

# 연성이음관의 변형억제방안에 관한 수치모델연구( I ): 기초지반 보강효과

Numerical Model Study on a Scheme to Restrain Deformation of a Conduit with Flexible Joint( I ): Effectiveness of Soil Reinforcement

손 준 익\*1

Sohn, Joon-Ik

정 하 익\*2

Jung, Ha-Ik

---

## Abstract

This paper reports the application study of the ground reinforcement under a buried conduit subjected to differential settlement via a finite element modeling. The soil-reinforcement interaction helps to minimize the differential settlement between the adjoining conduit segments. Three different field conditions have been considered. The settlement pattern and deformation slope have been evaluated for each boundary condition. The analysis results are compared for both non-reinforced and reinforced case to measure the effectiveness of the soil reinforcement for restraining deformation of the conduit.

## 요 지

본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 부등침하를 받는 매설관 이음부 하부의 지반보강에 관한 적용성을 검토하였다. 지반과 보강재 사이에 발생하는 상호작용을 규명하여 연성이음관의 변형억제 효과를 분석하였다. 지반부등침하가 발생하는 현장조건을 크게 세가지로 구분하였으며 각 경계조건 별로 보강재 설치에 따른 매설이음관 침하의 변화형태, 변형경사각의 변화형태를 살펴보았다. 해석 결과는 보강과 비보강 조건을 서로 비교 검토하여 기초지반 보강에 의한 연성이음관의 침하억제 효과를 살펴보았다.

---

## 1. 서 론

지중매설관의 설계에 있어서는 통상적으로 매설관에 작용하는 상재하중에 대한 관 단면방

향의 변형을 고려하고 있다. 그러나 연약지반과 같이 큰 지반침하가 예상되는 현장조건에서는 상수관과 같은 강성이음관의 경우 축방향으로 인장이나 휨 변형이 유발되어 과도할 경우 관의 뒤틀림을 초래할 수 있으며, 우수 및 하수관과

---

\*1 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*2 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

같은 연성이음관인 경우에는 이음부 파열 형태의 파괴가 전형적으로 발생된다. 최근에 본 연구진은 지반 부등침하에 대한 매설관의 축방향 변형을 감소시키기 위한 방안으로 매설관 배딩의 강성을 증가시키는 방법, 양질토로 주변연약토를 치환하는 방법, 매설관 하부의 지반을 보강하는 방법 등에 관하여 연구한 바 있다.<sup>1)</sup> 이 중 본 논문에서는 우수 및 하수관과 같은 연성이음관을 대상으로 매설관 기초지반 보강방법에 관하여 소개하고자 한다.

지반보강을 위한 방법으로 지반내에 보강재를 삽입하여 흙과 보강재의 마찰저항력으로부터 지반의 강성을 증가시키는 보강토 공법이 여러가지로 응용되어 왔다. 암거의 축방향 변위를 억제하는 목적으로도 보강토를 사용한 예는 일부 보고 되고 있으며 국내에도 특정한 지역에서는 적용한 사례가 있다. 그러나 그 적용 사례가 충분히 연구되어 있지 않고 이에 대한 타당성이 공학적으로 입증되어 있지 않은 실정이다. 따라서 이에 대한 해석적 및 실험적 연구를 통하여 보강재 이용에 대한 신뢰성을 입증하고 특히 국내 연약지반상의 적용성 여부에 대한 검토가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 실내모형 실험을 통하여 그 적용성이 입증된 프로그램을 이용하여<sup>2)</sup> 지반과 보강재 사이에 발생하는 상호작용을 규명하며 연성이음관의 변형억제효과를 분석하고자 하였다. 연약지반과 같이 지반침하가 큰 현장조건에서는 지반과의 결속력이 큰 지오그리드 형태의 보강재를 사용하는 것이 합당하므로 본 논문에서는 보강재와 주변흙과의 미끌어짐이 억제된 경우를 대상으로 보강효과를 분석하였으며 양질의 모래, 자갈층을 포설하여 보강재로 보강한 조건을 검토하였다.

지반부등침하가 발생하는 현장조건을 크게 세가지로 구분하여 각 경계조건 별로 연성이음관의 변형형태를 검토하였다. 고려된 경계조건은 연성이음관과 구조물 접합부의 경계조건, 비균등 지반 경계조건, 국부적 하중 경계조건이다. 각 경계 조건별로 보강재 설치에 따른 관의

침하량 변화 형태, 관의 변형경사각 변화 형태를 살펴보았다. 지반 보강재의 상호작용을 모사하기 위하여 접촉면 모델이 적용되었으며 보강재 요소는 등방선형 변형률 경화현상을 나타내는 탄소성체로 모델링하였다.

