연성이음관의 변형억제방안에 관한 수치모델연구(Ⅱ): 콘크리트베딩 보강효과

Numerical Model Study on a Scheme to Restrain Deformation of a Conduit with Flexible Joints(Ⅱ): Effectiveness of Concrete Bedding Reinforcement

손 준 익*1
Sohn, Joon-Ik
정 하 익*2
Jung, Ha-Ik

Abstract

This paper reports the application study of the concrete bedding reinforcement under a buried conduit with flexible joints subjected to differential settlement via a finite elemen modeling. The reinforcement of concrete bedding helps to minimize the differential settlement between the adjoining conduit segments. Three different field conditions have been considered. The settlement pattern and deformation slopehave been evaluated for each boundary condition. The analysis results are compared for both non-reinforced and reinforced cases to measure the effectiveness of concrete bedding reinforcement for restraining deformation of a conduit with flexible joints.

요 지

본 연구에서는 부등침하를 받는 매설관 연성이음부 하부의 베딩보강에 관한 적용성을 유한요소해석을 통하여 검토하였다. 매설관 하부 기초지반에 설치된 콘크리트 베딩의 강성 변화에 따른 연성이음부의 변형억제효과를 분석하였다. 지반부등침하가 발생하는 현장조건을 크게 세가지로 구분하였으며 각 경계조건별로 베딩강성 변화에 따른 연성이음관의 변형형태를 살펴보았다. 해석결과는 보강과 비 보강조건을 상호 비교 검토하여 콘크리트 베딩보강에 의한 연성이음관의 침하억제효과를 살펴보았다.

1. 서 론

최근 해안매립지와 내륙의 연약한 저습지 등의 연안지반에 간척부지 조성을 위한 공사가 활발히 진행됨에 따라 연약지반 처리에 관한 기술적 뒷받침이 현실적 당면과제로 직면하고 있다. 연약지반과 관련된 여러가지 기술적 문제로서

*1 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
*2 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

단지조성과 관련하여 고려되어야 할 것 중의 하나가 매설암거의 설계와 시공이다. 특히 연약지반의 매립지에서의 지반침하로 인한 관의 파손을 방지하기 위한 암거의 안전설계는 매우 중요한 문제라 하겠다.

연약지반 매립지에서 지반침하로 인한 매설관의 파손을 방지하기 위하여 여러가지 방법들이 개발되었고 이중 통상적으로 사용되어 왔던 것이 매설암거 기초부에 말뚝을 설치하여 상재하중을 견고한 기초위에 직접 전달시키는 방법이라 할 수 있다. 그러나 이 공법은 공사비가 많이 소요되어 중요한 암거구조물이 아닌 경우에는 많이 사용되고 있지 않다. 또한 이 방법은 암거주변의 지반이 침하함에 따라 견고한 기초위에 설치되어 있는 암거에 정돌출(positive projection) 조건을 초래하면서 암거에 하중을 부가시키고 이로 인하여 암거단면 두께를 더욱 증가시켜야 하는 단점도 있다. 또한 최근에 매설관의 축방향 변형을 감소시키기 위한 방안으로 매설관 콘크리트 베딩 강성을 증가시키는 방법, 양질토 치환방법, 매설관 기초지반 보강방법 등이 연구된 바 있다.[1),2),3),7)]

본 연구에서는 콘크리트 베딩기초의 강성을 증가시켜 암거의 축방향 변위를 억제시키는 방안에 관하여 그 효용성을 수치해석을 통하여 분석하였다.[6)] 해석범위는 우수 및 하수관과 같은 연성이음관의 변형을 대상으로 국한하였다. 지반부등침하가 발생하는 현장조건을 크게 세가지로 이상화 하였으며 각 경계조건별로 매설관 침하량 변화형태와 매설관 변형경사각의 변화형태를 분석하였다.

2. 유한요소망과 경계조건

연약지반 매립지에 지반부등침하가 발생하여 암거의 상대변형이 초래될 수 있는 조건은 무한히 많은 경우를 생각할 수 있으나 본 연구에서는 그중 대표적인 현장조건을 다음의 세가지 유형으로 구분하여 이상화 하였다.

case 1: 관로의 한쪽 끝이 건물이나 맨홀같은 구조물에 고정이 되어 있는 경우

case 2: 긴 연속 암거구간에서 비균등 지반조건으로 인하여 부분적으로 지반침하가 발생되는 경우

case 3: 긴 연속 암거구간에서 국부적인 지표상재하중이 작용하는 경우

해석에 적용된 유한요소망과 경계조건은 그림 1에 나타낸 바와 같다. 편의상 세가지 경계조건을 한 그림으로 나타내었으며 각 조건별로 특기할 만한 사항들만 언급하고 기타의 내용은 참고문헌[1),3)]을 참조하기로 한다. 해석의 편의상 대칭조건의 한쪽만을 고려하였다.

