

# 인천생산기지 지반의 거동분석을 위한 Realtime Monitoring 시스템 구축

이강원, 이상규, 김영균  
한국가스공사 연구개발원

## Establishment of Realtime Monitoring System for the Analysis of Soil Behavior at Incheon LNG Receiving Terminal

Kangwon Lee, Sanggyu Lee, Young Kyun Kim  
R & D Center, Korea Gas Corp.

### 1. 서론

한국가스공사는 현재 국내에 3곳의 LNG저장 및 생산기지를 운영하고 있으며 선박으로 수입되는 LNG의 특성으로 인하여 바닷가에 위치하고 있다. 그 중에서도 인천 LNG생산기지는 해상을 매립하여 부지를 조성한 후 건설하였다. 이렇게 매립지반에 조성된 단지는 장시간에 걸쳐 침하가 진행되고 상당한 기간이 지나서야 침하가 안정되는 특성이 있다. 현재까지 인천생산기지에서는 주기적인 측량을 통하여 침하관리를 해오고 있다. 그러나 이러한 작업은 열악한 현장의 계측환경으로 인하여 비전문가에 의해 주로 수행되었으며 상대적으로 전문가가 현장의 계측결과를 직접 확인하는 것이 어려운 실정이다. 한국가스공사 연구개발원에서는 이러한 현장계측 및 관리실정을 감안하여 인천LNG생산기지 내에 부대시설 및 주변의 침하관리를 위하여 PCS무선통신을 이용한 실시간 현장계측 시스템을 도입하여 실시간으로 침하관리를 수행할 수 있도록 침하관리시스템을 구성하였다.

### 2. 인천 LNG생산기지 개요

인천생산기지는 한국가스공사의 3개 생산기지중 인천 송도 앞바다에 조성한

매립지인 인공섬에 자리 잡은 생산기지로서 1996년 10월 상업운전을 시작한 이후 꾸준한 설비증설로 현재까지 지상식탱크 10기, 지하식탱크 6기가 가동중에 있으며 현재 건설중인 지하식탱크 2기와 건설예정인 지하식 탱크 2기가 완공되면 총용량288만 kl를 저장할 수 있는 세계최대의 LNG생산기지이다.

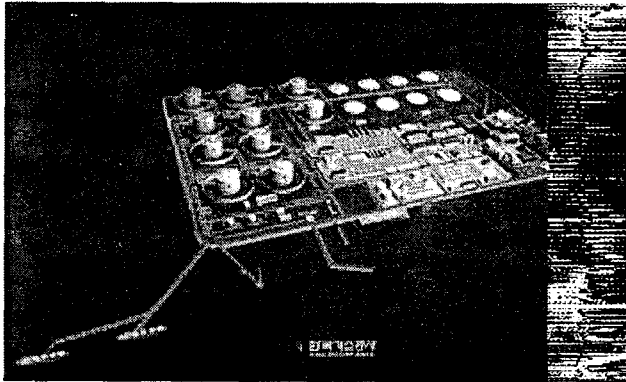
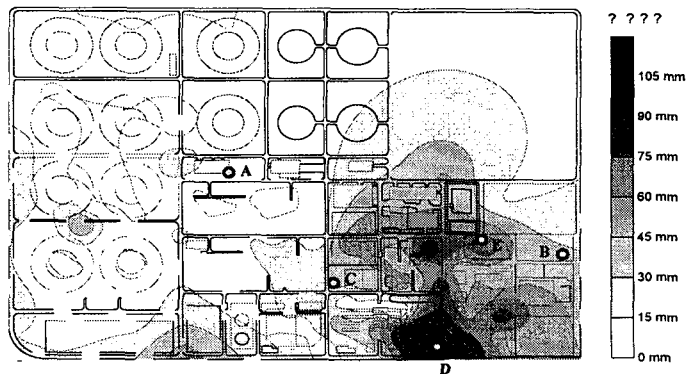


그림1. 인천LNG생산기지 조감도

### 3. 지반조사 및 침하거동분석

본 연구는 인천생산기지의 정확한 침하관리 시스템개발을 위한 부속연구로서 이를 위해서는 우선 정확한 지반구성 및 지반특성에 관한 조사가 필요하다. 이를 위하여 1988년 이후의 총 지반침하량을 기준으로 하여 침하량이 큰곳과 시설물 등의 중요성 등을 고려하여 총 5개의 대표현장 시험 사이트를 결정하였다.(그림2 참조).



## 그림 2. 지질조사 및 계측기 설치 위치

현장시험은 표준관입시험, 콘관입시험, 현장배인시험, 다운홀 시험 등 지반의 강도 및 변형특성과파악을 위한 다양한 현장시험이 적용되었다. 이러한 현장시험결과와 기존의 지질시험 및 측량결과를 이용하여 지반의 특성을 파악하였고 지반의 침하 주요원인이 점성토의 압밀에 의한 것으로 판단되다. 1994년 매립이 완료된 이후 2002년말 까지 약 90%의 압밀이 진행된 것으로 예측되었고 향후 최대 2-4cm의 추가침하가 발생할 것으로 예측되었다. 향후 발생 가능한 침하는 장기 간에 걸쳐 서서히 발생되어 구조물이나 설비의 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단되었으나 주기적인 침하관리 및 지반거동을 분석하기 위하여 계측기를 설치하였다. 계측기의 설치는 지반조사를 실시한 후 각각의 지점에 설치하였으며 설치된 계측기 및 설치목적은 다음과 같다.