## 2. 유한요소 모델링

### 2.1 현장조건과 유한요소망

본 연구에서는 지반부등침하가 발생하는 현장조건을 그림 1과 같이 크게 세가지 경계조건으로 구분하였으며 이에 대한 유한요소망과 경계조건을 그림 2와 같이 이상화하여 모델링하였다.

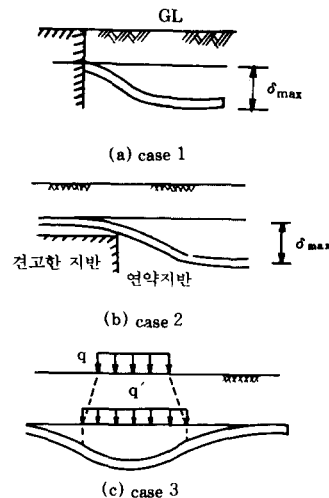


그림 1. 지반부등침하에 대한 지중매설관의 변형 경계조건

본 해석은 매설관의 축방향 변형특성을 규명하는 것이 목적이므로 3차원으로 해석되어야 하지만 편의상 2차원으로 이상화 하였으며 관을 보로 모델링하였다. 요소의 양단경계는 수직 방향으로만 변위를 일으키는 roller로 가정하였다.

흙의 거동은 비선형적이고 응력이력(stress history)에 의존하므로 초기응력조건(initial

stress condition)을 지정하였으며 요소의 단위 중량과 위치를 고려하여 산정되었다. 흙은 쌍곡선 모델(hyperbolic model)에 의거하여 균질한 연속체로 가정하였다. 하중조건으로는 지표에 등분포 하중을 재하시켰고 비선형성(nonlinearity)과 하중이력(load history)을 고려하기 위해 증분법(incremental analysis)을 적용하였으며 이력함수(history function)를 도입하였다.

첫째의 현장조건(case 1)은 그림 1(a)에서와 같이 관로의 한쪽 끝이 건물이나 맨홀같은 구조물에 고정되어 있어 지반침하가 발생함에 따라 암거의 상대변형이 초래되는 경우이다. 해석에 적용된 유한요소망과 경계조건은 그림 2에 도시된 바와 같다. 관은 좌측단부만을 고정시켰으며 관의 직경은 1.0m, 관부재의 단위 길이는 2.5m이고 관 이음부는 연성이음부를 모사하여 비등방성 탄성체로 모델링하였다.

두번째의 고려대상 현장조건(case 2)은 그림 1(b)에서와 같이 긴 연속 매설관 구간에서 비균등 지반조건으로 인하여 부분적으로 지반침하가 발생하여 매설관의 상대변형이 초래되는 경우이다. 해석에 적용된 유한요소망과 경계조건은 대부분의 내용이 첫째 조건과 유사하나 매설관의 양단부가 롤러조건이며 비균등 지반조건을 모의하도록 견고한 지반구간을 그림에서 사선 친 부분과 같이 지정한 것이 다르다. 해석의 편의상 대칭 조건의 한쪽만을 고려하였으며 압축성 연약지반의 범위는 중심측에서부터  $L/2=10, 15, 20\text{m}$  떨어진 위치까지를 각각 고려하였다. 관하부에서부터의 연약지반의 두께  $H$ 는 50m로 일정한 값을 지정하였다. 따라서 해석대상 조건으로 수평 및 수직 방향에 대한 연약지반 구간의 상대비는  $L/2H=0.2, 0.3, 0.4$ 가 된다.

세번째의 고려대상 현장조건(case 3)은 그림 1(c)에서와 같이 긴 연속 매설관 구간에서 국부적으로 지표 상재하중이 작용하여 매설관의 상대변형이 초래되는 경우이다. 해석에 적용된 유한요소망과 경계조건은 두번째 조건과 거의 유

