

매설 천연가스 배관의 제반하중에 의한 응력 계산용 프로그램 개발 (II)

방인완*, 김형식, 양영철, 김우식, 오규환*
한국가스공사 연구개발원 LNG설비기술연구소
서울대학교 재료공학부*
(1998년 4월 25일 접수, 1998년 7월 1일 채택)

Development of the computer program calculating the stress induced by various loads for buried natural gas pipeline (II)

I.W.Bang · H.S.Kim · W.S.Kim · Y.C.Yang · K.W.Oh

Research and Development Center, Korean Gas Corporation,
Ansan, 425-150, Korea

*Division of Materials Science and Engineering, Seoul National University,
Seoul, 151-742, Korea

(Received 25 April 1998; accepted 1 July 1998)

요 약

매설 천연가스배관의 두께는 ANSI B31.8의 요건에 따라 주로 내압과 위치인자로 결정된다. 그러나 실제 매설배관 응력에는 내압뿐 아니라 여러 외부인자들이 작용하여 매설조건과 환경조건이 변화되면 배관의 응력이 달라진다. 환경요인 변화에 따른 안전도 감소를 피하기 위하여 응력을 평가하는 작업이 수시로 필요하다. 내압, 토하중, 차량하중, 지반침하에 의한 매설배관의 응력을 계산하는 적절한 수식이 개발되었으나 비전문가가 사용하기에 매우 어려운 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 매설배관의 응력상태를 손쉽게 계산할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 토하중, 차량하중, 열하중 및 네 가지 지반침하 발생시 배관에 생기는 최대응력을 계산하는 것으로서, 응력은 수식 또는 FEM에서 유추한 그래프에서 얻은 값이다. 본 논문에서는 첫 번째 논문에 이어 프로그램 작동방법과 원리를 설명하였다.

Abstract - The thickness of buried gas pipeline is determined mainly with internal pressure and location factor according to the requirements of ANSI B31.8.

But the stress of buried gas pipeline is determined by not only internal stress but also external loads. The change of burying and environmental conditions, therefore, may result in increasing stress of pipeline. In order to avoid the decrease of safety degree resulting from change of environmental condition, the evaluation of stress level shall be necessary. The reliable equations have been developed for calculating stress of buried pipeline from internal pressure, earth load, vehicle load, ground subsidence. But they are very difficult to understand and use for non-specialist.

For easy calculation of non-specialist, the new computer program to calculate stress of buried natural gas pipeline have been developed. The program can calculate

maximum stress resulted from earth load, vehicle load, thermal load, four type ground subsidence. The stress is calculated by the equations and extrapolation of the graph resulted from FEM. In this paper, as the series of paper I, the operating method and the functions of the program is explained.

Key words : Buried gas pipeline, Computer program, Earth load, Vehicle load, Ground subsidence, Thermal stress

1. 서 론

ANSI B31.8에 의해 설계되는 매설 천연가스 배관은 기본적으로 내압에 의해 두께가 결정되며, 내압외의 응력요소는 지역보정계수로 설계에 반영되고 있다.

그러나 매설 천연가스 배관의 응력은 내압외에 토하중, 차량하중, 열응력, 지반침하 등에 의한 하중에 의존하여 복합적으로 응력이 결정된다. 그러므로 최초의 시공시의 매설조건이 변화하면 배관에 작용하는 응력도 변화하게 된다. 특히 도로의 신설, 도시의 확장 등에 의해 최초 매설조건이 논과 밭 등에서 도로 등으로 변경되는 경우 혹은 연약지반에 의해 일정구간에 침하가 발생하는 경우, 혹은 타공사에 의한 성토에 의해 매설깊이가 변화는 경우 등의 심각한 매설환경의 변화가 빈번히 발생하고 있어 이들에 의한 배관의 안전성 저하가 우려되고 있다.

이러한 다양한 매설환경 변화에 대처하기 위해서는 현장에서 배관의 유지/보수를 담당하고 있는 실무자들이 손쉽게 매설배관의 응력을 평가할 수 있는 도구의 필요성이 절실하다.

