

공급관리소 지반침하로 인한 배관의 안전성 평가

고재필, 오신규, 홍성경
한국가스공사 연구개발원

The Safety Analysis of Gas Pipeline by Subsidence of Ground on Governor Station

J. P. Koh, S. K. Oh, S. K. Hong

Korea Gas Corporation, Research & Development Division

1. 서론

한국가스공사에는 전국에 천연가스를 공급하기 위해서 약 2,000 km에 이르는 주배관이 전국에 매설되어 있다. 주배관은 주로 기존 도로를 따라서 매설되어 있고, 강·하천을 횡단하거나 도로를 가로질러 가는 경우도 있다. 한국가스공사에서는 안정적인 가스 공급의 중요성과 가스누출시의 위험성을 인식하여 주배관의 안전성 확보를 최우선으로 하고 있다. 또한 주배관은 법적으로 지진에 대비한 내진설계를 하도록 되어 있고, 일정심도를 유지하도록 하고 있으므로 안전성 확보가 잘 된 Life line이라고 볼 수 있다. 한편 공급관리소 내에도 각종 배관들이 지상과 지하에 설치되어 있고, 대부분 안정적인 지반에 설치되어 있으며, 공급관리소 배관설치 지역은 매트기초로 되어 있어 지반의 침하로 인한 배관의 문제를 예방하고 있다. 그러나 간혹 지반의 부등침하로 인하여 배관이 들뜨거나 처지는 현상이 발생하곤 한다. 이때 배관의 상태를 파악하여 대처하여야 하나, 배관의 응력정도를 측정하기란 쉬운 일이 아니며, 스트레인게이지를 부착하는 응력측정 방법은 이미 처진 배관에는 소용이 없는 방법이다. 따라서 본 논문에서는 공급관리소의 지반침하로 인한 배관의 안전성을 유한요소 해석 기법을 이용하여 평가하였다.

2. 본론

공급관리소 가스히터(B) 후단 Outlet 측 20" 배관 플랜지가 연차정비 중 7cm 가량 이격되어 있고(그림 1), 배관지대대가 비틀려 있음(그림 2)을 발견하였다. 이에 대한 원인으로 지반침하에 기인한 것으로 판단되어 이에 따른 배관 안전성 평가를 위한 해석을 수행하였다. 현장조사 결과, A, B 히터(이후 HTR로 표기)의 OUTLET이 연결되는 20" 매설배관의 지반은 연약지반으로써 이로 인하여 지반이 침하하였고, 지반 침하량 만큼의 배관 들뜸이 일어난 것으로 판단된다. 배관의 응력측정을 위한 장비로 보편적으로 사용되는 스트레인게이지를 부착하고자 했으나, 이미 배관을 히터의 플랜지에 연결해 놓은 상태였고 지하에 매설되어 있는 배관에 스트레인게이지를 설치할 수 없었기 때문에, 해석적인 방법을 사용하여 배관의 응력 상태를 판단하였다. 응력해석은 범용 유한요소해석(Finite Element Method) 프로그램인 MSC/NASTRAN for Windows 2001을 사용하였다.

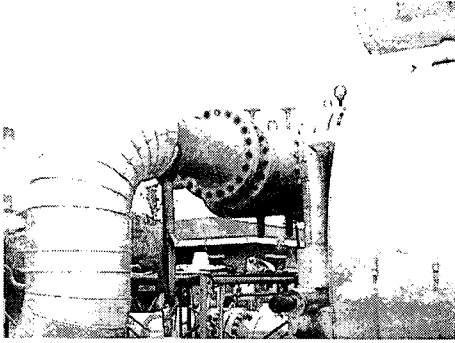


그림 1 배관플랜지 이격

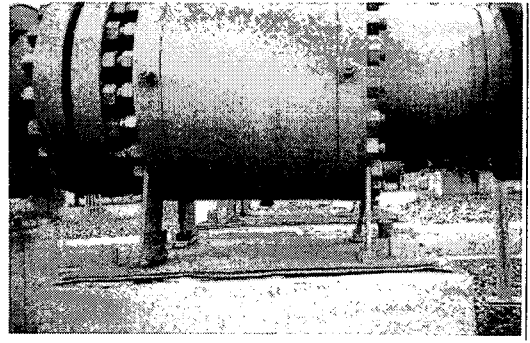


그림 2 밸브지지대 뒤틀림

2.1 배관 이격의 원인

앞에서 언급한 바와 같이 본 공급관리소는 연약지반 위에 설치되었으나 지반 다짐이 충분히 이루어지지 않아서 지반이 침하되고 있는 것으로 판단된다. 문제가 된 가스 히터 A, B 및 FUTURE LINE은 20" 매설배관(그림 3의 빨간색 표시 구간)과 연결되어 있고, 이 구간은 현재 배관 아래 지반이 침하된 것으로 추측되었다. 이로 인해 매설 배관 위에 있는 지반이 하중으로 작용하고 있고, 빨간색 표시 구간에 포함된 매설배관 위에 작용하고 있는 하중은 대략 33ton 정도로 예상된다.