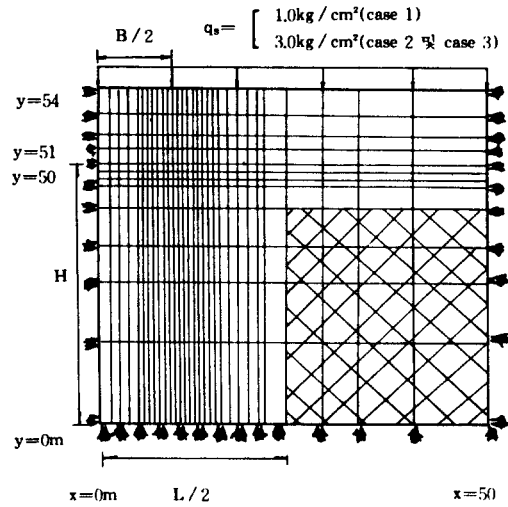


그림 2. 유한요소망

사하며 다른점은 견고한 지반구간이 전부 연약 지반으로 변경되었으며 상재하중  $q_0$ 가 국부적으로 작용한다는 것이다. 해석의 편의를 위하여 역시 대칭 조건의 한쪽만을 고려하였으며 하중 재하 폭은  $B/2=10\text{m}$ 이며 압축성 지반의 깊이를  $H=10\text{m}, 30\text{m}, 50\text{m}$ 로 변화를 두어  $B/2H=1.0, 0.33, 0.2$ 가 각각 되도록 하였다.

## 2.2 각 요소의 모델링

본 연구에 적용되는 요소는 흙요소, 관요소, 이음부요소, 보강재 요소이며 여기에서는 각 요소를 간략하게 서술하기로 하고 기타 자세한 것은 참고문헌에 상술된 내용을 참조하기로 한다.<sup>2)</sup>

흙요소는 Kondner가 제안하고 Duncan이 발전시킨 쌍곡선 모델(hyperbolic model)을 사용하여 모사하였고<sup>4), 5)</sup>, 체적변화를 잘 모사하기 위하여 Herrmann이 제안한 계산식을 추가하여 도입하였다.<sup>6)</sup> 해석에 사용된 매개변수의 수치는 참고문헌<sup>2)</sup>에 제시된 수치와 같다.

관요소는 선형 등방성 탄성모델로 모델링하였다. 앞에서 언급된 바와 같이 관해석을 보

로 가정하여 종방향에 대한 변형을 해석하고자 하였으므로 3차원의 형상을 2차원으로 단순화 시키려면 원통형의 관 단면을 사각형 형태의 보로 변환시켜야 한다. 또한 사용된 프로그램은 평면변형(plane strain) 조건을 대상으로 해석하게 되어 있으므로 축방향 변위의 구속을 제거 시키기 위하여 등가의 변형계수를 지정하여야 한다.<sup>2)</sup> 본 해석에 사용된 관재질의 물성치는 탄성계수  $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  포아슨비 0.15, 밀도  $2.0 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ 을 각각 사용하였다.

이음부 요소는 수직, 수평방향으로 변위를 제어하기 위하여 선형 비등방성 탄성모델을 사용하였다. 사용된 이음부 요소의 물성치는 참고문헌<sup>2)</sup>에 제시된 수치와 같다.

보강재요소는 변형경화 형태의 거동을 나타내는 탄소성재료 취급하였으며 이것의 응력-변형을 관계곡선은 그림 3과 같다. 보강재요소의 물성치는 참고문헌<sup>2)</sup>에 제시된 수치와 같다

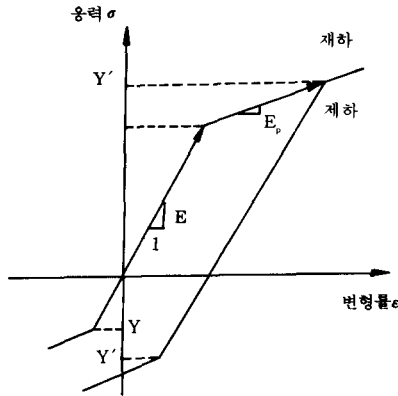


그림 3. 보강재 요소의 거동 특성

적용된 지반-보강재 상호작용 모델은 그림 4에 나타낸 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 보강재 주변 지반과 보강재와의 미끄러짐은 가상적으로 설치한 부착 스프링에 의해 조절이 되도록 되어 있다. 접촉부에서의 거동을 표현하기 위하여 동일한 좌표값을 가지는 한쌍의 격점을

만들어서 하나는 지반에 다른 하나는 보강재에 부착하고 이 두개의 격점사이에 수직 및 접선 방향의 스프링을 부착하였다. 보강재의 수직방향에 대하여는 지반과 보강재가 서로 같은 변위를 나타내지만 접선 방향으로는 상대변위  $\delta$ 에 의하여 서로 다르게 나타난다. 접착면에서의 전단응력이 최대 허용부착응력에 도달하였을 때에는 미끄러짐 상태(ISPRG=0)가 되며 상대변위  $\delta$ 는 미끄러짐량이 된다. 그러나 부착이 깨어지지 않았을 때(ISPRG=1) 상대변위  $\delta$ 는 균등하게 분포된 가상의 부착 스프링에 의하여 구속된다. 따라서 가상 스프링의 강성  $X_k$ 를 변화시켜 보강재의 미끄러짐 상태를 적절하게 모델링할 수가 있다.