외부 제반하중에 의한 매설배관의 응력계산에는 해석적 수식을 이용하는 방법과 유한요소법에 의한 해석이 이용되어 지고 있다^{1,2)}. 유한요소방법은 배관의 복잡함 또는 매설조건에 구애받지 않고 다양한 조건에 대하여 해석할 수 있는 장점이 있으나 시간적, 경제적 비용이 많이 들며, 실무자들이 이용하기 어렵다는 것이 단점이다. 해석적 수식에 의한 방법은 형상적인 한계가 있지만 단순한 형상에 대하여 공신력을 얻고 있는 수식이 많이 개발되어져 있다. 그러나 이러한 해석식은 복잡하고 개념을 이해하는데 많은 노력이 요구되어 배관 설계자조차 계산도중 실수할 가능성을 배제하기 어려울 뿐만 아니라, 현장 실무자들이 매설배관의 유지/보수에 이용하는 것은 거의 불가능하다 할 수 있다.

그러므로 실무자들이 일정 해석범위 안에서 매설배관의 외부하중에 의한 배관의 응력을 손

쉽고, 정확하게 계산하여 다양한 매설환경변화에 대처할 수 있는 도구로서 본 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

본 컴퓨터 프로그램은 직선배관에 대하여 여러 배관 재료 및 직경에 대하여 내압, 토하중, 차량하중, 열하중, 4형태의 지반침하에 의해 배관에 발생하는 최고 응력을 계산하여 준다. 한편인 매설천연가스배관의 제반하중에 의한 응력계산용 프로그램 개발 (I)에 연속하여 본 논문에서는 프로그램의 구성, 기능, 사용법을 설명하였다.

2. 프로그램 설명

2.1 프로그램의 개요

프로그램은 사용환경의 고급화 추세에 맞추어 윈도우즈 95와 윈도우즈 NT에서 실행되도록 하였으며, Compiler로는 마이크로소프트사의 Fortran Power-station 4.0을 사용하여 개발하였다.

그림 1에 프로그램의 플로우차트를 나타내었다. 기작성되어 있는 파일을 사용하거나 대화상자(dialog box)를 통하여 입력 데이터를 작성한 후 해석을 수행한다. 수식을 이용하여 각

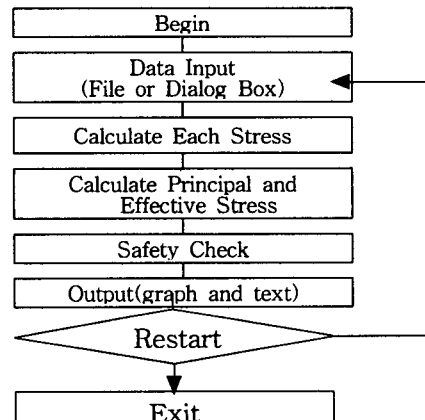


Fig. 1. Flow chart of the program

각의 하중에 의한 응력과 주응력, 유효응력을 구하고, 계산된 응력이 허용 기준을 만족하는지를 검토한다. 해석 결과는 그래프와 텍스트로서 화면에 출력되기 때문에 손쉽게 파악할 수 있다. 한 번의 해석이 끝난 후 다시 새로운 해석을 할 수 있으며, 여러 해석의 결과를 윈도우 상에서 동시에 볼 수 있기 때문에 해석 조건의 변화에 따른 응력 변화의 양상을 손쉽게 파악할 수 있다.

2.2 프로그램의 실행

2.2.1 초기화면

본 프로그램을 실행시키면 그림 2와 같은 프로그램의 초기화면이 표시된다. 이 화면은 3초 후에 사라지며, 그림 3과 같은 주 대화상자(Main Dialog Box)가 화면에 표시된다. 데이터 입력과 해석을 수행하려면 대화상자에서 [Input Session]을 선택하고, 이미 해석된 결과 파일을 출력하려면 [Go to Output Session]을 선택한다. 그림 3은 [Input Session]을 선택한 경우에 표시되는 화면이며, [Go to Output Session]을 선택한 후 [OK] 단추를 누르면, 그림 4와 같은 화면이 표시된다.