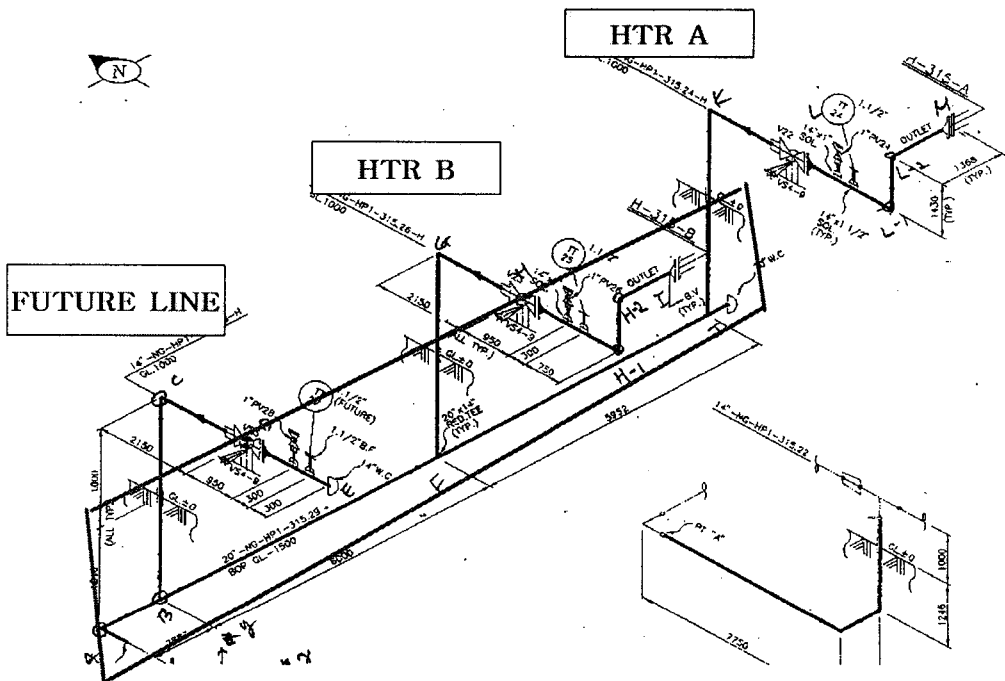


그림 3 HTR A, B 및 FUTURE LINE과 매설배관

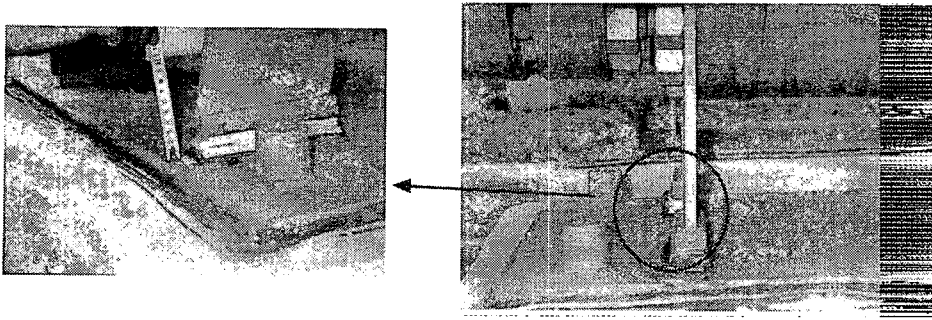


그림 4 FUTURE LINE의 밸브지지대 들뜸

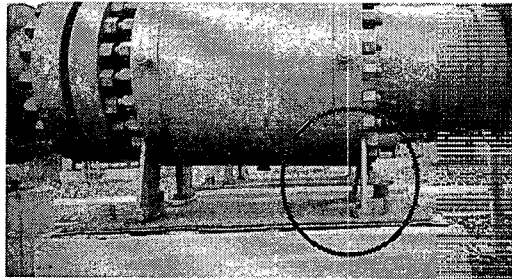


그림 5 FUTURE LINE의 밸브지지대 뒤틀림

2.2 해석내용

그림 3에서 HTR B와 FUTURE LINE의 배관은 들떠있는 부분으로 응력이 걸려 있을 것으로 추정되는 구간이다. 그림 4와 5를 보면 FUTURE LINE의 경우 밸브 지지대 앞쪽은 들떠 있는 상태이고, 뒤쪽은 뒤틀려 있는 상태이다. 즉 매설배관이 처지면서 일어나는 현상으로 파악된다. 한편 HTR B에서 배관 플랜지를 풀었을 때 이격된 거리가 약 7cm 가량이었고, 지반 처짐 측량값은 HTR A에서 3mm, HTR B에서 2mm인 것으로 나타나 있다. 이러한 조건들을 바탕으로 노출배관 및 매설배관을 TUBE BEAM으로 모델링하고, 매설배관 위의 지반을 분포하중으로 가하여 배관의 응력상태를 검토하였다.

2.3 해석 모델 및 결과

그림 6(그림 1의 도면 참조)에서 보면, 검은색 선이 배관을 표시하고, 초록색이 지반에 의해 매설배관에 가해진 하중을 표시한다. 배관의 응력해석을 위한 경계조건은 두 가지 경우로 하여 해석하였다. 