



가스관 굴착사고 예방을 위한 RFID 인식기술의 적용성 연구

한상욱 · 박수리 · [†]김병직

송실대학교 화학공학과

(2011년 10월 28일 접수, 2012년 3월 6일 수정, 2012년 3월 6일 채택)

RFID Applicability Study to Prevent the Third Party Accident of LNG Pipe Line

Sang-Wook Han · Su-Ri Park · [†]Byung-Jick Kim

Dept. of Chemical Eng., Soongsil University, Seoul, Korea

(Received October 28, 2011; Revised March 6, 2012; Accepted March 6, 2012)

요 약

국내의 경우 연평균 22건의 지하 가스관사고가 발생하며 그중 5 건이 외부 굴착공사에 기인한다. 삼자 굴착사고로 인한 가스관 폭발사고의 예방을 위한 방안으로, RFID인식 기술의 적용에 대하여 연구하였다. 지상에서는 RFID는 원거리 인식이 가능한 장점으로, 물류 및 자재관리 등 다양한 분야에 널리 이용되고 있지만, 지하에서는 인식거리의 제한으로 연구 및 적용 사례는 거의 없다. 본 연구에서는 지하에서 투과율이 비교적 높은 900 MHz대역의 주파수 리더기로 지하에 매설되어있는 RFID Tag의 안정적인 인식거리 및 적용법을 연구하였다. 실제 가스관이 매설되어 있는 조건과 유사하게 흙, 콘크리트 5 cm+흙, 그리고 지중수에 Tag를 묻고, 지상에서 RFID 리더기로 최대 및 가능 인식 거리를 측정하였다. 안정적인 인식 거리는 사전 사고 예방이 가능한 거리로 볼 수 있는 50, 45, 25 cm로 나왔다. 더하여 시제품 중에서 24 byte 정보를 담을 수 있는 Tag에 효과적으로 필요한 정보를 넣는 방법을 제안하였다. 본 연구결과는 RFID인식기술의 지하 가스관 적용은 가스 사고를 예방할 수 있을 뿐 아니라 가스관 관리에도 도움을 줄 수 있음을 나타낸다.

Abstract - According to the last 5 year statistics of KGS, there occurred 22 under ground gas pipe accidents per year in Korea. And about 5 accidents per year were caused from the third party digging. IT recognition technique could reduce such underground gas accidents. Among IT recognition technique, RFID is most popular. In the air, RFID were applied to various fields including the distribution industry, but underground condition, the research and application cases of RFID were little. This research was undertaken to see the applicability of RFID to underground gas pipe safety. By use of 900 MHz RFID reader and commercial metal tag, the stable recognition distance was measured in the similar underground condition of LNG pipe. Stable recognition depth of RFID tag were measured to be 50, 45, 25 cm in the medium of soil, 5 cm-thick-concrete+soil, and water respectively. The measured distances were considered to be the meaningful distance to prevent the gas pipe accidents. Also the efficient ways to input the required gas pipe data to the 24 byte metal tag were proposed. Application of RFID to underground LNG supply system will not only reduce the gas accidents due to third party digging but also improve the gas line maintenance efficiency.

Key words : under ground gas pipe accident, 900 MHz RFID, stable recognition distance, third party digging, LNG supply system

[†]교신저자:bjkim@ssu.ac.kr

I. 서론

지하에 매설된 가스관의 파손은 가스 누출로 이어지고, 그 결과 치명적인 폭발사건을 야기 시킬 수 있다. 대표적인 예로 1994년 12월 서울 마포구 아현동 시민공원 부근 지하철 공사장에서 하수관 파쇄작업을 하던 포클레인 기사가 하수관 바로 밑에 있던 가스관을 포클레인으로 잘못 건드려서 가스관이 파열돼 폭발사고가 일어났다. 이 사고로 인해 시민 12명이 사망하고 1명이 실종되었으며, 65명이 부상당했고 이재민이 600여명 발생했다. 그리고 200여 평의 공원에는 벤치 등 각종 시설물이 형체도 찾아볼 수 없었다.