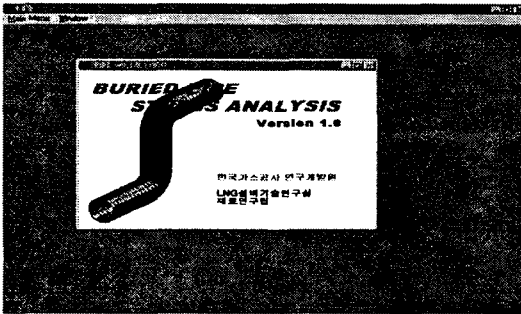


Fig. 2. Program logo

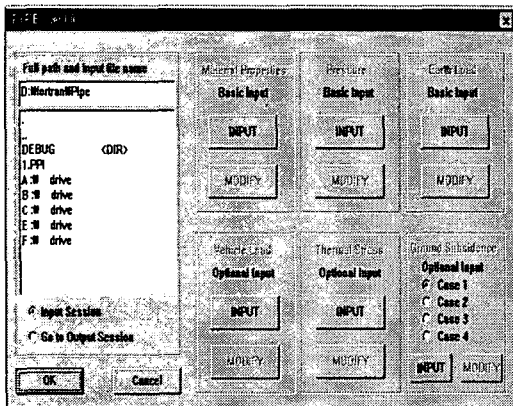


Fig. 3. Main dialog box

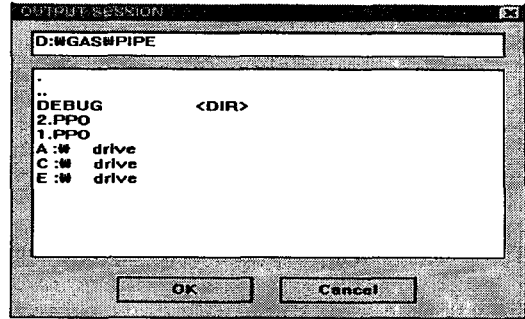


Fig. 4. Dialog box of output

2.2.2 입력

데이터 입력은 그림 3의 이미 작성한 입력 파일(*.ppi)을 디렉토리 창에서 선택하여 수정하거나 입력 대화상자를 통하여 수행한다. 입력 대화상자는 6개의 모듈(module)로 나누어져 있으며, 재료물성치, 내압, 토하중 모듈 등은 반드시 선택하여야 하는 기본 입력 모듈이며, 차량하중, 열응력, 지반침하 모듈 등은 선택적 입력 모듈이다. 지반침하 모듈은 다시 4개의 항목으로 나누어지며, 이 4개의 항목은 서로 배타적이다. 즉 동시에 2개 이상의 항목을 선택할 수 없다. 데이터가 입력된 모듈은 [MODIFY] 단추가 밝게 표시되며, 입력이 안 된 경우에는 [INPUT] 단추가 밝게 표시된다.

데이터 입력 대화상자에서는 데이터의 입력과 수정, 취소를 자유롭게 할 수 있으며, 토하중, 차량하중, 지반침하 입력 대화상자에서는 그림을 추가하여 입력을 손쉽게 할 수 있도록 하였다. 데이터 입력 후 [OK] 단추를 누르면 해석을 수행하고, 해석 결과가 화면에 출력된다.

◆ 재료 물성치 입력

주 대화상자에서 재료 물성치 모듈을 선택하면 그림 5와 같은 대화상자가 화면에 표시된다.

강종에 따른 배관재료의 각종 물성치(탄성계수, 포아송비, 항복강도, 인장강도, 밀도, 열팽창률)와 배관의 지름, 두께 및 안전 계수를 입력한다. [STEEL GRADE] 창내에 있는 강종을 선택하면 강종에 따른 항복응력과 인장강도가 자동적으로 입력된다. 예를 들어서 API X65 강을 선택하면 항복 응력 448MPa, 인장강도 530MPa가 자동적으로 입력된다. [OK] 단추를 누르면 입력이 끝나게 되고, [Cancel] 단추를 누르면 입력 내용이 무시되며, [Clear] 단추를 누르면 입력된 데이터가 모두 지워져 초기 입력 상태로 된다. 표 1에 건물밀도에 따른 지력

구분을 나타내었고, 표 1의 지역구분에 따른 안전계수를 표 2에 나타내었다.

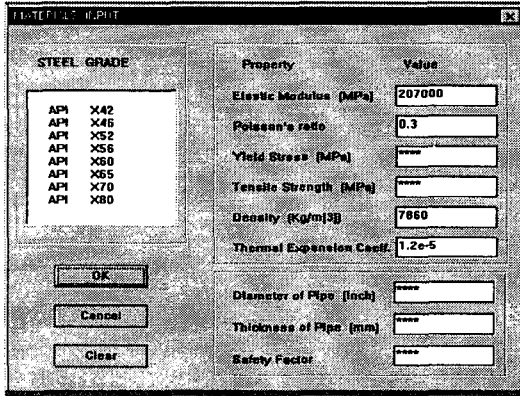


Fig. 5. Dialog box of material properties

Table 1. Class Locations³⁾

Class Location	Description
1	Any class location unit that has 10 or less buildings intended for human occupancy
2	Any class location unit that has more than 10 but less than 46 buildings intended for human occupancy
3	a) Any class location unit that has 46 or more buildings intended for human occupancy; or b) An area where the pipeline lies within 91 meter of either a building or a small, well-defined outside area(such as a playground, recreation area, outdoor theater, or other place of public assembly) that is occupied by 20 or more persons on at least 5 days a week for 10 weeks in any 12-month period
4	Any class location unit where buildings with four or more stories are prevalent

