

# 가스배관 위치이동 해석 및 응력 예측 기법 개발

## Analysis of Gas Pipeline Movement and Stress Estimation

김 준 호<sup>1)</sup> · 김 동 현<sup>2)</sup> · 이 상 근<sup>3)</sup> · 홍 성 경<sup>4)</sup> · 정 석 영<sup>5)</sup>

Kim, Joon Ho · Kim, Dong Hyawn · Lee, Sang Geun · Hong, Seong Kyeong · Jeong, Sek Young

**요약**: 가스배관이 매설된 지역에서 지면고에 변화가 발생하는 공사 수행시 가스배관의 안정성을 확보하기 위한 위치이동을 수행한다. 본 논문에서는 위치이동에 따른 배관의 구조해석을 위한 모델링 방법의 최적화와 함께 위치이동의 단계별 발생 응력을 실시간으로 예측하기 위한 방법을 제안하였다. 모델링 방법으로는 요소의 종류와 크기, 배관 매설부의 경계조건 처리 방법, 세장비에 의한 기하학적 비선형 특성 등의 영향에 관하여 분석하였으며 정확성을 확보하면서 해석 효율을 높일 수 있는 조건을 구하였다. 배관의 응력 예측을 위해서는 위치이동의 수 단계에 발생하는 배관위치 및 최대응력 정보를 이용하여 인공신경망을 학습시켰으며 학습 후 세부 이동단계별 배관의 위치와 최대응력을 예측할 수 있도록 하였다. 개발된 응력예측시스템은 윈도우 환경의 프로그램으로 개발하였다.

**ABSTRACT**: If there are some construction works that affect the stability of buried pipelines, the pipelines should be moved to guarantee their safety. In this paper, modeling methods for analyzing the movement of pipelines were sought, and the step-by-step stress estimation method of moving pipelines was developed. Some factors affecting of pipeline response such as the element type, the element size, boundary modeling, and geometric non-linearity were quantitatively investigated. In addition, some conditions in which accuracy and effectiveness can be compromised in the analysis of long pipelines were identified. A neural network was used to estimate the pipeline stress. The inputs to the neural network included step-by-step displacements, and the output was the resulting stress at each movement step. After training the neural network, it can be used to estimate pipeline stresses at some sub-steps that are not included in the training. A Windows-based stress estimation program was developed.

**핵심 용어**: 배관, 위치이동, 모델링, 기하학적 비선형, 응력예측, 인공신경망

**KEYWORDS**: Pipeline, movement, modeling, geometric nonlinearity, stress estimation, artificial neural network.

### 1. 서론

가스배관이 매설된 지표에서 성토 및 절토 공사가 필요할 때 지하에 매설된 가스배관의 안전성 확보를 위해 배관위치 이동 공사를 수행한다.(한국가스공사, 1997, 2005a, 2005b). 지표에 굴착공사가 예정인 경우는 최초 매설 당시에 확보한 심도에 대한 배관의 구조적 안정성이 매설 상부의 공사시행으로 인해 위협을 받을 수 있기 때문에 절토로 인해 새롭게 변화된 지표고도에 대하여 충분한 매설심도를 확보해야 한다(API, 1996). 매설심도를 새롭게 확보하기 위해서는 지표공사 시행 후의 소요 심도를 배관 위치별로 정한 후 배관이 목표심도까지

자중에 의하여 자연침하가 될 수 있도록 굴착구간을 정해야 한다. 또한, 충분한 굴착구간과 침하 깊이가 정해졌다면 새로운 배관의 위치에 대한 구조적 안정성을 평가해야 한다. 특히 배관의 위치 이동시 굴착 시점부와 종점부의 배관위치에서 급격한 국부응력의 증가로 인해 구조적 안정성이 훼손될 가능성이 존재하므로 이에 대한 역학적 검토가 필수적이다. 본 논문에서는 배관 위치이동의 구조해석을 위한 최적의 모델링 방법에 대하여 제안하였다. 또한, 현장 위치 이동 공사 수행 시 이동 단계별로 구조해석을 수행하여 공사의 설계자료로 활용하고 있지만 설계 시 포함되지 않은 이동단계가 발생하거나 현장에서 의외의 상황으로 인해 발생하는 이동 단계에 대해서 신속하게 대

1) 한국가스공사 연구개발원, 연구원(jhkim@kogas.or.kr)

2) 교신저자, 군산대학교 해양시스템공학과 교수, 공학박사

(Tel. 063-469-1862, Fax. 063-469-1861, Email: welcomed@naver.com)

3) 군산대학교 석사과정(sg5579@naver.com)

4) 한국가스공사 연구개발원, 공학박사(hongsk@kogas.or.kr)

5) 한국가스공사 연구개발원, 공학박사(syjeong@kogas.or.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회담을 게재하겠습니다.