다른 사건으로는 1995년 4월 대구 상인동 지하철 1호선 제1~2구간 공사장에서 일어난 폭발사고이다. Fig. 1에서와 같이 지하철 인근 백화점 신축공사장에서 기초공사를 위해 천공작업도중 그 부근을 지나던 지름 100 mm의 가스관을 파손했다. 가스관으로부터 새어나온 가스가 하수관을 타고 인근 지하철 공사장으로 흘러들어 피었다가 폭발한 사건이다. 이 사고로 인해 220명의 사상자와 차량 150여 대가 파손되고, 주택, 건물 등 80여 채가 파괴되어 총 600여 억원의 손실을 일으킨 끔찍한 사고가 일어났다.

두 사건 모두 가스관 공사와 별도의 굴착공사를 하다가 지하에 매설되어있는 가스관을 파손시켜서 발생한 대형 사고들이다. 굴착공사 관계자가 사전에 가스관의 위치 및 깊이를 정확하게 알고 있었다면 사고를 예방할 수 있었을 것이다. 설계도면이 관계당국에 보관되어 있지만, 공사 현장에서 별도의 시공자가 설계도면을 구하여 가스관의 위치 및 깊이를 파악하는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 더하여 설계

도면상의 위치와 실제 매설된 관의 위치와는 편차가 존재할 수 있기 때문에 정교하게 안전한 굴착지점을 파악하는 것은 더욱 어렵다. 따라서 굴착공사 시 가스관을 인식할 수 있는 지하매설물에 대한 새로운 IT 기반 인식기술의 응용이 필요하다.

바코드, QR코드, 그리고 RFID와 같은 IT 인식기술은 환경, 안전, 및 대중교통, 그리고 물류사업 등에 매우 다양하여 사용되고 있다. 그러나 대부분의 경우 적용은 공기를 매체로 하는 지상시설물로 제한되며, 흙, 콘크리트, 모래 및 물 등을 매체로 하는 지하에 있는 시설물에 대한 적용은 거의 없다. 지하 매설물을 인식하기 위하여 바코드 및 QR코드 기술은 매체를 짚은 거리도 통과하지 못하기 때문에 적용이 불가하며, 지하 매체를 통과하는 RFID 기술만이 가능성이 존재한다[1].

따라서 본 연구는 RFID 인식기술의 지하 시설에 대한 적용성을 알아보기 위하여 이루어 졌다. 본 연구에서는 지하에서 투과율이 비교적 높은 900 MHz 대역의 주파수 리더기로 지하에 매설되어있는 RFID Tag의 안정적인 인식거리 및 적용범을 연구하였다. 실제 가스관이 매설되어 있는 조건과 유사하게 흙, 콘크리트 5 cm+흙, 그리고 지중수에 Tag를 묻고, 지상에서 RFID 리더기로 최대 및 가능 인식 거리를 측정하였다. 더하여 24 byte 정보를 담을 수 있는 시제품 Tag에 효과적으로 필요한 정보를 넣는 방법을 제안하였다.

II. 이론

2.1. 지하에 매설되어 있는 관 및 케이블, 그리고 가스 굴착 사고

도시의 주요도로에는 많은 공급선과 케이블 등이 매우 근접하게 묻혀있다. Fig. 2는 지하 공급선과 케이블이 복잡하게 묻혀 있는 단면도를 나타낸다.

대부분의 시설물은 지하 120-180 cm 사이에 묻혀 있다. Table 1은 공급 선 및 케이블의 종류와 범으로 정해진 매설깊이 그리고 타 시설물과의 이격 거리를 나타낸다.

Table 1에서 보는 바와 같이 송유관은 1.8 m 이상, 다른 관들은 1.2 m 이상으로 규정짓고 있다[2]. 송유관을 제외하고 다른 관들은 매우 근접하게 묻혀 있다. 따라서 굴착공사시 지하시설 물을 파손할 위험이 존재한다. Table 2는 가스안전공사에서 조사한 가스사고 통계이다.