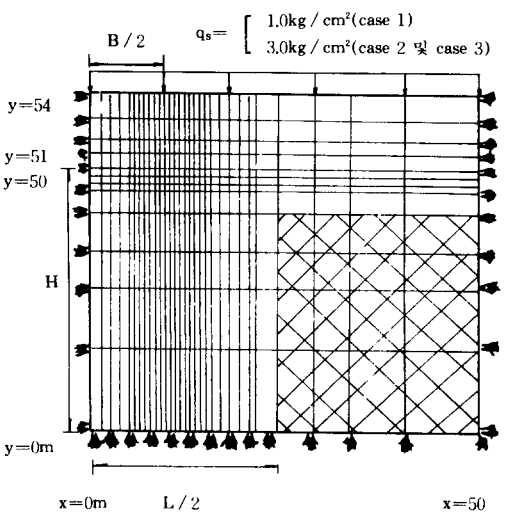


그림 1. 유한요소망

case 1에서는 관을 좌측 단부만을 고정시켰으며 양단 경계는 수직방향으로 자유롭게 변위를 일으키고 수평방향으로는 변위를 제한한 roller로 간주하였다. 압축성 연약지반의 두께는 50m로 지정하였다. case 2에서는 경우 1과 대부분 조건이 동일하며 관거의 양단부가 roller조건이고 비균등 지반을 모의하도록 그림 1에서 사선 친 부분을 견고한 지반구간으로 지정한 것이 다르다. 압축성 연약지반의 범위는 중심측에서부터 L/2=10m, 15m, 20m 떨어진 위치를 각

각 고려하였다. case 3에서는 case 2와 대부분 조건이 동일하며 다른 점은 견고한 지반구간이 전부 연약지반으로 변경되고 상재하중 q_s가 국부적으로 재하된다는 것이다. 하중재하폭은 B/2=10m로 고정시키고 압축성 지반의 깊이를 H=10m, 30m, 50m로 변화를 두었다.

상재하중 q_s의 재하조건은 비 선형성(non-linearity)과 하중이력(loading history)을 고려하기 위하여 case 1은 q_s=1.0kg/㎠로 0.2kg/㎠씩, case 2와 case 3은 q_s=3.0kg/㎠로 0.5kg/㎠씩 각각 점진적으로 증가시켰다.

흙 요소는 쌍곡선 모델(Hyperbolic model)에 의거하여 균질한 연속체로 가정하였다.[4), 5)] 관요소는 3차원적 형상을 이차원의 보로 이상화 하여 선형 등방성 탄성모델로 모델링하였다. 관의 직경은 1.0m, 관 부재의 단위길이는 2.5m로 가정하였다. 관이음부 요소는 연성이음부를 고려하여 수직, 수평 방향으로 변위를 제어하였고 선형 비등방성 탄성모델을 사용하였다. 각 요소의 물성치는 참고문헌[2)]에 제시된 수치와 같다. 그리고 베딩요소는 철근콘크리트의 강성을 고려하여 선형등방 탄성모델로 모델링 하였고 베딩두께는 20, 30, 50cm로 변화를 주어 그 차이를 비교 분석하였다. 물성치로는 탄성계수 251,840kg/㎠, 포아슨비 0.113, 밀도 0.0024kg/㎤를 사용하였다.