Table 2. Safety Factors for Class Locations⁴⁾

Class Location	Safety factor
1	1.4
2	1.6
3	1.8
4	2.0

◆ 내압 입력

주 대화상자에서 내압 모듈을 선택하면 그림 6과 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 사

용 내압의 크기와 지역보정계수, 길이방향 이음계수, 온도보정계수를 입력한다. 길이방향 조인트 계수는 대부분의 천연가스배관에 사용되는 SAW, ERW 용접의 경우 1.0의 값을 가지며, 온도 보정 계수는 배관 내의 가스 온도가 121°C보다 적은 경우(천연가스배관 내의 가스 온도는 대략 0°C임)에는 1.0의 값을 가진다. 표 3에 지역 보정 계수 값을 나타내었다.

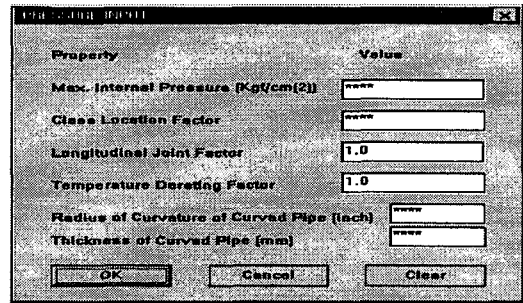


Fig. 6. Dialog box of internal pressure

Table 3. Class Location Factor F⁵⁾

Kind of Thoroughfare	Class Location			
	1	2	3	4
- Privately owned roads	0.72	0.60	0.50	0.40
- Unimproved public roads	0.60	0.60	0.50	0.40
- Hard surfaced roads, highways, public streets, and railroads	0.60	0.50	0.50	0.40

또한, 곡관부에 발생하는 내압에 의한 응력집중을 파악하기 위하여 곡관부의 곡률반경 및 두께를 입력한다.

◆ 토하중 입력

주 대화상자에서 토하중 모듈을 선택하면 그림 7과 같은 대화상자가 화면에 표시된다.

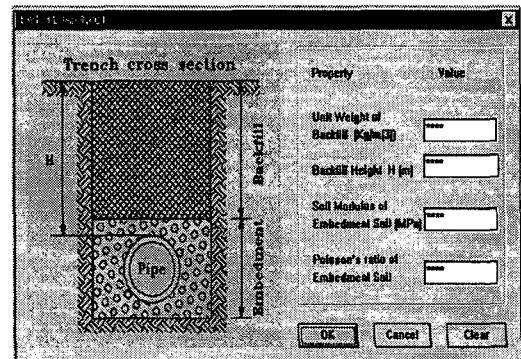


Fig. 7. Dialog box of earth load

성토(Backfill)의 단위부피당 중량 및 매설깊이 H와 배관 주위를 둘러싼 채움모래(Embedment Soil)의 토양반응계수와 포아송비를 입력한다. 표 4에 토양반응계수 값을 나타내었고, 표 5와 6에 지반 종류에 따른 포아송비 ν_g 및 단위중량 γ , 탄성계수 E_g , 측방향 토하중계수 K_{OT} 를 나타내었다. 표 5와 6에 제시된 값들은 이후에 설명할 차량하중, 지반침하 입력 대화상자에도 사용된다.

Table 4. soil reaction Modulus E'_s ⁶⁾

Soil type-pipe bedding material (Unified Classification System)	E' for degree of compaction of bedding, lb/in ²			
	Dumped	Slight, < 85% proctor, < 40% relative density	Moderate, 85%-95% proctor, 40%-70% relative density	High, >95% proctor, >70% relative density
Fine-grained soils(LL>50) Soils with medium to high plasticity CH, MH, CH-MH	No data available; consult a competent soils engineer; Otherwise use E'=0			
Fine-grained soils(LL<50) Soils with medium to no plasticity CL, ML, CL-ML, with less than 25% coarse-grained particles	50	200	400	1000
Fine-grained soils(LL<50) Soils with medium to no plasticity CL, ML, CL-ML, with more than 25% coarse-grained particles Coarse-grained soils with fines GM, GC, SM, SC contain more than 12% fines	100	400	1000	2000
Coarse-grained soils with little or no fines GW, GP, SW, SP contain less than 12% fines	200	1000	2000	3000
Crushed rock	1000	3000	3000	3000
Accuracy in terms of percentage deflection	±2	±2	±1	±0.5