2006년에서 2010년까지 5년 동안, 국내에서 24건의 외부굴착공사에 기인한 가스사고가 발생하였다. 그것은 전체사고의 가장 큰 원인이며 전체의 약

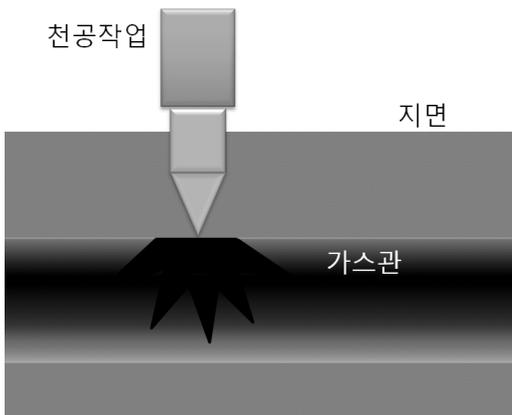


Fig. 1. A gas explosion of Daegu subway.

22%에 해당된다[3-4].

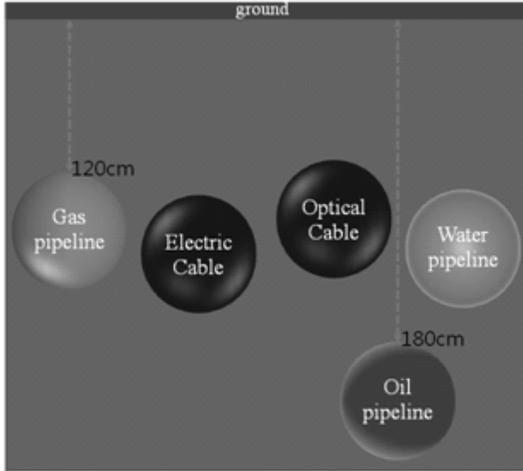


Fig. 2. Various pipelines and cables under the ground.

Table 1. Corresponding regulation depths of 3 pipelines and 2cables respectively

	Regulation depth	Note
Gas Pipeline	more than 1.2 m	Distance between tubes more than 0.3 m
Water Pipeline	more than 1.8 m	
Oil Pipeline	more than 1.2 m	
Electric Cable	more than 1.2 m	
Optical Cable	more than 1.2 m	

2.2. IT인식장치

RFID 인식장치는 RFID 리더기와 Tag로 구성되어 있다. Tag는 능동형과 수동형 두 종류가 있다. 능동형은 자체적으로 전원을 공급하고 수동형은 자체 전원 없이 인식되는 차이가 있다. Table 3.은 RFID의 특징을 열거하였다[5].

RFID의 주파수는 433.92 MHz에서 2.45 GHz까지 이다. 주파수 대역은 2.5 GHz ZigBee는 근거리 통신 중 적은 최대 출력 신호강도세기가 노드간의 최대거리가 길었으나, 지상에서 정보를 전송할 때 유용하다. 지하 폐쇄환경에서 지상으로 전송하기에는 부적합하였다. 방식전위 인프라가 지상으로 안테나 등을 노출할 수 있다면 ZigBee 방식이 유용하다. 그러나 배관이 지하에 매설되기 때문에 안테나를 지

Table 2. Total gas accidents and accidents due to surrounding excavation work for last 5 years

	도시가스 전체 사고	타 공사	
		건	%
2006년	16 건	6	37.5
2007년	30 건	5	16.7
2008년	24 건	7	29.2
2009년	15 건	1	6.7
2010년	25 건	5	20
평균 사고비율	22 건	4.8	22