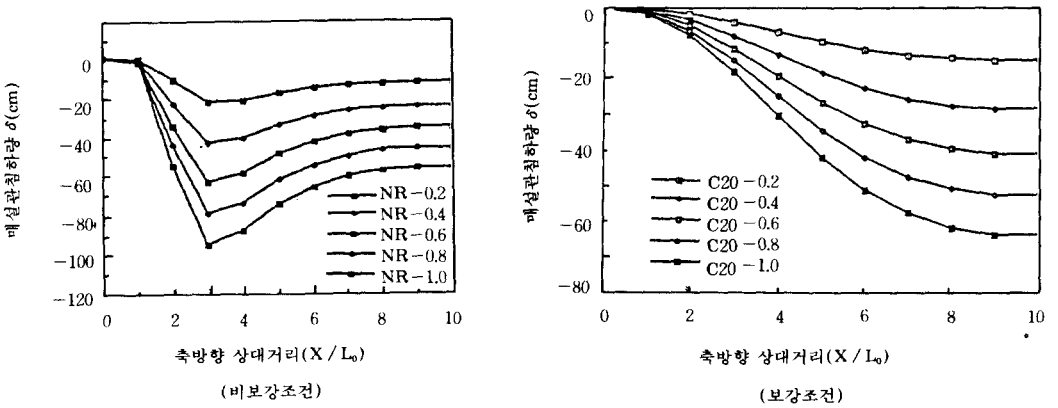
3. 결과분석

수치해석은 세가지 경계조건, 즉 매설관과 구조물 접합 경계조건, 비균등 지반경계조건 그리고 국부적 하중경계조건에 대하여 실시하였으며 해석결과 분석은 매설관의 침하와 변형을 위주로 하여 실시하였다.

3.1 매설관 침하량의 변화형태

지표상재하중의 변화에 따른 매설관의 침하형태를 그림 2에 도시하였다. 여기에서 상대거리는 매설관 축방향 거리 X를 매설관 단위 길이 Lo(2.5m)로 나눈 값이다. 그림에서 상대거리 X/Lo의 최대치는 10까지를 고려하였는데 이는 그이상의 구간에서는 침하형태가 앞구간에서의 추이와 거의 비슷하기 때문이다. 범례에서 좌측의 영문기호는 해석 일련번호를 나타내며 우측의 숫자는 상재하중 q_s의 크기를 나타낸다. 여기에서는 콘크리트 베딩두께가 20cm인 경우를 예시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 하중이 증가함에 따라 일정하게 침하량이 커짐을 알 수 있다. 베딩설치에 따른 보강효과를 살펴보면 다음과 같다. case 1의 q_s=0.2kg/㎠인 경우 관의 최대 침하량은 비 보강조건에서 약 25cm, 보강조건에서