응하기 위해서는 배관의 구조해석을 수행하지 않고도 위치에 따른 응력예측을 수행할 수 있는 시스템이 필요하다. 이를 위해 사전에 해석된 몇 단계의 구조해석 결과를 활용하여 해석하지 않은 단계의 변위와 응력을 예측하는 인공지능 시스템을 개발하였다. 개발된 응력예측시스템은 Windows 프로그램으로 개발하였다.

## 2. 위치이동에 의한 구조해석

### 2.1 개요

그림 1은 가스배관의 위치이동 공사 시공장면으로 (a)가 공사 전의 장면이고 (b)는 공사 후 위치이동된 배관의 모습이다. 위치이동은 배관의 안정성을 확보하기 위해 5~10단계로 나누어 단계적으로 이루어지며 4~5m 간격으로 지지점을 둔다. 각 단계별 위치이동은 크레인으로 배관을 들어 올린 후 지지점의 위치를 변화시키고 이후 크레인에 매달린 가스배관을 지지점 위에 안착시키는 과정으로 이루어진다. 최종 목표위치까지 배관이동이 마무리 되면 뒤채움을 한 후 성도를 하게 된다.



(a) 위치이동 전



(b) 위치이동 후

그림 1. 가스배관 위치이동 시공 장면

### 2.2 유한요소해석

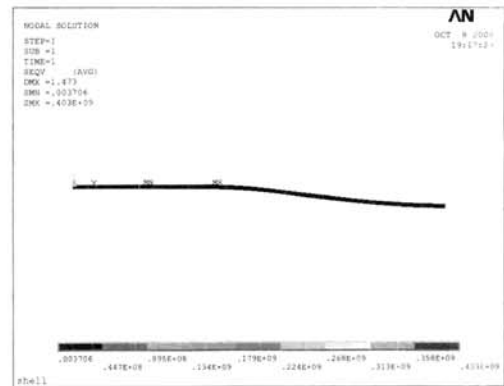
위치이동에 의한 구조해석을 수행할 배관은 보통 100m내의 길이를 가지고 있다. 이와 같은 장대 구조물을 유한요소법으로 해석하기 위해서는 사용할 요소의 수도 매우 많아지게 된다. 해석의 효율성을 높이기 위해서는 상대적으로 큰 요소를 사용할 수도 있지만 이 경우 정확성이 떨어질 수 있다. 따라서, 효율성과 정밀도를 동시에 만족시키는 최적의 모델링 방법이 필요하다. 또한, 굴착시점부와 종점부의 배관이 매설된 지점은 지반과 배관이 접하고 있으며 적절한 경계조건을 적용해야 한다. 그리고 배관 직경이 보통 50~90cm의 범위에 있어 세장비가 매우 크므로 위치이동에 따른 기하학적 비선형 효과가 발생할 수 있다. 배관의 모델링과 해석에서 나타날 수 있는 다양한 사항들을 분석하여 배관해석의 최적화를 이루기 위해서 요소의 종류와 크기, 경계조건 및 기하학적 비선형 고려여부 등에 대한 영향을 분석하였다.

해석에 사용한 배관의 제원으로는 직경이 0.762m, 두께가 1.43cm이며 매설부 지반을 모델링할 때 사용한 모래, 뒤채움 및 원지반의 영계수, 단위중량 및 포아송비는 표 1과 같다(한국가스공사, 1997). 지반의 물성치는 배관응력에 중요한 영향을 미치므로 다른 지반조건인 현장에서는 응력에 차이가 발생할 수 있다. 그러나, 본 연구에서 사용한 지반의 물성치는 현재 가스공사에서 사용하는 대표적 물성치이며 이를 기준으로 응력의 변화를 해석하였다.