Table 3. Lists the features of the various ranges of RFID

	UHF		Microwave
	433.92 MHz	900 MHz	2.45 GHz
Reading Range	50~100 m	3.5~10 m	Within 1 m
Specific	<ul style="list-style-type: none"> • Long reading range • Real-time tracking sensing the internal humidity and shock 	<ul style="list-style-type: none"> • Lowest cost • Super to the reading range and of the multi-tag and performance 	<ul style="list-style-type: none"> • Similar to 900 MHz tag • Sensitive to the environment
Operation	Active	Active / Passive	Active / Passive
Typical Use	<ul style="list-style-type: none"> • Container Tracking Management • RTLS 	<ul style="list-style-type: none"> • SCM • Toll payment 	<ul style="list-style-type: none"> • Anti-Counterfeit

하에 같이 매설할 경우에는 콘크리트와 철제덮개를 투과해야 하는데 ZigBee 방식은 10 m이상 전송되지 못하였다. 지하 환경에서는 900 MHz이하의 주파수 대역의 전송방식들이 지상으로 약 80 m이상 전송이 가능함을 분석하였다. 그러므로 안테나가 외부로 노출하여 장착하지 못하는 경우에는 424.7 MHz대역의 주파수 등이 ZigBee보다 더욱 적합하였다[6]. 그 중에서 900 MHz가 지중매설물 인식에 가장 효과적이라고 보고되어있다.

III. 실험 방법

6.1. 실험 장치

본 실험에서는 현장 지상에서 인식하여 지하에 매설된 관의 정보를 파악하는 목적으로 Antenna를 사용하지 않고, Reader기와 Tag만 사용하였다. 지하 배관 신설공사 및 유지보수를 위해 현장 굴착작업 전에 Tag를 인식한다. 도면으로만 확인하지 않고 현장에 매설된 관의 정보를 파악할 수 있다. 굴착작업 도중 다른 관의 파손을 방지하여 안전사고를 예방할 수 있는 목적으로 현장인식을 택하게 되었다. 또한 Antenna를 전국에 매설되어 있는 배관에 설치하게 되면, RFID관리 시스템에 들어가는 비용이 매우 높아진다. 부가적으로 저비용 유지 관리를 할 수 있기 때문에 Antenna를 사용하지 않았다. 실험에 사용된 RFID Reader의 특징은 다음과 같다.

Table 4. AT870 Specific

	특 성
model	AT870(이동형)
Frequency	900 MHz
Protocol	ISO18000-6C

실험에 사용한 Tag는 Label Tag와 Metal Tag로 실험을 하였다. 주파수는 900 MHz대역이고, ISO 18000-6C 국제 표준 Protocol이다. Tag는 Label Tag, Metal Tag 두 가지를 가지고 실험하였다. 대기 중 지상 인식거리는 Label Tag의 인식거리가 10 m 이상 인식되었고, Metal Tag는 최대 3 m까지 인식되었다. 하지만 Label Tag는 주파수의 간섭이 심해 Tag 주변 사물이 인식거리에 큰 영향을 미쳤다. Label Tag는 흙에 5 cm의 깊이만 묻어도 Reader로 인식하기 힘들었다. Metal Tag는 최대 인식거리가 짧았지만 Label Tag에 비해 주파수 간섭에 영향을 덜 받았다.

6.2. 실험 순서

Tag를 지하에 묻어야 하기 때문에 지하 매설깊이에 따른 인식거리를 측정해 보았다. 지하에는 흙, 모래 등 여러 가지의 요소들이 있다. 일반적으로 아스팔트나 시멘트 밑에는 모래가 있으므로, 모래로 매설깊이 측정을 하였다. 그리고 지하 특성상 비가 오면 지표면의 물이 지하로 흡수되기 때문에 모래, 흙, 시멘트 등 3가지의 성분을 가지고 실험했다.

(1) 흙에서 인식 깊이 측정방법

그림 Fig. 3에서와 같이 α , β 의 거리를 측정하였다. 측정방법은 다음과 같다.