접촉부에서의 최대 부착응력  $\tau_{max}$ 는 Coulomb의 법칙, 즉  $\tau_{max} = C + f\sigma_n$ 에 의해서 구해진다. 만약에 이것이 초과되면 지반과 보강재에 하중으로 작용하고 있는  $\tau_{max}$ 에 의하여 미끄러짐이 구속된다. 상대변위중분( $\delta$ )계산시 ISPRG=0 또는 ISPRG=1이 적용되는가 하는 것은 발생된 전단 응력이 최대 부착전단응력( $\tau_{max}$ )을 초과하느냐의 여부에 따라 결정된다.

위에 언급한 바와 같이 정확한 지반-보강재 사이의 미끄러짐을 모사하기 위해서는 적절한 부착 스프링계수, 마찰계수 그리고 점착력이 선정되어야 한다. 해석에 적용된 보강재는 지반과 완전히 결속을 이룬 경우를 고려하여 미끄러짐 변형은 별도로 고려하지 않았다.

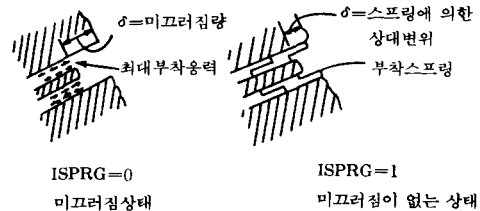


그림 4. 흙과 보강재의 상호작용

### 3. 해석결과 분석

앞에서 언급한 세가지 경계조건에 대하여 유한요소해석을 실시하였으며 연성이음관의 침하와 변형을 위주로 하여 해석결과를 분석하였다.

#### 3.1 연성이음관의 침하량 변화형태

지표면에 상재하중  $q_s$ 를 재하시켜 매설관에 부등변형을 유발시켰다. case 1과 case 2의 경우는  $q_s=1.0\text{kg/cm}^2$ 으로  $0.2\text{kg/cm}^2$ 씩, case 3의 경우는  $q_s=3.0\text{kg/cm}^2$ 로  $0.5\text{kg/cm}^2$ 씩 각각 점진적으로 증가시켰다. 비보강의 경우와 보강의 경우를 상호비교하여 지반보강에 의한 매설관의 변형억제 효과를 분석하였다.