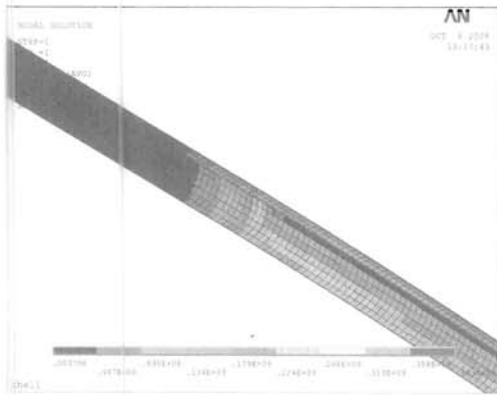
표 1. 배관해석에 사용한 물성치

구분	배관	모래	뒤채움	원지반
영계수(Pa)	$2.07 \times 10^{11}$	$2.5 \times 10^7$	$1.5 \times 10^7$	$2 \times 10^7$
단위질량(kg/m <sup>3</sup> )	7840	2000	2000	2000
포아송비	0.3	0.25	0.3	0.3

#### 2.2.1 요소종류



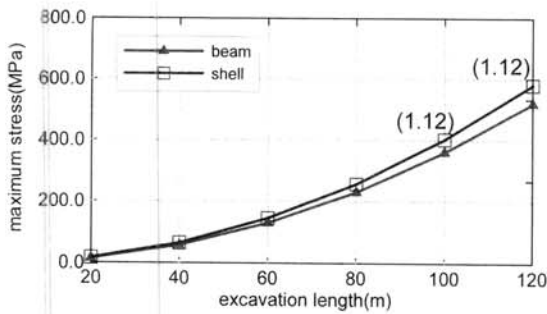
(a) 변형 형상



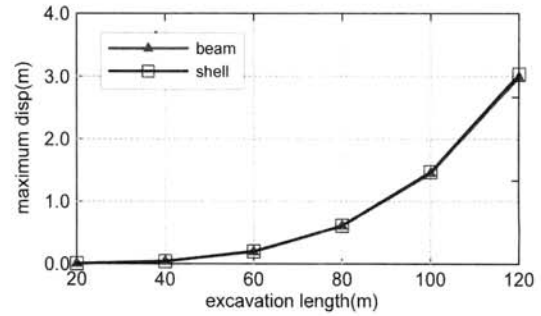
(b) 굴착 시점부 국부응력

그림 2. 배관 위치이동에 의한 응력해석 결과

그림 2는 상용 구조해석 프로그램인 ANSYS(2007)를 이용한 구조해석 결과이다. (a)의 좌측 부분은 지반에 매설된 배관이고 변위가 발생하기 시작하는 중간부위가 굴착시점부를 나타낸다. 또한 최우측은 굴착의 중심부로서 굴착 시 자중에 의한 변형이 가장 큰 부분이다. (b)는 굴착시점부의 응력을 보여주고 있으며 이 부분에서 최대응력이 발생하고 있다. 그림 3에서 보요소와 셸요소를 이용했을 때 배관에서 발생하는 최대응력 (a)과 최대변위(b)를 총 굴착구간의 변화에 따라 비교하였다. 최대응력에 관해서는 굴착 구간이 작을 때는 어떤 요소를 사용하더라도 큰 차이가 없으나 굴착 구간이 길어질수록 차이가 발생하여 120m 굴착시에는 셸요소에 의한 최대응력이 보요소의 1.12배인 것으로 확인되었다. 최대변위는 굴착구간과 요소종류에 따라서 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 최대응력이 보요소에서 작게 평가되는 것은 보요소를 이용하면 실제 배관에서 발생하는 면내 변형 등을 유발하지 못하도록 강성이 보강된 효과를 주기 때문으로 분석된다. 따라서, 배관의 구조적 거동을 정확하게 파악하기 위해서는 셸요소를 이용한 모델링이 보다 안전할 것으로 보인다.



(a) 최대응력

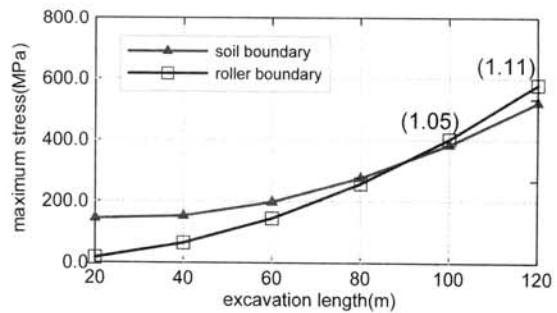


(b) 최대변위

그림 3. 요소종류에 따른 영향(괄호: 비율)