(a) case 1

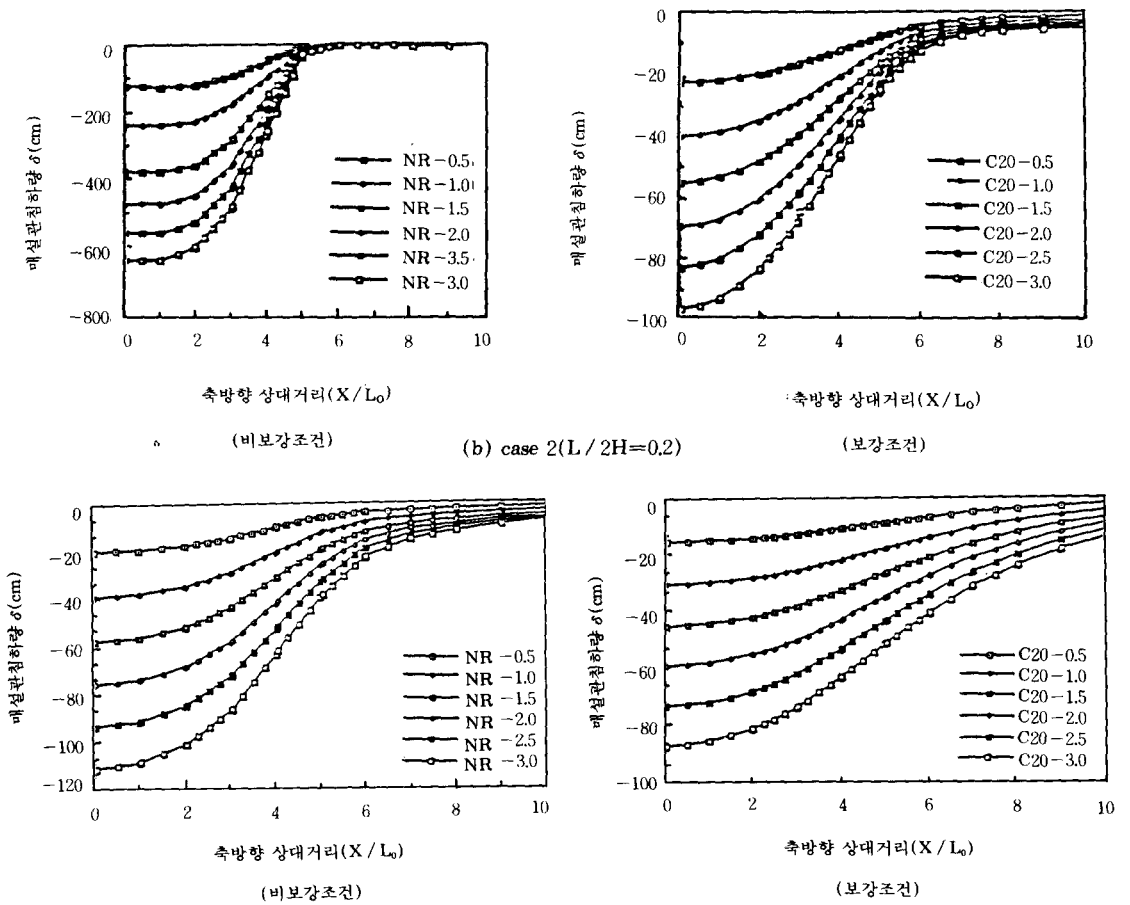


그림 2. 상재하중 증가에 따른 매설관침하형태

약 15cm를 각각 나타내어 베딩보강에 의하여 약 40%의 침하량이 감소하였음을 알 수 있다. 또한 case 2의 q_s=0.5kg/㎠인 경우는 최대침하량이 약 120cm와 22cm를 각각 나타내어 약 82%가 감소하였으며, case 3의 q_s=0.5kg/㎠인 경우는 최대침하량이 각각 약 40cm와 15cm를 나타내 보강후 약 63% 감소함을 알 수 있다.

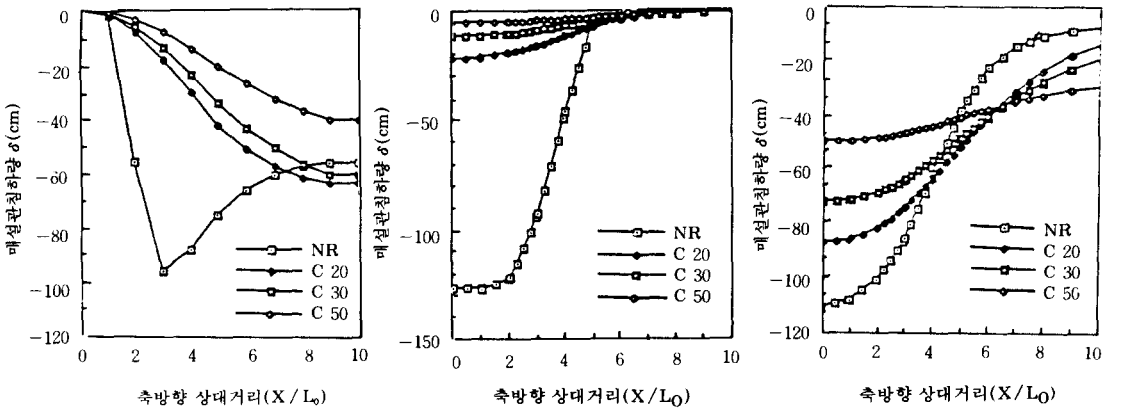
또한 최대침하량 발생지점도 case 1은 X/Lo=3인 지점에서 X/Lo=9인 지점으로 이동하여 침하곡선이 완만한 형태를 보이고 있다.

그리고 매설관 침하량 곡선의 변곡점도 case 2는 X/Lo=4인 지점에서 X/Lo=6인 지점으로 이동하여 침하곡선이 완만한 형태를 보이고있으며 case 3의 조건에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있다. 이와 같이 완만한 침하곡선 형태를 보임을 콘크리트 베딩보강에 의하여 지반부등침하에 따른 집중된 응력을 주변지반으로 분포시켜 주는 응력전이 메카니즘 현상이 발생하였기 때문이다.[2)]

콘크리트 베딩두께의 변화에 따른 매설관의 침하형태를 살펴보면 그림 3과 같다. 여기에서 NR은 비보강 조건을 나타내고 C20, C30, C50은 각각 콘크리트 베딩 두께가 20, 30 50cm임을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 침하곡선은

모든 조건에 있어서 콘크리트 베딩보강의 경우 비보강조건과 비교하여 월등하게 완만함을 보이며 베딩두께가 증가할수록 그 보강효과는 두께비 이상의 상승효과가 있다. 이는 베딩의 강성 EI 즉 탄성계수와 단면 이차모멘트의 곱으로 나타낼 수 있고 I는 두께의 세제곱에 비례하기 때문이다.