지표 상재하중의 증가에 따른 관의 침하형태를 도시하면 그림 5와 같다. 여기에서 가로축은

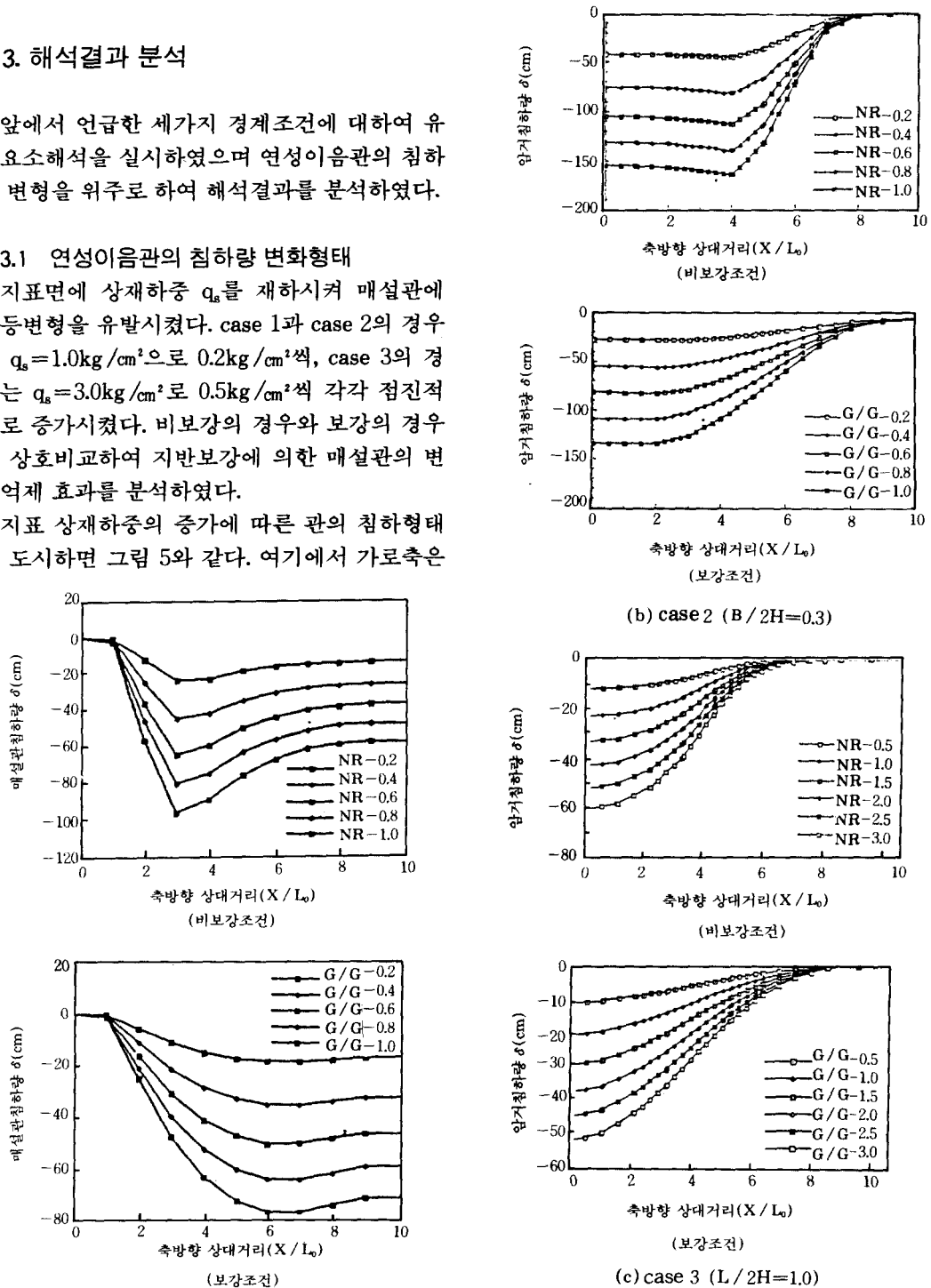


그림 5. 연성이음관의 침하형태

암거의 축방향 상대거리  $X/L_0$ 를 나타내고 있으며 상대거리는 해석대상 중앙지점에서부터의 관거 축방향 거리  $X$ 를 관 단위길이  $L_0(2.5m)$ 로 나눈 값이다. 본 해석에서 고려한 매설관의 총 길이 구간은  $X=50m$ 이지만  $X/L_0$ 가 10 이상이 되면 두 경우 침하량의 값들이  $X/L_0=10$ 에서의 값과 별다른 차이가 없기 때문에  $X/L_0=10$ 이내의 구간까지만 도시하여 비교하였다. 범례표기요령은 좌측의 영문기호는 해석일련 부호이고 우측의 숫자는 상재하중  $q_s$ 의 크기를 나타낸다. 지면관계상 case2의 경우는  $L/2H=0.3$ , case 3의 경우는  $B/2H=1.0$ 인 조건만 수록하였으며 나머지 조건의 결과자료는 참고문헌<sup>1)</sup>을 참조하기로 한다.

그림 5에서 보는 바와 같이 보강조건의 경우가 비보강조건에 비하여 침하곡선 형태가 완만하며 최대침하량이 감소함을 알 수 있다. 예를 들어 살펴보면 case 1의  $q_s=0.4kg/cm^2$ 인 경우 관의 최대침하량은 비보강 조건에서 약 42cm, 보강조건에서 약 35cm를 각각 나타내어 보강 후에 보강전 최대침하량의 약 17%가 감소되었음을 보인다. 또한 case 2의  $q_s=0.4kg/cm^2$ 인 경우는 최대침하량이 약 80cm와 57cm를 각각 나타내어 약 29%가 감소되었고 case 3의  $q_s=1.0kg/cm^2$ 인 경우는 최대침하량이 각각 23cm와 20cm를 나타내면서 보강후 약 13%가 감소함을 보인다.

또한 최대침하량 발생지점도 case 1의 경우  $X/L_0=3$ 인 지점에서  $X/L_0=6$ 인 지점으로 이동하여 침하곡선이 완만한 형태를 보이고 있으며 case 2와 case 3의 조건에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있다. 이와같이 완만한 침하곡선을 보임은 보강재와 주변지반의 상호작용에 의한 응력전이 메카니즘으로 부등지반침하에 따른 집중된 응력을 주변지반으로 분포시켜 주기 때문이다.<sup>2)</sup>

그림 6의 그래프는 그림 5에서 나타낸 관거 축방향 거리  $X$ 지점에서 발생한 침하량을 최대 발생침하량으로 나눈 값들을 연결하여 도시한 곡선으로 상대침하비 곡선이라 정의하였다. 이는 하중크기 혹은 최대 침하량  $\delta_{max}$ 에 관계없이 일정한 곡선형태를 나타내므로 현장에서 예상되는 최대침하량  $\delta_{max}$ 가 주어지면 상대침하비 곡선을 이용하여 각 조건별로 침하량을 산출할 수 있다. 범례에서 NR은 비보강 상태를  $G/G$ 는 보강상태를 의미한다.