### 2.2.2 경계조건

배관의 매설부는 지반과 접해 있으므로 굴착공사로 인한 침하 시 지반과 상호작용을 일으킨다. 따라서, 지반에 의한 매설부 배관의 구속효과를 모델링하기 위해서는 적절한 경계조건을 적용해야 한다. 배관 위치이동 해석에서 지반을 고려하기 전과 후 발생하는 최대응력과 최대변위를 그림 4에서 비교하였다. 그림에서 soil boundary는 지반을 입체요소(solid element)로 모델링한 것이고 roller boundary는 배관길이방향의 변위만 가능하도록 경계조건을 설정한 경우이다. 최대응력에 관해서는 굴착구간이 짧을 경우는 soil boundary를 이용할 때 최대응력이 크지만 굴착구간이 길어질수록 roller boundary를 이용할 때 응력이 더 크게 나타났다. 굴착구간 120m의 배관 해석에서 최대응력은 roller boundary의 경우가 약 11% 더 크게 나타났다. 최대변위는 soil boundary에서 항상 크게 나타났는데 이것은 굴착 시점부의 지반변형에 의해 배관 중앙부의 변위가 증가하기 때문이다. 따라서, 지반을 유한요소로 모델링하지 않고 단지 경계조건(roller boundary)만으로 배관 위치 이동을 해석한다면 응력과 위치이동량을 정밀하게 평가할 수 없음을 알 수 있다.



(a) 최대응력

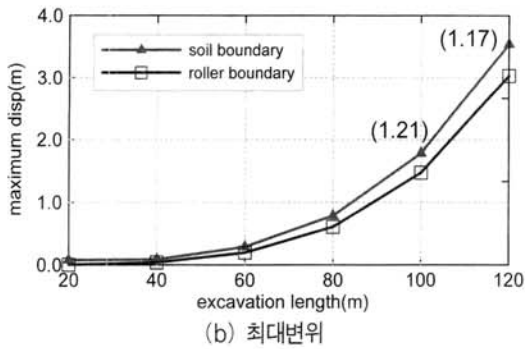
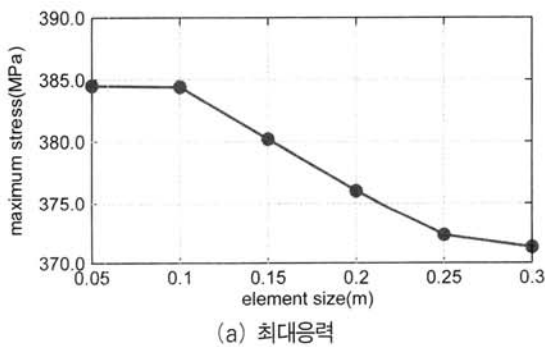


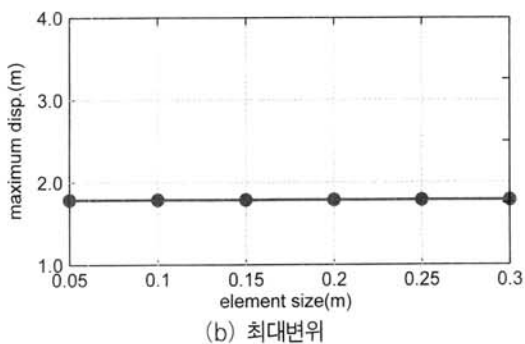
그림 4. 경계조건에 의한 영향

### 2.2.3 요소크기

요소의 크기는 일반적으로 작을수록 국부응력에 대한 해석정밀도가 높아진다. 그러나, 정밀도를 높이기 위해서 요소크기를 줄이다 보면 자유도가 급격히 증가하여 해석의 효율성이 떨어진다. 그림 5에서 요소크기에 따른 결과를 비교하였다. 5cm 요소를 기준으로 할 때 최대응력(a)은 요소 크기가 10cm 까지는 거의 변화가 없으나 이보다 요소크기를 더 크게하면 최대응력이 상당량 과소평가하는 것으로 나타났다. 요소크기가 30cm일 때는 최대응력이 약 4.7%까지 줄어들었다. 최대변위(b)는 요소 크기에 의해 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다. 따라서, 정확도를 대체적으로 만족하면서 해석의 효율성을 확보하기 위해서는 10cm의 요소크기가 가장 합당한 것으로 평가할 수 있다.