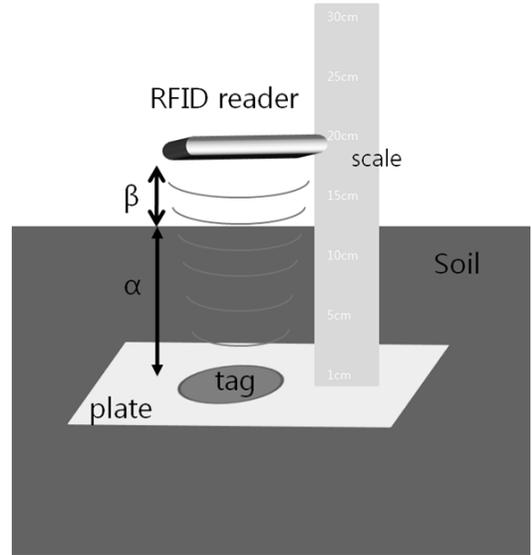


Fig. 3. The schematic diagram of RFID tag in soil medium.

- ① 판에 Metal Tag를 올려놓고 자를 수직으로 세운다.
- ② 5 cm높이로 흙을 덮는다.
- ③ Reader로 인식거리를 측정한다.
- ④ ②, ③번 과정을 반복하여 Tag가 인식할 수 있는 최대거리를 측정한다.

(2) 물에서 인식 깊이 측정방법

물에서의 인식 깊이 측정방법은 흙에서와 동일한 방법으로 측정하는데 물을 담을 수조를 이용하여 실험하였다.

- ① 판에 Metal Tag를 올려놓고 자를 수직으로 세운다.
- ② 5 cm높이로 물을 채운다.
- ③ Reader로 인식거리를 측정한다.
- ④ ②, ③번 과정을 반복하여 Tag가 인식할 수 있는 최대거리를 측정한다.

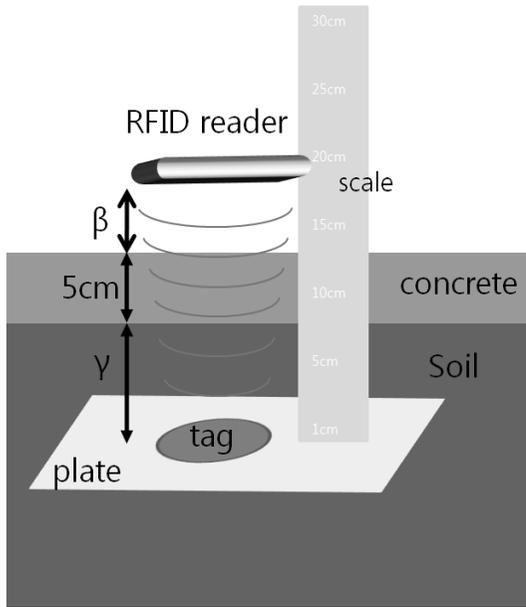


Fig. 4. The schematic diagram of RFID tag in concrete+soil medium.

(3) 5 cm두께의 콘크리트와 흙에서의 RFID Tag 인식 깊이 측정

그림 Fig. 4에서와 같이 γ 와 β 거리를 측정하였다. 측정방법은 다음과 같다.

- ① 모래와 모래, 시멘트를 섞은 5 cm두께의 콘크리트 판을 제작했다.
- ② 판에 Metal Tag를 올려놓고 자를 수직으로 세운다.
- ③ 5 cm높이로 흙을 덮는다.
- ④ 흙 위에 처음에 제작한 5 cm두께의 콘크리트 판을 흙 위에 올려놓는다.
- ⑤ Reader로 인식거리를 측정한다.
- ⑥ ③, ④, ⑤번 과정을 반복하여 Tag가 인식할 수 있는 최대거리를 측정한다.

IV. 결과 및 고찰

Table 5~7은 흙, 물, 흙 위의 콘크리트 5 cm두께를 올려 실험한 결과를 나타낸 Table이다. 그리고 Fig. 5~7번은 표의 결과를 그래프로 정리한 것이다.

Fig. 3에서와 같은 방법으로 측정한 결과 값이다.

Fig. 3에서와 같은 방법으로 Tag를 물속에 넣고 깊이에 따라 실험한 결과 값이다.