소하였음을 알 수 있다. case 1의 $q_s=1.0kg/cm^2$인 경우 비보강조건에서 θ의 최대치는 약 12°, 보강조건에서 약 1°를 나타내며 베딩보강에 의하여 92%의 최대 변형경사각 감소효과가 발생하였다. case 2의 $q_s=1.0kg/cm^2$인 경우에는 각각 약 18°와 0.6°를 나타내므로 약 97%가 보강으로 인하여 감소효과가 나타났으며, case 3의



(a) case 1 (b) case 2 (L/2H=0.2) (c) case 3 (B/2H=0.2)

그림 3. 콘크리트 베딩두께에 따른 매설관 침하형태

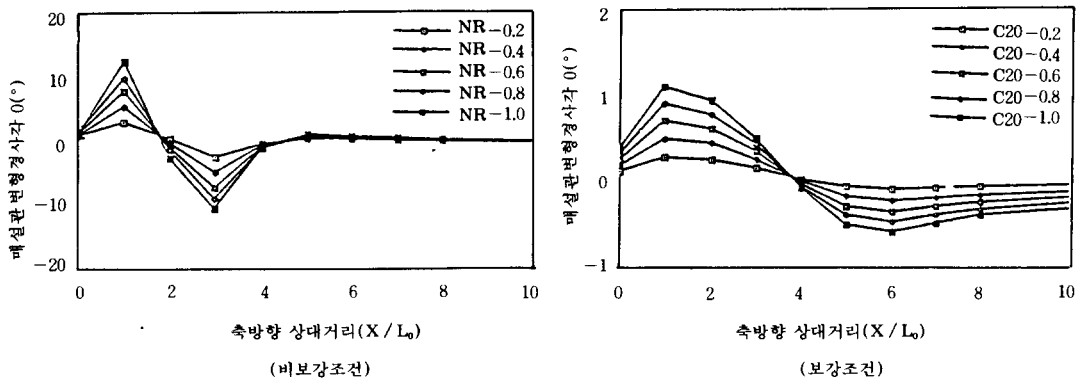
3.2 매설관 변형경사각의 변화형태

매설관 변형경사각의 예측은 지반부등침하가 큰 지역에서는 매우 중요한 설계요소가 된다. 여기에서 변형경사각이란 연약지반 침하구간 중앙부에서부터 시작하여 각 암거구간에서의 침하곡선 기울기의 차를 의미한다. 즉 한 이음부에서의 변형경사각은 전 암거구간으로부터의 침하곡선 연장선에서 그 다음 암거구간의 침하곡선까지의 각을 말하며 그 방향이 시계방향이면 플러스, 시계반대방향이면 마이너스로 정의한다.[3] 매설관의 침하형태에 따른 변형경사각을 살펴보기 위하여 그림 2에 대한 하중 증가별 변형경사각 곡선형태를 그림 4에 도시하였다.

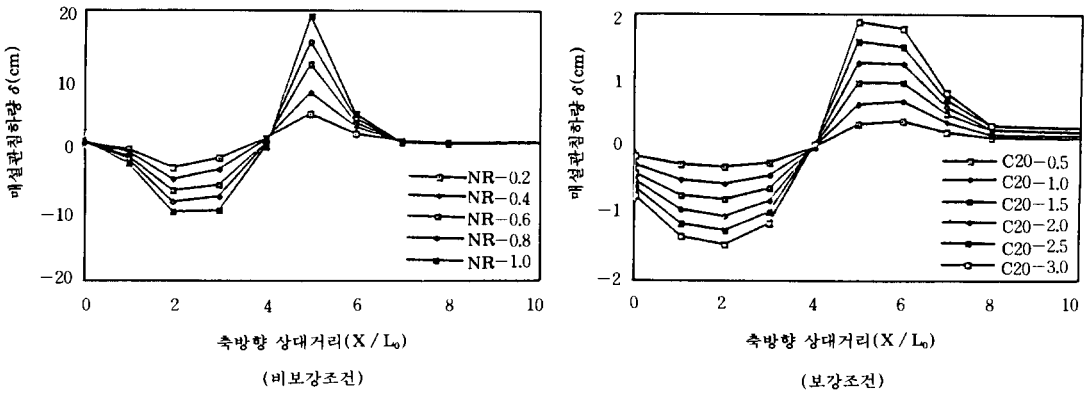
그림 4에서 보는 바와 같이 하중이 증가할수록 변형경사각 θ가 증가하고 콘크리트 베딩보강에 의하여 매설관의 변형경사각이 상당히 감