(a) 최대응력

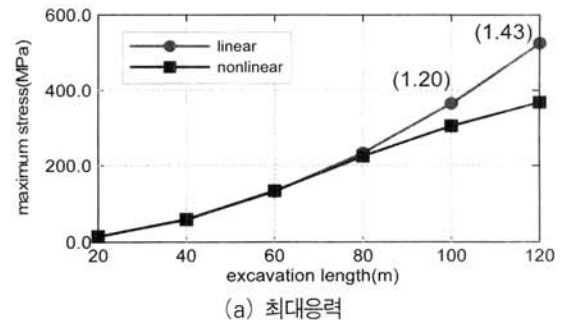


(b) 최대변위

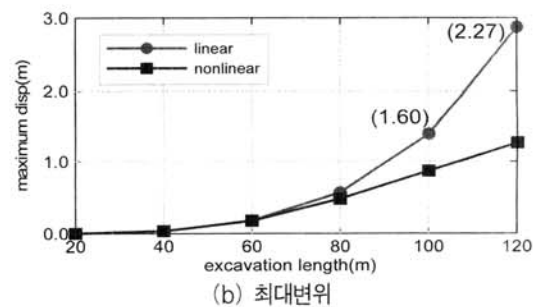
그림 5. 요소크기에 의한 영향

### 2.2.4 기하학적 비선형

배관위치 이동의 구조해석은 배관길이에 비해 배관직경이 매우 작은 형태이다. 다시말해 세장비(길이/반경)가 크기 때문에 재료의 물성이 선형특성을 갖더라도 기하학적 비선형 거동을 하게 된다. 따라서, 배관 위치이동 해석시에는 이러한 것을 고려해야 정확한 해석결과를 얻을 수 있다. ANSYS 프로그램에서는 기하학적 비선형을 고려한 해석이 가능하며 이를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 굴착부 길이에 따라 구조해석을 수행하였으며 그 결과는 그림 6과 같다. 배관최대응력의 경우는 굴착구간 80m까지는 기하비선형의 고려 여부에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나 100m 이상 굴착구간이 길어질수록 큰 차이가 발생하며 그 정도 또한 증가하였다. 그림에서 120m 굴착시 기하학적 비선형 특성을 고려하지 않은 경우는 고려한 경우보다 최대응력과 최대변위가 각각 1.43배 및 2.27배 증가하였다. 결론적으로 기하학적 비선형을 고려하지 않는다면 최대응력과 최대변위를 과대평가할 수 있으므로 장대지간의 배관 굴착 해석시 반드시 이를 고려해야 한다.



(a) 최대응력



(b) 최대변위

그림 6. 기하학적 비선형의 영향(괄호: 비율)

## 2.3 위치이동 해석

### 2.3.1 개요 및 모델링

그림 7은 김제시 꽃농원 부근에 매설된 배관의 현재위치와 이동목표 위치를 10m간격으로 표시하고 있다. 배관의 연장은 총 208m에 달하고 최종 목표심도는 station 13위치에서 1.52m이다. 그림에 표시된 바와 같이 station 8부터 19까지

의 범위에서 배관의 위치를 하향 이동시켜야할 필요성이 발생한 경우이다.

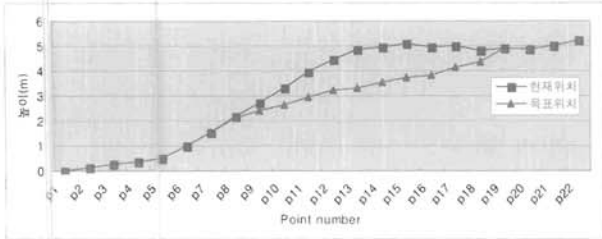


그림 7. 배관의 현재위치 및 목표위치

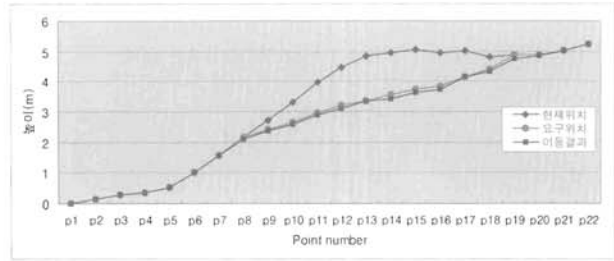


그림 9. 침하요구량에 따른 배관 위치이동 해석결과 비교

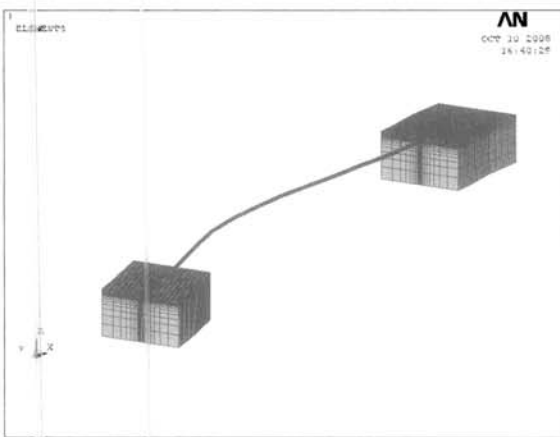


그림 8. 현장배관 해석모델(김제)