Fig. 4에서와 같이 흙 위에 5 cm두께의 콘크리트를 올려놓고 실험한 결과 값이다.

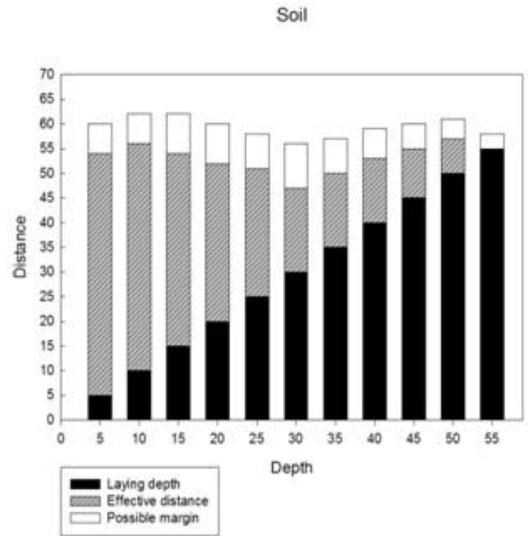


Fig. 5. The corresponding bar graph to Table 5.

Table 5. The detectable Reader height from the surface when metal tag buried in soil from 5 to 55 cm

$\alpha \backslash \beta$	Effective	Maximum
5 cm	49 cm	55 cm
10 cm	46 cm	52 cm
15 cm	39 cm	47 cm
20 cm	32 cm	40 cm
25 cm	26 cm	33 cm
30 cm	17 cm	26 cm
35 cm	15 cm	22 cm
40 cm	13 cm	19 cm
45 cm	10 cm	15 cm
50 cm	7 cm	11 cm
55 cm	Unstable	3 cm

Effective : The distance of the consistent tag detection
 Maximum : The distance of the intermittent detection

Table 6. The Reader height from the surface when metal tag buried in (concrete 5 cm+soil) from 5 to 50 cm

γ \ β	Effective	Maximum
5 cm	46 cm	50 cm
10 cm	40 cm	46 cm
15 cm	35 cm	39 cm
20 cm	29 cm	33 cm
25 cm	22 cm	29 cm
30 cm	16 cm	23 cm
35 cm	11 cm	18 cm
40 cm	9 cm	13 cm
45 cm	5 cm	9 cm
50 cm	Unstable	2 cm

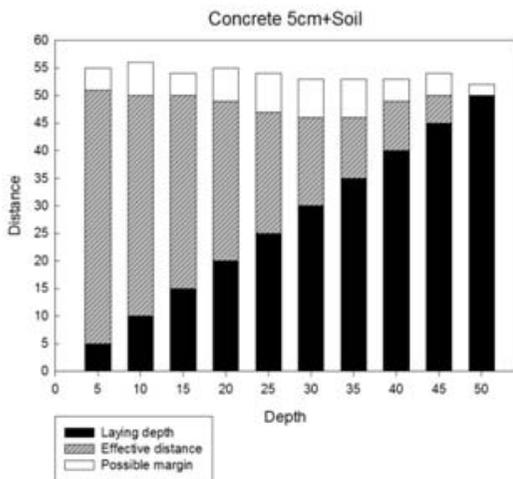


Fig. 6. The corresponding bar graph to Table 6.

4.1. 데이터 입력방법

Fig. 8.에서와 같이 3가지의 RFID Tag 입력방법을 제시하였다. Fig. 8-a.에서 숫자와 알파벳은 다음과 같은 정보를 의미한다. 앞에 부분은 날짜를 의미한다. LNG pipeline은 1991년 1월 14일에 건설되었다. 가운데 부분은 매설관의 재료와 직경을 의미한다. 따라서 파이프의 직경은 100 mm이고, 파이프의 내부와 외부 모두 Carbon steel로 만들어졌고, 마지막 부분

Table 7. The Reader height from the surface when metal tag immersed in water from 5 to 30 cm