$q_s=1.0kg/cm^2$인 경우에는 각각 0.8°와 0.2°를 나타내 약 75%의 보강에 의한 감소효과가 나타나며 case 1과 case 2에 비하여 그 절대치가 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 여기에서 경사각이 18°인 수치는 실제적으로 존재하기 어려운 값이나 관거와 이음부 재질을 연속체로 가정하였기 때문에 계산될 수 있는 값이며 보강효과를 비교하는 하나의 수치적 기준으로 간주할 수 있다.

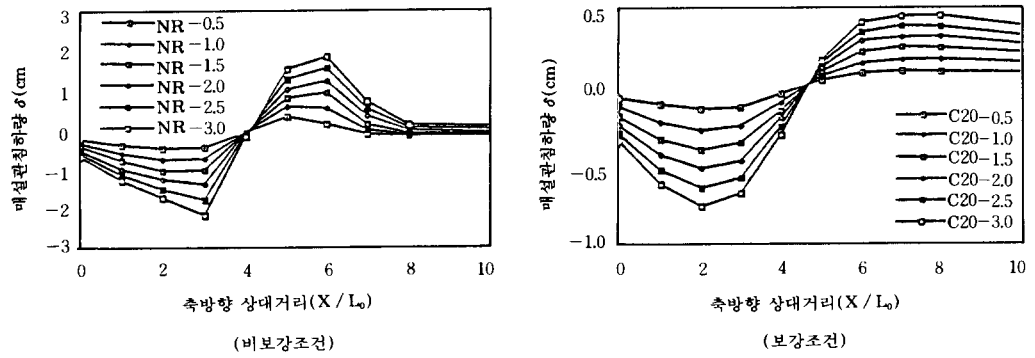
콘크리트 베딩 두께 증가에 따른 매설관의 변형경사각 변화 형태를 살펴보면 그림 5와 같다. 그림 5는 그림 3의 case 3에 대한 매설관 침하형태로부터 얻은 매설관의 변형경사각 곡선으로 좌측 그림(a)에서 콘크리트 베딩설치에 의하여 변형경사각이 상당히 감소함을 알 수 있으며 우측 그림(b)에서는 콘크리트 베딩의 두께가 증가할수록 변형경사각이 점차적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.



(a) case 1

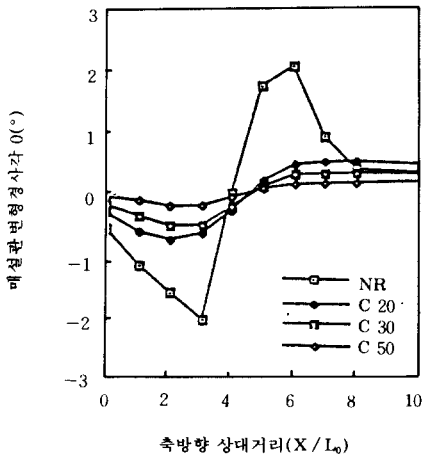


(b) case 2(L / 2H=0.2)

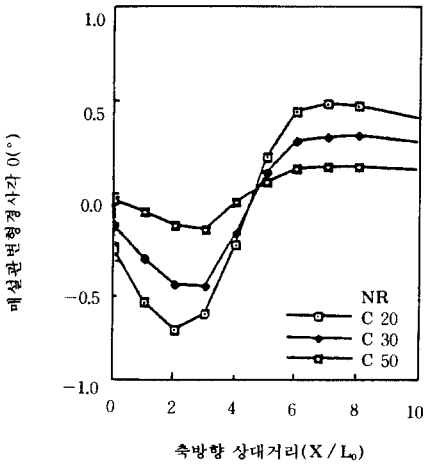


(c) case 3(B / 2H=0.2)

그림 4. 매설관 이음부의 변형경사각 변화형태



(a) 비보강조건과 베딩보강조건



(b) 베딩 보강조건

그림 5. 콘크리트 베딩두께에 따른 매설관 변형경사 (case3: B/2H=0.2)