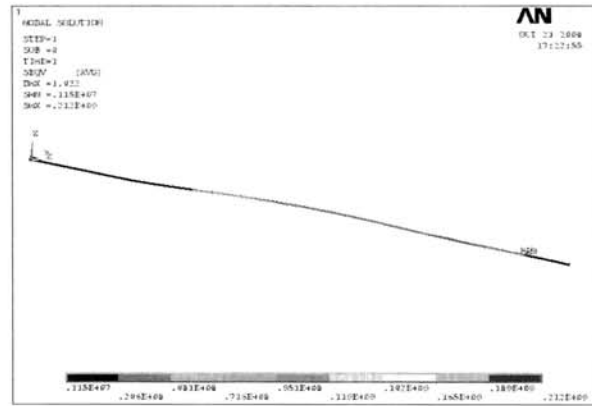


그림 10. 배관 위치이동 해석결과

그림 8은 김제구간의 매설배관의 위치이동 구조해석을 위한 유한요소모델이다. 배관은 0.1m 크기의 쉘요소를 사용하고 지반은 입체요소를 사용하였다.

### 2.3.2 해석결과

굴착구간을 설정하고 중력에 의한 자연 침하과정에서 지지점을 모사하기 위해 강제변위를 적용하였으며 해석 후 강제변위 적용 지점에 대한 반력을 확인하여 강제로 끌어 내리고 있는 지점을 확인하면서 변위를 제어하며 해석을 수행했다. 구조해석결과 배관의 처짐이 침하요구를 만족하고 응력이 허용응력 내에 존재 한다면 해석은 완료된 것이다. 현재 이러한 해석기법을 통해 위와 같은 조건들을 만족하기 위해서는 앞서 설명한 바와 같이 굴착구간과 변위를 제어하면서 해석을 수행해야 하므로 반복적인 구조해석 작업이 필요하다. 현재 이 사례의 경우 굴착구간은 약 127m이며 그림 9와 같이 배관의 처짐이 침하요구에 만족하는 조건에서의 해석결과는 그림 10 으로 굴착시점부인 7번 station 에서 최대응력(244MPa)이 발생하는 것으로 확인되었다.

## 3. 응력예측 인공신경망

### 3.1 인공신경망 이론

인공신경망은 이론적 해석이 불가능하거나 해석 시간의 과다로 인해 해를 얻기 어려운 경우 인간의 학습능을 모사하도록 구성된 인공지능시스템의 일종이다. 인공신경망의 기본 구성은 아래의 그림과 같다.

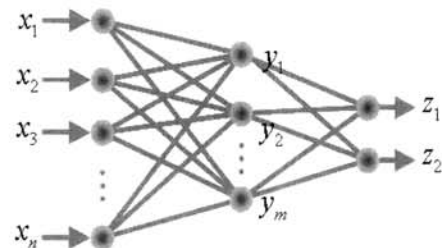


그림 11. 인공신경망의 구조

입력층의 각 노드에는 입력신호가 들어가며 은닉층으로 신호가 전달된다. 은닉층의 각 노드에서는 입력층에서 들어온 신호를 이용하여 연산을 수행한다. 은닉층의 j번째 노드의 출력값

은 다음과 같다.

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ji}^1 + b_j^1\right) \quad (1)$$

여기서,  $x_i$ 는  $i$  번째 입력값이고  $w_{ji}^1$ 은 입력층과 은닉층 사이의 가중치이다. 또한,  $b_j^1$ 은 은닉층의 바이어스 값이며  $f(\cdot)$ 은 활성화함수로써 다음과 같은 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용한다.

$$f(u) = \frac{2}{1 + e^{-u}} - 1 \quad (2)$$

한편 출력층의 각 노드에서는 다음과 같은 값을 내보낸다.

$$z_k = f\left(\sum_{j=1}^m y_j w_{kj}^2 + b_k^2\right) \quad (3)$$

여기서,  $w_{kj}^2$ 는 은닉층과 출력층 사이의 가중치이며  $b_k^2$ 는 출력층의 바이어스 값이다.

인공신경망의 가중치와 바이어스 값은 초기에는 결정되어 있지 않지만 원하는 출력을 내보내도록 최적화되면 비로소 예측의 기능을 갖게 되는데 이렇게 가중치와 바이어스를 구하는 과정을 학습이라하며 학습은 다음과 같은 오차함수를 최소화하도록 진행된다.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{\mu} \sum_k (t_k^{\mu} - z_k^{\mu})^2 \quad (4)$$

여기서,  $\mu$ 는 학습에 사용된 자료의 종류로서 일명 패턴이라 하며  $t_k^{\mu}$ 는 신경망의 목표출력값이다. 따라서, 위에서 정의된 오차가 최소화되도록 가중치를 찾는다면 신경망의 출력은 목표 출력값을 내보내게 된다.