Table 5. Range of values for Poisson's ratio ν_g ⁷⁾

Soil type	ν_g
Clay, saturated	0.4~0.5
Clay, unsaturated	0.1~0.3
Sandy clay	0.2~0.3
Silt	0.3~0.35
Sand(dense)	0.2~0.4
Coarse (void ratio=0.4~0.7)	0.15
Fine-grained(void ratio=0.4~0.7)	0.25
Rock	0.1~0.4

Table 6. Range of values for γ , E_g and K_{OT} ⁶⁾

Soil type	γ (KN/m ³)	E_g (MPa)	K_{OT}
Loose sand and gravel	20	4~8	0.4~0.6
Medium dense sand and gravel	21	8~24	0.4~0.7
Dense sand and gravel	22	24~50+	0.4~1.0
Soft clay	19	1~3	0.6~1.2
Firm clay	20	3~10	0.8~1.2
Stiff clay	20	10~20	1.0~3.0
Very stiff clay	21	20~40+	2.0~3.5

◆ 차량하중 입력

주 대화상자에서 차량하중 모듈을 선택하면 그림 8과 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 대화상자 안의 그림에 나타난 차량 축간 거리 (A or B) 및 차량의 위치(r)를 입력한다. 차량 축간 거리를 A로 입력한 경우는 차량이 배관 측방향에 평행하게 이동하는 경우이며, B로 입력한 경우는 배관 측방향에 수직하게 차량이 이동하는 경우이다. 배관의 유효 길이 L은 보통 0.9m의 값을 갖는다. 지반의 탄성계수 및 포아송비는 표 5와 6을 참조한다. 바퀴하중(wheel load)은 각 차량의 제원표에 제시되어 있는 한 바퀴당 걸리는 최대무게를 입력한다.

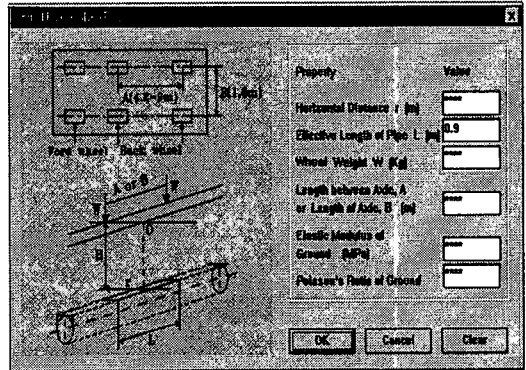


Fig. 8. Dialog box of vehicle load

◆ 열응력 입력

주 대화상자에서 열응력 모듈을 선택하면 그림 9와 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 배관 매설시의 온도와 연중 최고 또는 최저 배관온도를 입력한다.