### 3.2 연성이음관 변형경사각의 변화형태

관거가 그림 7과 같은 형태의 연성이음부로 연결되어 있는 경우 관의 부등침하로 인하여 이음부에서는 관이 일정량 회전하여 경사각을 이루게 되며, 이것이 과도한 경우 이음부의 파열

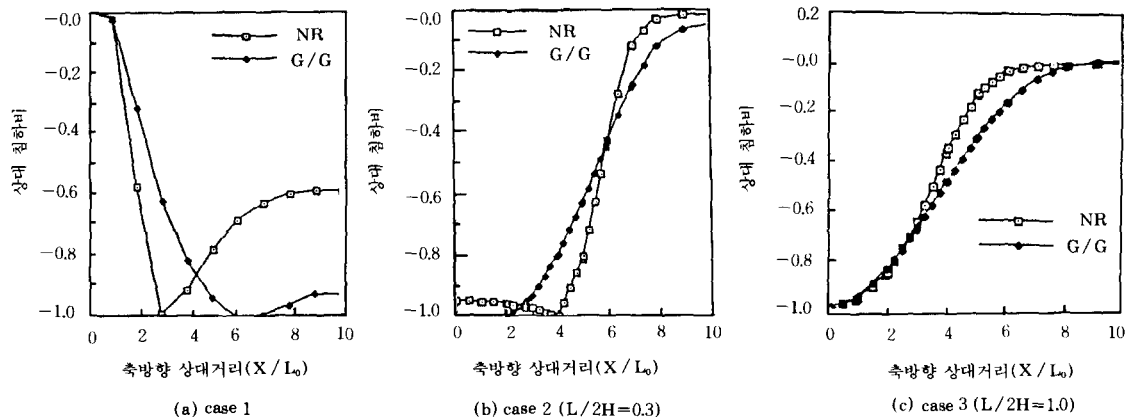


그림 6. 연성이음관의 상대침하비 곡선

을 초래할 수 있다. 따라서 이음부에서 지반부 등침하에 의하여 발생된 관의 기울어짐 정도는 중요한 설계변수가 되며, 본 논문에서는 이를 변형경사각이라 정의하였다. 변형경사각이란 그림 7에서 보는 바와 같이 그림 2의 유한요소망에서 X=0에서부터 시작하여 각 매설관 구간의 침하곡선 기울기의 차를 의미한다. 즉 한 이음부에서의 변형경사각  $\theta$ 는 우측 매설관 침하곡선 경사각에서 좌측 매설관의 침하곡선 경사각을 제한 값으로 시계방향이면 플러스, 시계 반대 방향이면 마이너스 부호로 정의하였다.

영국 National Coal Board에 의하면 그림 7과 같은 소켓형 이음부가 허용할 수 있는 최대 변형경사각은 광산지역과 같이 지반침하가 과다하게 발생할 수 있는 조건하에서는 다음과 같이 제시되고 있다.<sup>3)</sup>

$$\theta_{all} = \left(\frac{180}{\pi}\right) \left(-\frac{12Ln}{200Bc}\right) = \frac{3.45}{Bc} Ln(^{\circ}) \quad (1)$$

여기에서 Ln=관의 유효길이(ft), Bc=관 스프루트의 외경(in)를 의미한다.

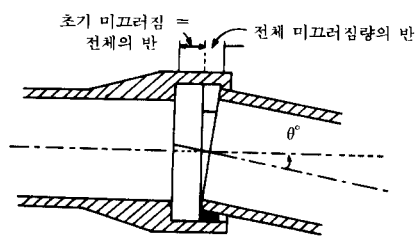


그림 7. 관거 이음부의 변형경사각

매설이음관의 침하형태에 따른 변형경사각을 살펴보기 위하여 그림 5에 대한 하중 증가별 변형경사각 곡선형태를 그림 8에 도시하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 하중이 증가할수록 변형경사각  $\theta$ 가 증가하며 지반보강에 의하여 매설관의 변형경사각이 상당히 감소하였음을 알 수 있다.

case 1의  $q_s=0.4\text{kg/cm}^2$ 인 경우 비보강 조건에서  $\theta$ 의 최대치는 약  $5.2^{\circ}$ , 보강조건에서 약