표1. 계측기 종류 및 설치목적

종 류		수 량	설 치 목 적
계 측 기 기	층별침하계	5개소	각 층별의 침하를 파악하고 잔류침하를 예측하는데 활용한다.
	간극수압계	5개소	하부 연약층에 수직으로 1개소 설치하여 압밀 강도 및 압밀효과를 분석하는데 활용한다.
	지하수위계	5개소	지하수위를 측정하여 간극수압계의 변화에 의한 차이를 보정하며 지질분석에 활용한다.
	지표침하판	15개소	잔류침하량을 파악하는데 활용한다.

## 4. 실시간 계측시스템의 구성

PCS를 이용한 실시간 계측시스템은 3가지 sub system으로 구성되어 있다. 현장에 설치된 센서에서 계측된 정보를 취득하는 현장계측 Sub시스템, PCS 무선 데이터 통신을 이용하여 계측된 자료를 서버로 전송하는 PCS실시간 무선통신 Sub시스템, 전송된 자료를 수집하여 저장하고 동시에 다수의 유저가 계측된 내용을 실시간으로 조회할 수 있는 실시간 정보관리 Sub시스템으로 나눌 수 있다.

#### 4.1 현장계측 Sub시스템

현장계측 Sub시스템의 기능은 현장에서 센서를 통하여 전달되는 지반상태에 따른 물리적인 변화를 충분히 감지할 수 있는 것이어야 하며 이를 위해 가장 효과적이라고 판단된 CR10X 데이터로거를 적용하였다. CR10X를 이용하여 1지점 당 3세트의 센서, 즉 간극수압계, 지하수위계, 층별침하계를 연결하여 구성된 계측 sub시스템은 다음과 같다.

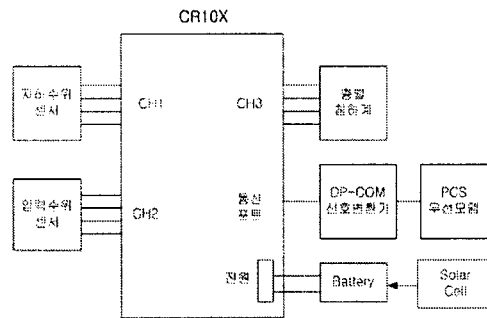


그림3. 현장계측 Sub시스템 구성도

#### 4.2 PCS 실시간 무선통신 Sub시스템

침하관리 시스템을 실시간으로 운영하기 위해서는 5곳에 위치한 현장계측시스템을 적절한 방법으로 연구실로 연결하여 실시간으로 현장에서 측정되는 자료를 획득할 수 있는 통신수단과 방법이 필요하다. 인천생산기지는 육지에서 8.7km떨어진 해상매립지에 건설되어 연구소와 부속건물을 제외한 주변지역은 유선전화나 전용선설치가 어려운 실정이다. 따라서 실시간 계측을 위해서는 무선에 의한 자료전송이 필수적이며 이를 위해서 PCS를 이용한 무선통신 Sub시스템을 채택하였다.

### 4.3 실시간 정보관리 Sub시스템

계측 Sub시스템에서 측정된 자료가 무선전송 Sub시스템을 통하여 정보처리 Sub시스템으로 입력되면 계측된 결과는 도시 및 처리, 저장의 과정을 거치게 된다. 이런 과정을 거친 자료는 연약지반 침하관리를 수행하는 전문가의 품질관리 기준에 따라 최종 측정 자료로 확정되며 미흡한 자료일 경우 재측정의 과정을 거치게 된다. 전체적인 모니터링시스템의 개념도는 그림4와 같다.

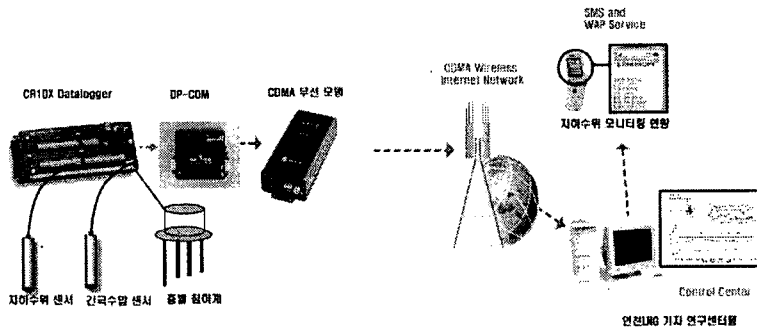


그림4. 시스템 개념도

## 5. 결론

계측된 데이터는 연구실에 설치된 서버컴퓨터에 저장된다. 각 측정당 1시간 간격으로 측정된 데이터는 PCS무선모뎀을 통하여 서버로 저장되게 프로그래밍이 되었다. 측정된 침하 계측 데이터로부터 시간-침하량 관계 그래프를 작성하고, Hyperbolic법, Asaoka법의 침하관리기법에 의한 최종침하량을 예측하는 기법을 추가하여 최종 침하량을 산정한다. 이를 토대로 향후 침하거동을 정량적, 정성적인 예측을 수행한다. 또한 예측하지 못한 급격한 지반거동은 실시간 혹은 1시간 간격으로 측정되는 데이터를 통하여 확인할 수 있다.