α \ β	Effective	Maximum
5 cm	37 cm	39 cm
10 cm	35 cm	38 cm
15 cm	22 cm	24 cm
20 cm	26 cm	28 cm
25 cm	32 cm	35 cm
30 cm	Unstable	2 cm

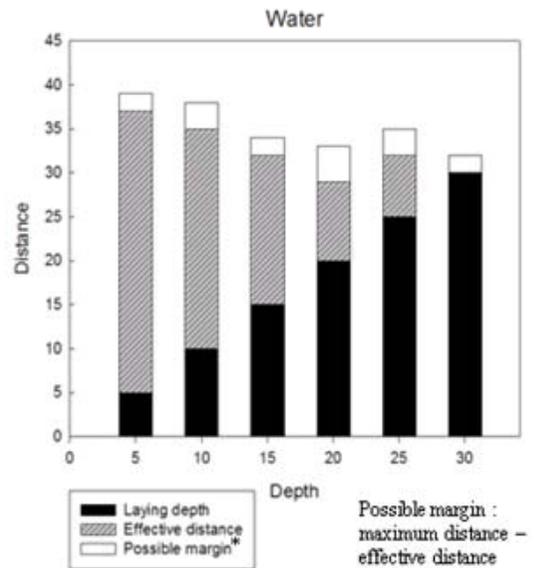


Fig. 7. The corresponding bar graph to Table 7.

은 매설 깊이와 ID를 의미한다. 따라서 파이프의 매설 깊이가 지면으로부터 120 cm의 깊이에 매설되어 있고, 인천 LNG 생산기지로부터 공급되는 관이고 ID번호는 100이다. Fig. 8-b., Fig. 8-c.와같이 24 bit의 정보를 해석 할 수 있어, Tag에 입력된 정보로 지상에서 관의 정보를 미리 파악할 수 있다. 각 알파벳 및 LNG pipe 생산 공장의 정보는 Table 8에 정리했다.

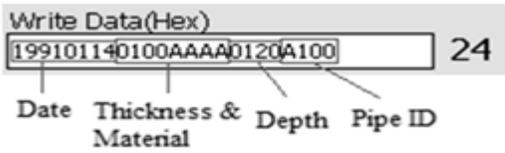


Fig. 8-a. Systematic 24 bit input of RFID Tag.

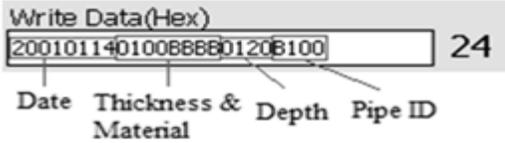


Fig. 8-b. Systematic 24 bit input of RFID Tag.

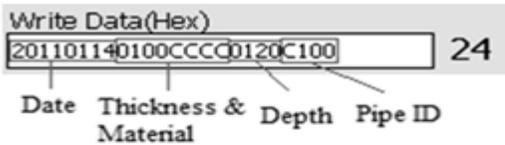


Fig. 8-c. Systematic 24 bit input of RFID Tag.

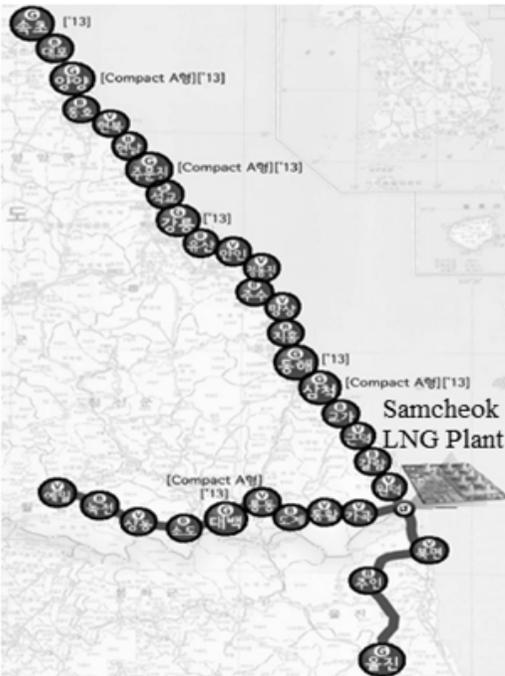


Fig. 9. The 4th plant and LNG supply system under construction.