첫째는 일반적인 경우로 HTR A, B의 배관 플랜지 이음을 고정으로 하였고, 두 번째 경우는 연차정비를 위하여 HTR B의 배관 플랜지를 풀었을 경우로 HTR B의 이음 부분을 자유단으로 가정하였다. 두 가지 경우 모두, 배관이 지반으로 들어가는 부분의 경계조건은 상하방향은 자유로, 전후·좌우 방향은 고정으로 하였다.

표 1 해석 조건별 경계조건 및 하중

하중 및 경계조건	HTR A	HTR B	하중	비고
조건 1	고정(Fixed)	고정(Fixed)	분포하중	일반적인 상황
조건 2	고정(Fixed)	자유단(Free)	분포하중	HTR B 플랜지를 풀었을 때

해석에 이용된 배관의 물성치는 아래 표 2와 같다.

표 2 API 5L Gr. X65의 기계적 물성치

탄성계수(GPa)	포아송비	항복응력(MPa)	인장강도(MPa)	열팽창계수
207	0.3	448	530	12×10^{-6}

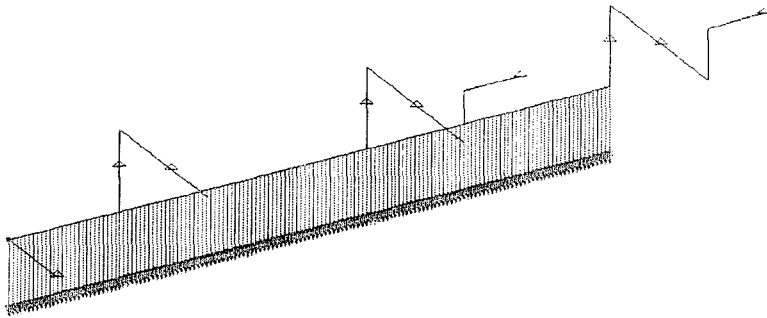


그림 6 배관의 모델링 및 지반하중 분포

우선 첫 번째 경계조건을 고려한 해석 결과를 보면 아래 그림 7과 같다.

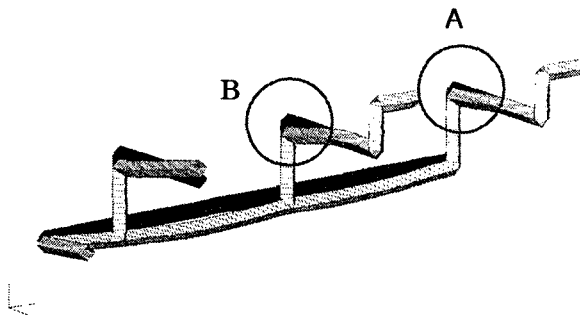


그림 7 조건 1일 때의 배관 변형

그림 7에서 파란색으로 나타난 배관은 변형전의 상태이고, 회색 부분이 변형 후의 배관의 형상이다. 본 해석의 정확도를 파악하기 위해서 그림 7의 A, B 부분의 측량값과 해석결과를 아래 표 3에서 비교하였다