신경망의 학습방법으로는 지금까지 다양한 알고리즘이 제안되어 왔지만 가장 보편적인 학습방법이 역전파 학습법(back propagation training rule)이다. 역전파 학습법은 신경망의 출력오차를 출력층에서 계산하고 이를 이용하여 은닉층에서의 오차를 산정하기 때문에 오차가 역으로 전파한다는 뜻에서 유래한다. 역전파학습법에 의한 출력층과 은닉층 사이의 가중치에 대한 학습량은 다음과 같다.

$$\Delta w_{kj}^2 = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2} \quad (5)$$

여기서  $\eta$ 는 가중치의 학습량을 조절하는 것으로 학습률이라 한다. 오차함수를 이용하여 위의 학습량은 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta w_{kj}^2 = \eta \delta_k y_j \quad (6)$$

여기서  $\delta_k$ 는 출력층의 일반화된 오차(generalized error)로써 다음과 같다.

$$\delta_k = z_k'(t_k - z_k) = \frac{1}{2}(1 - z_k)(1 + z_k)(t_k - z_k) \quad (7)$$

은닉층과 출력층 사이의 가중치 학습량은 같은 방법에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta w_{ji}^1 = \eta \delta_j x_i \quad (8)$$

여기서 은닉층의 일반화된 오차는 다음과 같다.

$$\delta_j = y_j' \sum_k \delta_k w_{kj}^2 = \frac{1}{2}(1 - y_j)(1 + y_j) \sum_k \delta_k w_{kj}^2 \quad (9)$$

이상의 학습규칙에 의해 가중치를 학습하면 오차가 최소화되며 인공신경망은 입력에 대하여 원하는 목표값을 출력하게 된다. 바이어스의 학습도 가중치와 동일한 방법에 의한다.

### 3.2 학습 및 응력예측

검증을 위해 배관위치 이동 구조해석시 최종변위단계 까지를 10단계로 나누어 해석하여 단계별 굴착 시점부와 종점부의 최대응력을 확보하였다. 그 중 10, 30, 50, 70, 90, 100%의 침하율에 대한 굴착 시점부와 종점부 최대응력 데이터를 인공신경망으로 학습하였다. 학습입력으로는 13개 지점의 배관 이동변위를 사용하였고 출력층에는 양단의 최대응력 2개를 사용하였다. 즉, 배관의 변위를 입력하면 양단의 최대응력을 예측하는 신경망을 구성하였다. 학습과정은 그림 12와 같이 반복횟수에 따라 학습오차는 감소하여 수렴 하는 것을 볼 수 있다. 그림 13은 구조해석을 통해 해석할 응력 결과와 학습에 이용된 응력 데이터 그리고 학습된 인공신경망을 통해 응력을 예측한 결과를 나타낸 것으로 인공신경망을 통한 응력 예측이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