◆ 지반침하 입력

- Case 1 입력

주 대화상자에서 지반침하 모듈, Case 1 항목을 선택하면 그림 10과 같은 대화상자가 화면

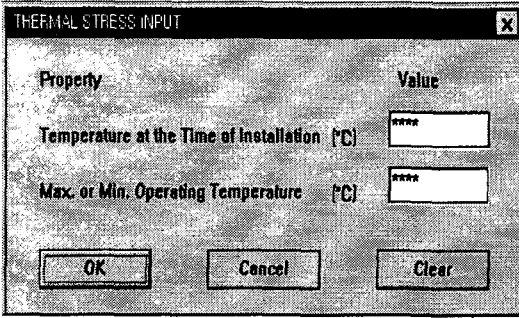


Figure 9. Dialog box of thermal load

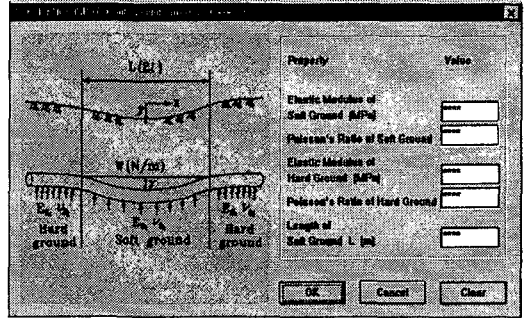


Fig. 11. Dialog box for ground subsidence of case 2

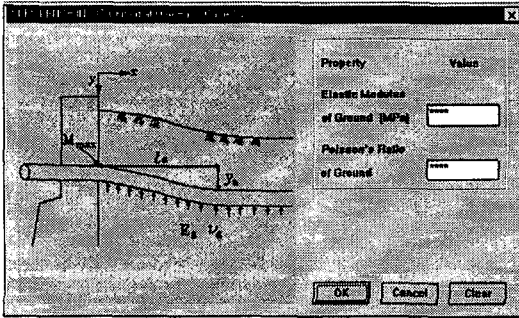


Fig. 10. Dialog box for ground subsidence of case 1

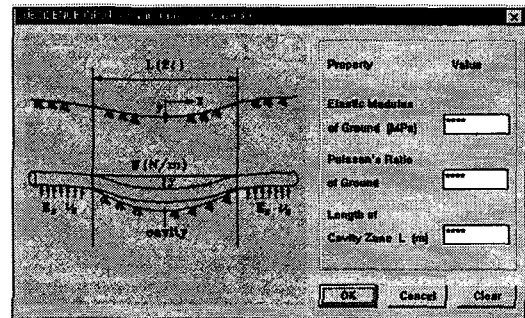


Fig. 12. Dialog box for ground subsidence of case 3

에 표시된다. 이 경우는 일단이 고정된 배관의 침하로서, 배관이 교량 등에 연결되어 있거나 배관 밑에 고정점(지하구조물)이 있는 경우가 이에 해당된다. 지반의 탄성계수 및 포아송비를 입력한다.

- Case 2 입력

주 대화상자에서 지반침하 모듈, Case 2 항목을 선택하면 그림 11과 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 이 경우는 연약지반을 횡단하는 배관의 침하로서, 배관이 논이나 매립지를 통과하는 경우가 이에 해당된다. 연약지반과 견고지반의 탄성계수, 포아송비 및 연약지반의 길이를 입력한다.

- Case 3 입력

주 대화상자에서 지반침하 모듈, Case 3 항목을 선택하면 그림 12와 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 이 경우는 지반반력이 없는 연약지반을 횡단하는 배관의 침하로서, 배관 밑의 지반이 함몰하거나 지진 등에 의하여 지반의 액상화가 일어날 때 발생할 수 있는 지반침하이다. 지반의 탄성계수, 포아송비 및 연약지반의 길이를 입력한다.

- Case 4 입력

주 대화상자에서 지반침하 모듈, Case 4 항목을 선택하면 그림 13과 같은 대화상자가 화면에 표시된다. 이 경우는 주위 굴착 공사에 의한 배관의 침하이다. 지반의 탄성계수, 포아송비, 단위중량 및 측방향 토하중 계수와 굴착 trench의 크기, 배관의 위치를 입력한다.

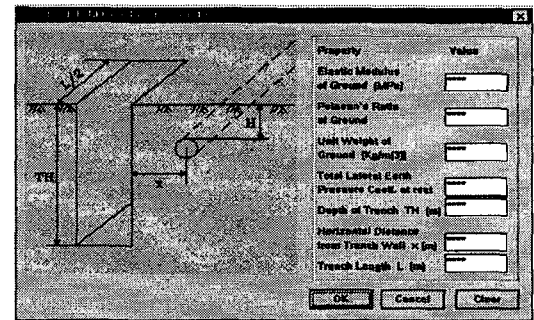


Fig. 13. Dialog box for ground subsidence of case 4

2.2.3 출력

데이터 입력을 마친 후 그림 3의 주 대화상

자에서 [OK] 단추를 누르면 해석이 수행되며, 해석이 끝나면 그림 14, 15와 같은 그래프와 텍스트가 해석 결과로서 화면에 출력된다. 화면에 표시되는 출력 그림은 비트맵 파일로 저장이 가능하다.

최대 원주방향응력, 최대 축방향응력, 유효응력이 막대 그래프로 표시되며, 해석에서 고려한 각각의 하중이 나타내는 응력을 함께 파악할 수 있도록 하였다. 꼭관부에서 내압에 의한 원주방향응력은 그래프에서 (elbow) 항목으로 나타내었다. 그래프 상에 허용응력을 수평 점선으로 표시하여 배관에 발생하는 응력이 허용응력을 초과하는지를 그래프에서 손쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 텍스트에서는 그래프에 나타낸 응력 값들을 숫자로 표시하여 허용 응력과 크기를 비교하였으며, 발생하는 응력과 변형이 허용 기준을 초과하면 "failed", 초과하지 않으면 "safe" 문자가 출력되도록 하였다. 4가지 허용 기준을 검토하여 전체적인 안전 판단을 하게 되는데, 4가지 허용 기준이 모두 만족되어야만 "∴ safe"가 표시된다.