표 3 측량값과 해석결과의 비교

	A	B
측량값	3mm	2mm
해석결과	1.8mm	3.6mm

표 3 에서 보는 바와 같이 해석에 의한 결과가 측량값과 상당히 근사하게 접근함을 알 수 있고, 해석적으로 배관의 응력을 구하는 데 큰 무리가 없음을 확인할 수 있다. 실제 우리가 알고자 하는 최대 응력발생 지점은 예상한 바와 같이 배관의 곡관부(빨간색 원 A, B) 이었고, 그 응력은 HTR A에서 42.5MPa, HTR B에서 85.3MPa로 나타났다. (참고로 배관의 항복응력은 448MPa)

아래 그림 8은 그림 7의 해석결과 중 배관응력 분포를 나타내고 있는 그림이다.

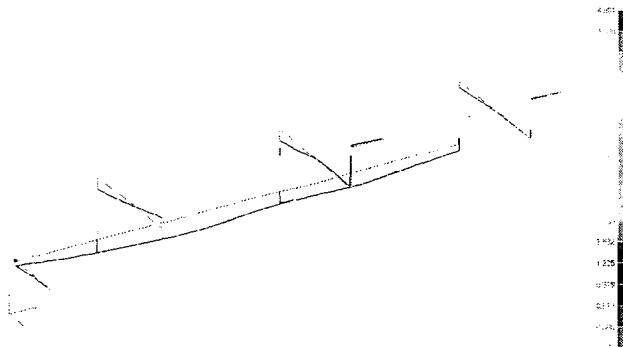


그림 8 배관응력 분포도

두 번째 조건의 경우 연차보수를 위하여 HTR B 부의 플랜지를 풀었을 경우를 해석하였다. 경계조건은 앞과 동일하고 다만 HTR B 부를 자유단으로 풀어 주었다.

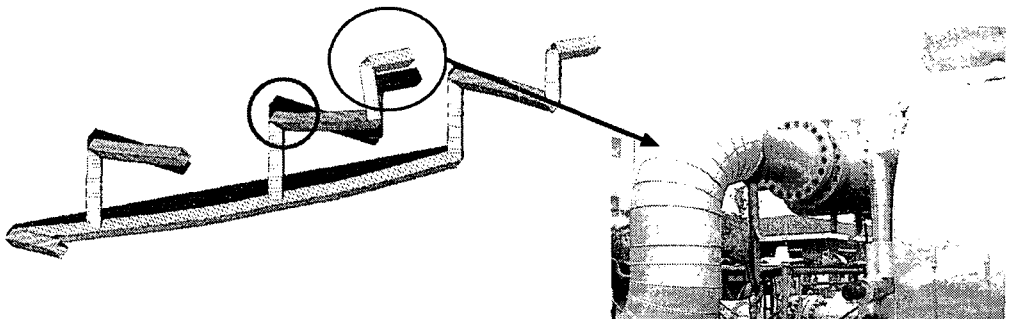


그림 9 HTR B 부의 플랜지 이음부를 풀었을 경우

그림 9를 보면 해석결과와 실제 변형 형태가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이때 배관에 걸리는 최대응력은 그림 9의 HTR B의 빨간색 원 부분에서 122.5MPa(배관의 항복응력은 448MPa)로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 노출배관이나, 매설배관에는 큰 응력은 걸리지 않은 것으로 보인다. 그러나 그림 2, 3에서 보는 바와 같이, FUTURE LINE의 밸브 지지대 및 HTR A, B의 밸브지지대가 매설배관 처짐으로 인한 하중의 상당 부분을 지지하고 있으며, 이로 인하여 FUTURE LINE의 밸브 지지대는 이미 소성변형이 일어난 것으로 보인다.

4. 결 론

1. 본 공급관리소 배관의 들뜸 및 뒤틀림은 기지내 연약지반으로 인해 지반이 침하하면서 일어난 것으로 판단된다.
2. 지반침하로 인한 지반하중을 밸브지지대가 받고 있는 것으로 판단되며, FUTURE LINE의 경우 이미 소성 변형이 일어났으므로 이에 대한 대책을 세워야 할 것으로 판단된다.
3. 배관의 최대응력 지점은 HTR B의 곡관부로 122.5MPa로 추정된다. 이러한 수치는 배관의 항복응력이 448MPa 임을 감안하면 안전한 것으로 판단된다.
4. 유한요소해석 방법에 의한 배관의 안전성 평가는 적절한 경계조건과 하중조건을 설정함으로써 타당성 있는 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다.