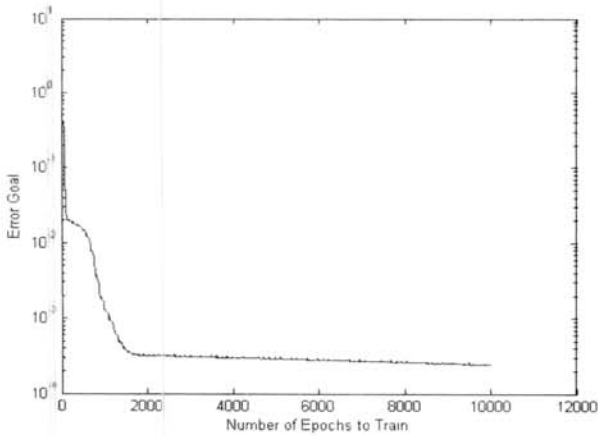


그림 12. 인공신경망 학습결과

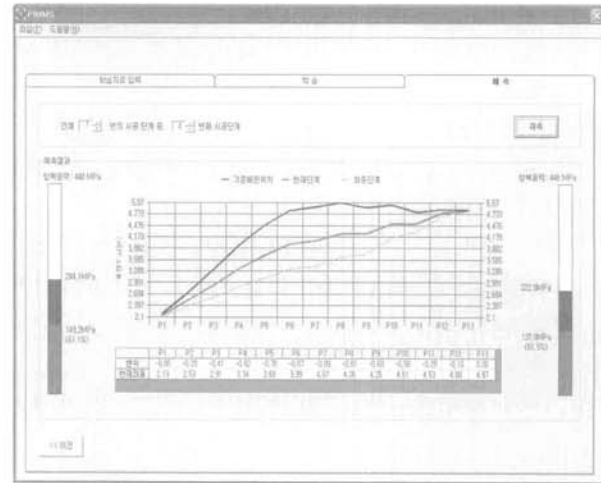


그림 14. 위치이동 단계별 응력예측 시스템

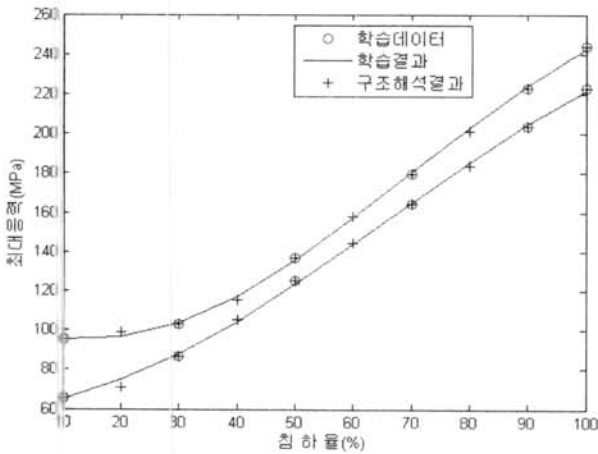


그림 13. 인공신경망의 예측결과

#### 4. 응력예측 시스템

인공신경망을 이용한 배관 위치이동 단계별 응력예측시스템을 Windows 환경의 프로그램으로 개발하였다. 그림 14는 이동 단계별 배관 위치와 정보와 함께 굴착시점부 및 굴착 종점부의 배관 최대응력을 가시화시켜주는 시스템의 실행화면을 보여주고 있다. 총 위치이동단계와 예측하고자 하는 단계를 선택하면 길이 방향에 대한 배관 위치와 함께 항복응력 및 허용응력과 함께 해당 단계의 응력을 인공신경망으로 예측하여 보여준다.

#### 5. 결론

가스 배관의 위치이동 구조해석을 위한 모델링 최적화 방법을 결정하고 이를 이용하여 현장배관의 위치이동에 적용하였다. 또한, 위치이동 단계별 최대응력을 예측하기 위한 인공지능기법을 개발하였으며 Windows 환경의 프로그램으로 개발하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 배관 유한요소 해석을 위한 모델링 방법에서는 요소의 크기, 종류, 경계조건 등의 영향을 분석하여 요소크기는 0.1m 정도의 쉘요소를 사용하며 경계조건은 지반을 입체요소로 모델링하는 것이 합리적임을 확인하였다. 배관의 위치이동 공사 단계별 응력예측시스템은 초기 및 최종 위치 이동 단계중에서 2~4 단계의 위치이동 구조해석 데이터를 학습한 후 나머지 모든 단계의 위치이동에 따른 최대변위와 최대응력을 예측할 수 있는 기능을 가지고 있다. 인공신경망의 예측을 위한 사전단계로 구조해석 결과를 이용하여 학습을 수행하게 되는데 수초~수십초 내에 학습이 완료되며 예측의 정밀도 또한 매우 높은 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국가스공사 연구개발원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 한국가스공사 연구개발원(1997) 환경변화에 따른 배관변형 특성 연구(연구보고서: KA-PI-102-95069708).
- 한국가스공사 연구개발원(2005) 광주-장성간 도로 확포장 공사 구간의 절성토시 가스배관 안전성해석 및 가스배관 응력

모니터링시스템 운용(연구보고서: TCSC 2005-001).  
한국가스공사 호남지사 안전품질부(2005). 배관 자연침하 유도  
공법 및 절차.  
Americal Petroleum Institute(1996) Movement of  
in-service pipelines(API recommended practice  
1117, 2nd ed.).  
A. Altaee and B. H. Fellenius(1996) Finite element  
modeling of lateral pipeline soil interaction, 14th  
international offshore mechanics and arctic  
engineering, Florence, Italy.  
J. A. Czyz and S. E. Wainseboin(2003) Monitoring

pipeline movement and its effect on pipe integrity  
using internal caliper/in-line inspection, Rio  
Pipeline.

Kristin Molnar(2003) Analysis of effects of deep braced  
excavations on adjacent buried utilities, Master  
thesis, Northwestern Univ.  
ANSYS(2007) ANSYS Structural Analysis Guide,  
ANSYS Inc., Canonsburg.

(접수일자 : 2008. 11. 13 / 심사일 2008. 11. 19 /  
게재확정일 2009. 6. 10)