$2.2^{\circ}$ 를 나타내며 보강후에는 보강전  $\theta_{max}$ 의 약 58%가 감소함을 보이고 있다. case 2의  $q_s=0.4\text{kg/cm}^2$ 인 경우에는 각각 약  $9^{\circ}$ 와  $2.7^{\circ}$ 를 나타내므로 약 70%가 보강으로 인하여 감소하였음을 나타내고 있다. 또한 case 3의  $q_s=1.0\text{kg/cm}^2$ 인 경우에는  $\theta_{max}$ 이 각각  $0.7^{\circ}$ 와  $0.4^{\circ}$ 로 약 43%의 보강에 의한 감소효과를 나타내고 있으나 case 1과 case 2에 비하여 그 절대치가 상대적으로 매우 작다.

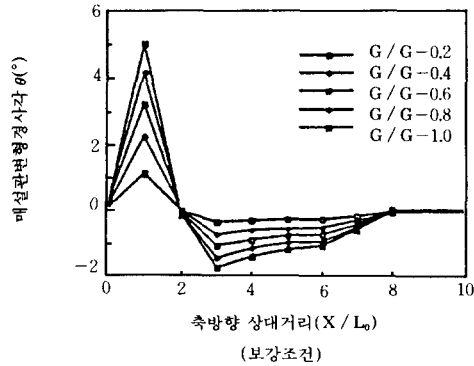
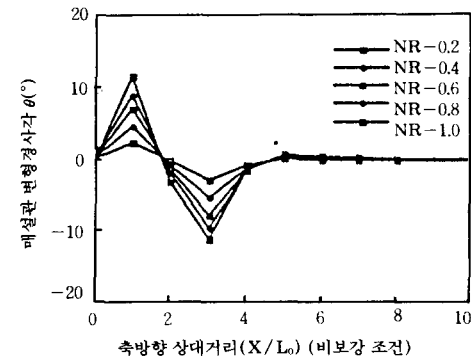
지반보강에 의한 영향으로 변형경사각  $\theta$ 의 크기가 감소할 뿐만 아니라 관저 축방향 거리에 따른  $\theta$ 치의 분포형태에도 큰 차이를 나타낸다. 보강조건의 최대변형경사각 발생지점 위치는 비보강조건과 비교하여 대체적으로 비슷하나 경우에 따라 다소 이동됨을 보이고 있으며 최대치 발생지점 인근 지역으로 변형을 분산시켜 완만한 변형경사각 분포형태를 나타내고 있다.

참고로 식 (1)의 기준으로 볼때  $\theta$ 의 허용치는 직경 1.0m, 길이 2.5m의 관의 경우 약  $4^{\circ}$  미만이 되는데 본 해석자료 중에서는  $\theta$ 최대치가 그 이상이 되는 경우가 많이 있다. 이는 수치해석 가정사항에 있어서 재질을 연속체로 가정하여 과다한 변형까지 계산할 수 있기 때문에 가능한 것이며, 계산된 수치는 상대적인 비교 기준으로 활용될 수 있기 때문에 작은 수치 자료와 함께 비교 도시하였다.

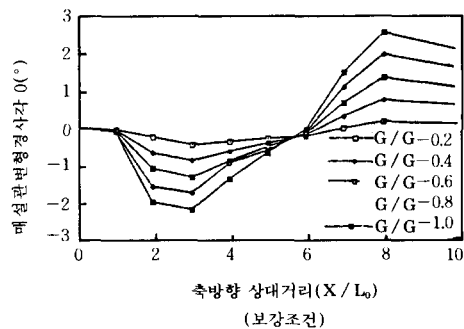
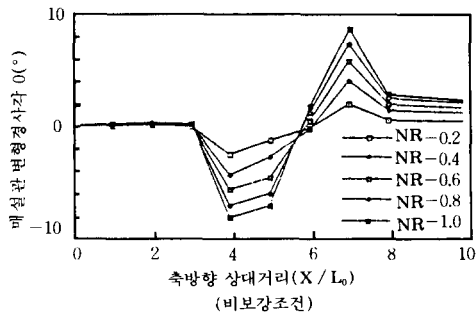
#### 4. 결 론

본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 부등침하를 받는 지중 연성이음관의 기초지반 보강에 의한 변형억제효과를 살펴보았다. 지반 보강 재료는 지오그리드와 같이 주변 흙과의 미끌어짐이 억제된 경우를 대상으로 지반-보강재 상호작용을 고려하여 보강효과를 분석하였다. 그리고 지반부등침하 현장조건을 3가지로 구분하여 각 경계조건 별로 연성이음관의 침하량과 변형경사각을 비교하여 보강효과를 분석하였으며 이상에서 도출된 결과는 다음과 같이 요약된다.