첫 번째인 내압에 의한 원주방향응력에 관한 기준은 ANSI B31.8의 배관설계 기준으로 내압에 의한 원주방향응력이 $F \cdot E \cdot T \cdot \sigma_y$ 이하여야 하는 요건이다.

두 번째 허용응력기준은 한국가스공사에서 발행한 가스배관설계 개론에서 인용한 것으로 전체 기준은 아래의 두 요건으로 구성된다⁷⁾.

- 원주방향응력, 축방향응력 $\leq 2/5 \sigma_f$ (σ_f : 인장강도)
- 유효응력 $\leq 0.9\sigma_y$ (σ_y : 항복응력)

위의 두 요건은 기본적으로 탄소강 강관에 적용되던 기준이다. 그러나 원주방향응력, 축방향응력 허용 기준의 경우에는 30" D 11.9t, 26" D 10.3t 배관의 경우 내압만에 의한 원주방향응력만으로 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이와 같은 문제점은 탄소강 강관과 현재 한국가스공사의 배관재료인 고강력강의 API 강관의 항복응력/인장강도의 비가 크게 다른 점에 기인한다. 탄소강 강관의 경우 API 강관에 비하여 항복응력/인장강도의 비가 작기 때문에 허용 응력의 기준으로 인장강도를 사용하여도 문제가 없지만, API 강관의 경우 항복응력/인장강도의 비가 크기 때문에 인장강도의 2/5 값이 너무 작게 된다. 따라서, API 강관에 적합한 원주방향응력, 축방향응력에 대한 허용 응력도가 새롭게 규정될 필요가 있는 것으로 판단되어 후자의 유효응력 기준만을 본 프로그램의 기준으로 사용하였다.

유효응력은 복합적인 응력상태에서 재료의

항복 유무를 판단할 수 있는 응력 기준으로서, 유효응력이 인장시의 항복응력을 초과하면 재료에 항복이 일어나게 된다. 유효응력의 정의는 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

여기서, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 는 주응력을 의미하며, 각각 원주방향응력, 축방향응력, 반지름방향응력에 해당한다.

세 번째 기준은 유효응력이 σ_y / SF (SF:안전계수) 이하이어야 한다는 것으로 GRI(Gas Research Institute)의 기준이다⁸⁾. 이는 안전계수가 고려되어 매설배관이 설계된 경우에 적용이 가능하다.

네 번째는 배관의 찌그러짐에 의한 외경의 변화량이 3%이하여야 한다는 규정으로 일반적으로 연성관에 많이 적용되는 규정이다^{8,9)}.

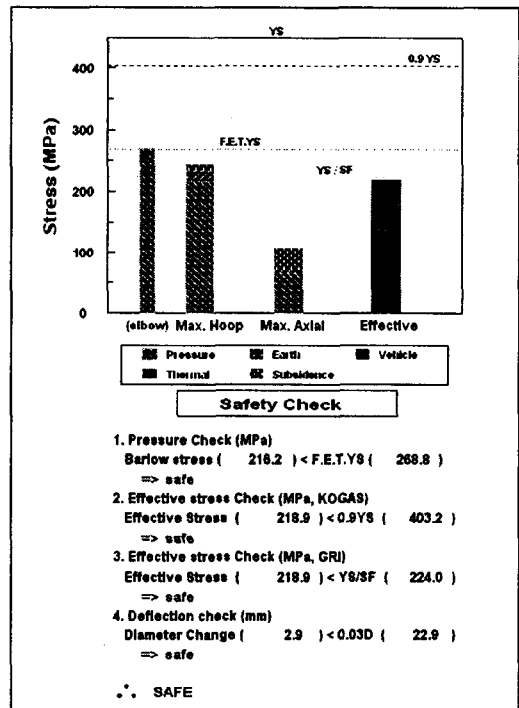


Fig. 14. Results of calculation

그림 14는 지름 30inch, 두께 11.9mm의 API X65 배관에 내압 70kgf/cm², 성토 2m의 토하중과 지반침하 Case 1의 하중이 작용하는 경우를 해석한 결과이며, 이상의 조건에서는 배관이 안전한 상태에 있음을 알 수 있다. 동일한 조건에서 성토의 높이만을 4m로 증가시켜 해석을 한 경우 그림 15와 같은 해석 결과가 출력되는

데, 토하중의 증가에 의한 지반침하의 증가로 축방향응력이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 유효응력이 그림 14의 경우에 비하여 더 크게 증가하여 GRI 안전 기준을 초과한 것을 볼 수 있다.

