지하매설물 현황을 제공함으로써 각종 공사시 유발될 수 있는 지하매설물의 파괴를 방지할 수 있도록 하였다. 또한 건설 공사 현황을 조회하여 공사 현장 주위에 매설된 가스관의 안전도를 확보할 수 있도록 하였다.

4. 본 시스템은 가스관의 각종 제원별로 도면과 속성을 동시에 출력시킴으로써 기존의 도면과 대장을 따로 관리하는 경우보다 신속하고 효율적으로 가스관을 관리할 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. 김영균, 조윤숙, “지하매설물 관리체계 설계 및 운영방안 연구”, 국토개발연구원, 1996.
2. 김재영, 신동빈, “지하매설물관리체계 개발계획”, 국토개발연구원, 1996.
3. 이정우, “지리정보시스템을 이용한 도시가스시설의 정량적 위험성 평가”, 광운대학교 화학공학과 석사논문, 1997. 12.
4. 장영희, 김은영, “서울시 지리정보시스템 구축에 관한 연구”, 서울시정개발연구원, 1993, pp. 15-20.
5. 한국가스공사, 가스사고연감, 1995.
6. 한진지리정보, “항공사진측량에 의한 도로관리 종합정보 시스템 구축 데이터베이스 설계 보고서”, 창원시, 1995, pp. (2-18) -(2-222).
7. Christopher, J., “Geographic Information System and Computer Cartography”, Longman Singapore Publisher, 1997, pp. 82-92.
8. Environmental Systems Research Institute, Inc., Understanding GIS, 1994.
9. Fung, T., Lai, P. C., Lin, H., and Yeh, A. G., GIS in ASIA, GIS Asia Pacific, 1996, pp. 139-149.