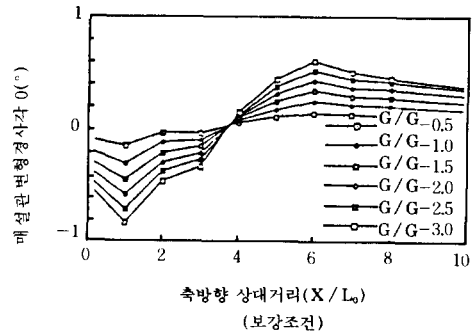
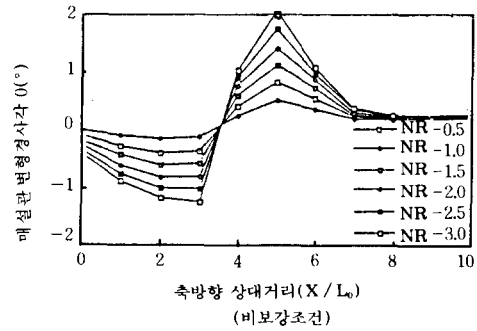
1) 연성이음관의 기초지반 보강에 따른 지반



(a) case 1



(b) case 2 (L/2H=a3)



(c) case 3 (B/2H=1.0)

그림 8. 연성이음관의 변형경사각

-보강재의 역학적 상호작용에 의하여 부등침하를 받는 연성이음관은 변형 감소효과를 나타낸다.

2) 기초지반 보강으로 인하여 연성이음관의 최대 침하량이 상당히 감소하였으며 침하형태는 부분적으로 침하가 집중되지 않고 완만한 침하곡선을 나타낸다. 그리고 작용하중 크기 또는 최대침하량에 상관없이 하나의 상대침하비곡선으로 나타낼 수 있다.

3) 기초지반 보강에 의하여 연성이음관의 변형경사각은 그 최대치가 현저하게 감소함을 보이고 최대치 발생지점 부근에서 완만한 분포형태를 나타낸다.

본 연구에서 지반부등침하 현장조건을 대상으로 각 경계조건별로 분석한 수치해석 자료는 제한된 조건에서 해석적 기법을 이용하여 산출된 것이므로 한정된 결론을 유추하여 일반 현장조건에 적용하기에는 아직 미흡한 감이 있다. 그러나 연성 이음관의 기초지반 보강으로 인한



침하 억제효과는 역학적으로 그 타당성이 입증되었다 할 수 있다. 그리고 수치해석 자료로 제시된 침하곡선과 변형 경사각 곡선은 단순화된 현장조건을 고려할 경우 설계를 위한 참고자료로 활용될 수 있으리라 보며 향후 시험시공과 계측 등을 통하여 현장에서 측정된 자료와 비교 검토하여 해석 결과의 검증에 거친 후 실용화하는 것이 바람직하다.

### 감사의 글

본 연구에 후원을 아끼지 않은 한국토지개발공사 기술연구부와 연구수행에 도움을 준 한국건설기술연구원의 홍성완 박사 그리고 강인탁 연구원에게 본지면을 통하여 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 손준익 외 3인(1990), "연약지반 매설암거의 설계 및 시공에 관한 연구(Ⅱ)", 한국토지개발공사.
2. 손준익, 정하익, 홍성완, 강인탁(1991), "부등침하를 받는 매설관 기초지반보강 모델링 연구", 대한토질공학회지 제7권 제1호, pp.33~39.
3. Clarke, N.W.B(1968), "Buried Pipelines: A Manual of Structural Design and Installation," Maclaren and Sons, London, pp.161~165.
4. Duncan, J.M., and Chang, Y.Y.(1970), "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils", Journal of the Soil Mechanic and Foundation Division, ASCE, Vol. 96, No. SM5.
5. Duncan, J.M., Byrne P., Wong K.S. and Mabry P.(1980), "Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analysis of Stresses and Movements in Soil Masses", Report No. UCB/GT/80-01, University of California, Berkeley.
6. Herrmann, L.R.(1970), "User's Manual for REA(General Two-dimensional Soils and Reinforced Earth Analysis Program)," Dept. of Civil Engineering Report, University of California, Davis.
7. Sohn, J.I., Lee, W.J., and Lee, B.S.(1990) "Soil-Reinforcement Interaction under a Joint of Buried Conduit", Proceedings of 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Vol.2, pp.839~844.

(접수일자 1991. 6. 21)