새로운 해석을 하지 않고 해석된 결과들만을 다시 출력하고자 한다면, 전술한 대로 주 대화상자에서 [Go to Output Session]을 선택한 후 [OK] 단추를 누른다. 그림 4와 같은 결과 파일 디렉토리 창에서 원하는 파일을 선택한 후 [OK] 단추를 누르면 해석 결과가 화면에 출력된다.

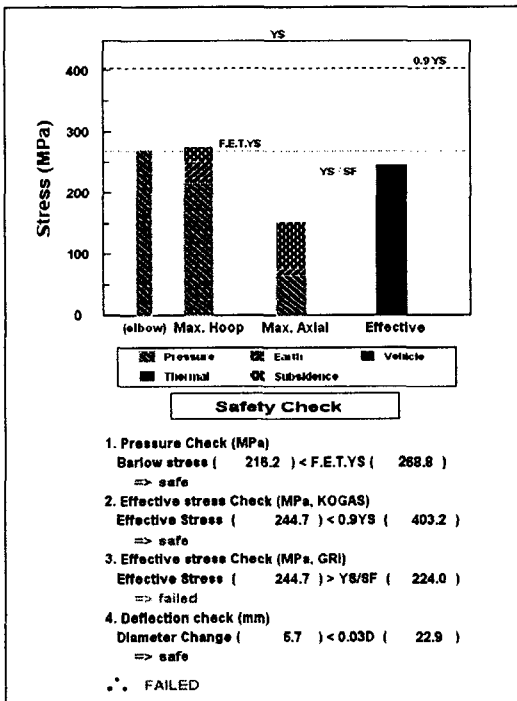


Fig. 15. Results of calculation

3. 결 론

원형 단면의 갖는 긴 직선배관의 매설 배관에서의 내압, 토하중, 차량하중, 열하중, 지반침하에 의해 발생하는 최대응력을 계산하고, 규격의 허용응력 초과여부를 판단하여 주는 응력계산프로그램을 개발하였다. 이는 윈도우타일의 프로그램으로 단순히 배관과 토양에 대한 물성을 입력하면 특정 매설환경에 의해 발생하는 최고 응력을 계산하여 준다.

그러므로 배관유지시 발생할 수 있는 매설깊이, 차량하중, 열하중, 지반침하 등의 다양한 매

설조건 변화에 의해 발생하는 응력을 기존의 수식 및 유한요소해석의 복잡성을 피하여 현장에서 간단히 계산할 수 있게 도와줌으로서 비전문가인 실무자들의 배관의 유지 및 관리에 매우 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) T.D. O'Rourke, "State-of-the-art-review: Practices for Pipeline Crossings at Highways", prepared by Cornell Univ., Topical Report(June, 1987-June 1988), Gas Research Institute, Contract No. 5085-271-1147.
- 2) Masanobu Shinouzuka et al, "Estimation of Structural Strains in Underground Lifeline pipeline pipes", NTIS Technical Report No. NSF-PDR-78-15049-CU-4, March 1979.
- 3) Office of the Federal Register, "Transportations of Natural and Other Gas by Pipelines: Minimum Federal Safety Standards", Code of Federal Regulations, Title 49, Part 192, General Services Administrations, National Archives and Records Service, Washington , D.C., Nov. 1990, pp. 578-633.
- 4) ASME, "ASME Guide for Gas Transmission and Distribution Piping Systems-1986", 6th Ed., ASME, New York, NY, May 1986, p. 325.
- 5) Howard, A., "Modulus of Soil Reaction Values for Buried Flexible Pipe", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. GT1, Jan., 1977, pp. 33-43.
- 6) Bowels, J. E., "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill, New York, 2nd Ed., 1977, pp. 750.
- 7) 한국가스공사 기술개발부 "가스배관 설계 개론" 1986.
- 8) T.D. O'Rourke, A.R. Ingraffea et al, 1998, "State of the art review: Practice for Pipeline Crossings at Highways", Topical Report(June1987-June1988), GRI-88/0287.
- 9) A.P. Poster, Ph.D., "Buried Pipe Design, "McGraw - Hill(1990).