Table 8. Corresponding material and LNG source of each alphabet from A to D

Middle part	Last part
AA : Carbon steel	A : 인천
BB : Alloy steel	B : 평택
CC : Stainless	C : 통영
DD : Polyethylene	D : 삼척

우리는 지하에 매설된 LNG pipeline에 Tag를 같이 매설해 현장에서 Tag에 저장된 정보를 통해 체계적으로 관리할 수 있다. 예를 들어, pipeline 교체 시기를 건설된 날짜를 통해 알 수 있다. Table 8.에 4곳의 LNG공장이 있다. 그들 중 세 곳이 운영되고 있고, 나머지 하나는 현재 건설 중인 지역이다. Fig. 9는 네 번째 LNG공장인 삼척 LNG공장과 LNG pipeline을 보여준다.

V. 결론

지하 LNG pipeline에 RFID 기술을 적용에 대한 연구를 하였다. 결과는 RFID는 가스 사고를 줄이고, 예방할 수 있을 뿐만 아니라 유지보수의 효율성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

(1) RFID Tag의 안정적인 인식의 깊이는 흙(모래), 5 cm 두께의 콘크리트+흙, 물에 대하여 각각 50, 45, 25 cm로 측정되었다. 따라서 지하 LNG pipeline에 대하여 RFID Tag를 부착하는 방안은 기술적 의미가 있다[7].

(2) LNG pipeline의 시공 날짜, 관의 재료 및 두께, 매설 깊이, ID번호를 24 bit의 RFID Tag에 정보를 입력할 수 있다. RFID Tag의 정보는 우리가 교체 시기를 인식할 수 있게 하고, 굴착공사에 의한 사고를 줄일 수 있을 것이다.

(3) 삼척에 건설 중인 4th LNG 생산기지는 한반도 동부 해안에 위치하고 있다. 이 프로젝트는 2014년 완공 예정이며 LNG pipeline의 총 길이는 1040 km이다. 이 구간을 우리가 제안한 RFID 융합기술을 10 m당 1개의 Tag를 적용한다면, Tag는 약 100,000 여개가 필요하다.

감사의 글

This research was supported by the MKE(The ministry of Knowledge Economy), Korea, under the Convergence-ITRC(Convergence Information Tech-

nology Research Center) support program(NIPA-2012-C6150-1101-0004)

Supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency).

그리스 문자

α : The depth of the tag buried.

β : The distance from the soil surface.

γ : The depth of the tag buried minus 5cm concrete depth.

참고문헌

[1] J.-S. OH, J.-S. Park, J.-R. Kwon, "Selecting the wireless communication Methods for Establishing Ubiquitous City-Gas Facilities in Korea",

Lecture Notes in Computer Science, (2009)

[2] 윤영기, "도시가스배관의 매설깊이 개선에 관한 연구", 연세대 공학대학원, (2008)

[3] <http://www.kgs.or.kr> "한국가스 안전공사"

[4] <http://www.kogas.or.kr> "한국가스 공사"

[5] 정신교, 이경호, 김현식, 안준오, 정창익, 우현주, 김선영, 이영란, "RFID 주파수이용향안 연구", *정보통신부*, (2003)

[6] J.-S. Oh, J.-S. Park, J.-R. Kwon, "Development of Ubiquitous Network Infrastructure for Monitoring/Controlling Protection Potential on Underground Pipeline", *Korea Computer Congress Vol 36*, (2009)

[7] 김병직, 한상욱, 박수리 "굴착 사고 방지용 RFID 안테나가 장착된 굴삭바가지 및 이를 포함한 굴삭기" (특허출원 제 10-2011-0106629 호, 2011)