데이터서버는 저장된 데이터를 사내 인트라넷을 통하여 실시간으로 제공되고 있으며 사내의 관계자들은 인터넷망을 통해 시간과 공간의 제약에 구애없이 지반의 거동을 확인할 수 있게 되었다. (그림 5 참조) 본 계측시스템은 PCS통신을 이용하여 구현한 자동계측 시스템으로 대상지역이 넓고 주기적인 계측이 필요한

지역에 설치하여 데이터의 신뢰성을 높이고 측정시간 및 인력을 가능케 하였다.

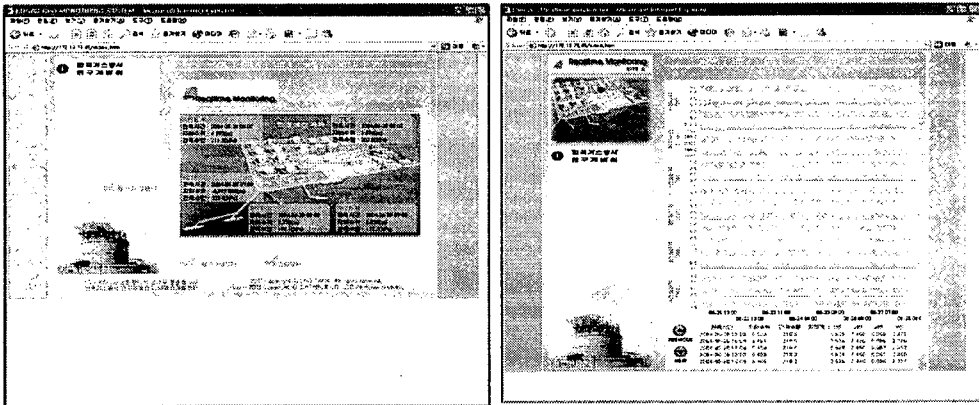


그림 5. 인터넷을 통한 계측데이터의 확인

#### 참고문헌

1. 기술경영사 편집부 (1992), “N치와 강도정수의 관계 및 활용”, 기술경영사 편집부, 211p.
2. 김명모 (1997), “토질역학”, 문운당, pp. 4-13, pp. 117-138, 356p.
3. 지반공학회 (1997), “지반조사 결과의 해석 및 이용”, 지반공학 시리즈 1, pp. 52-87
4. 한국가스공사 (1993), “인천 인수기지 본 설비 설계 및 감리기술 용역 지질조사보고서(1단계 1차)”.
5. 한국가스공사 (1994, a), “인천 인수기지 본 설비 설계 및 감리기술 용역 지질조사 보고서(2단계 1차)”.
6. 한국가스공사 (1994, b), “인천 인수기지 본 설비 설계 및 감리기술 용역 지질조사 보고서(2단계 2차)”.
7. 한국가스공사 (1995), “인천 인수기지 1차 확장공사 지질조사 보고서”.
8. 한국가스공사 (2002), “02년 인천 생산기지 측량용역 측량 보고서”.

9. American Association of State Highway Testing Officials (AASHTO) (1986), "Standard specifications for highway materials and methods for sampling and testing", AASHTO Designation.
10. American Society for Testing and Materials (ASTM) (1990), "Annual Book of ASTM Standards", ASTM Designation.
11. Baligh, M. M. and Levadox, J. M. (1986), "Consolidation after Undrained Piezocone Penetration. II : Interpretation," "Journal of Geotechnical Engineering", *ASCE*, Vol 112, No. 7, pp. 727-745
12. Bowles, J. E. (1978), "Engineering properties of soils and their measurement", McGraw-Hill.
13. Campanella, R. G. and Robertson, P. K. (1988), "Current status of the piezocone test", Invited Lecture, "1st International Conference on Penetration Testing", Disney World, pp. 93-116.
14. Clarke, B. G. (1995), "Pressuremeters in geotechnical design", Blackie Academic & Professional, 364p.
15. Clayton, C. R. I., Matthews, M. C. and Simons, N.E. (1997), "Site Investigation", Blackwell Science Ltd., pp. 404-406. 584p.
16. Olsen, R. S. (1988), "Using the CPT for dynamic site response characterization", "Proceedings of the Earthquake Engineering and Soil Dynamic II Conference", Geotechnical Special Publication Number 2, J. Lawrence Von Thun, ed., ASCE, New York, pp. 374-388.
17. Head, K. H (1994), "Manual of soil laboratory testing Vol". I, John Wiley & Sons, pp. 59-78, pp. 159-205.