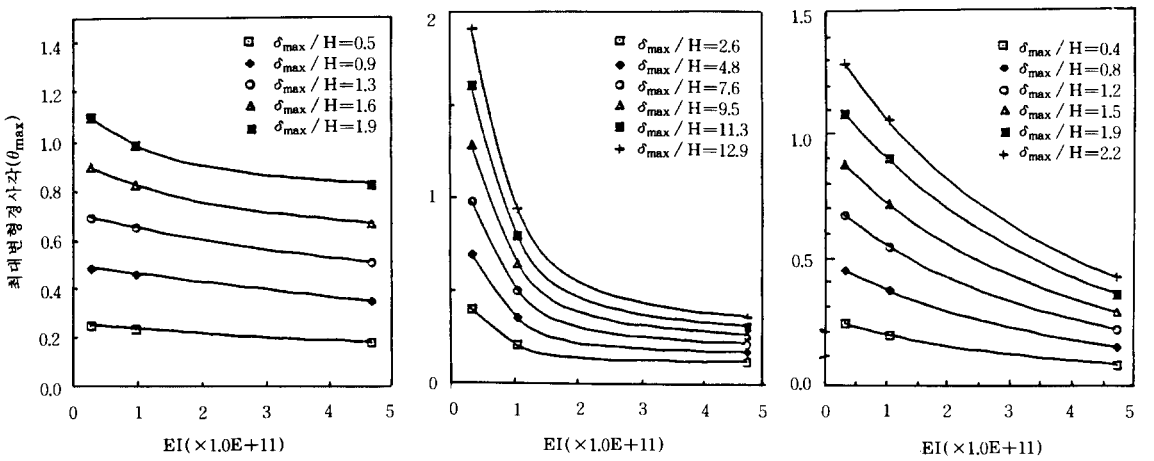
3.3 베딩강성에 따른 최대 변형경사각의 변화

앞에서 언급한 바와 같이 변형경사각의 크기는 지반부등침하량, 콘크리트 베딩 두께와 밀접한 함수관계가 있다. 본 경계조건에서 지반부등침하로 인하여 발생된 매설관 변형경사각의 최대치를 콘크리트 베딩 두께별로 그림 6에 도시하였다. 여기에서 θ_{max}는 최대 매설관 이음부 변형경사각이며 EI는 콘크리트 베딩의 강성을 나타낸다. 범례에는 5 또는 6개의 수치가 포함되어 있는데 이는 비보강조건에서 발생된 암거의 최대 침하량 δ_{max}를 연역지반의 두께 H로 나눈값이다. 여기에서 δ_{max}가 암거의 최대침하량을 나타내고 있지만 실제적으로는 최대 지반 부등침하량을 적용하여도 큰 무리가 없다. 또한 현장에서는 암거의 최대침하량을 예측하기 보다는 지반부등침하량의 최대치를 계산하는 것이 현실적으로 간편하며 일반적으로 크게 차이가 없다. 그리고 이는 설계의 관점에서 볼 때 안전측에 속한다.

그림 6에서 보이는 바와 같이 베딩강성이 증가함에 따라 θ_{max}의 값은 감소하고 있으며 또한 δ_{max}의 값이 증가함에 따라 θ_{max}의 값 역시 증가하는 추세를 보이고 있다. 또 한가지 특기할 것은 δ_{max}가 작은 상태에서는 곡선의 기울기가 비교적 완만한데 비하여 δ_{max}의 값이 증가하면서 곡선의 기울기가 다소 증가하고 있다. 특히 EI 값이 작은 경우 즉 콘크리트 베딩두께가 작은 경우에는 δ_{max}가 큰 경우에 곡선의 기울기가 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 여기에서 한가지 생각할 수 있는 것은 이 경계조건에서는 EI가 증가할수록 θ_{max}의 감소율은 오히려 감소하는 경향을 보이고 있으므로 어느정도 이상이 되면 콘크리트 베딩두께의 증가가 변형경사각을 감소시키는데에 크게 기여하고 있지 못하다는 것이다.

3.4 베딩보강 영향범위

연성이음관의 설계는 연성이음관의 허용침하량과 허용경사각을 초과하지 않은 상태에서 앞에서 언급한 내용을 참고로하여 수행되어질 수 있다. 이로부터 산정된 기초 보강 단면을 일률적으로 일정하게 전구간에 걸쳐 설치한다면 필요이상으로 과다 보강이 될 수 있으므로 암거의 변형이 허용치를 넘지 않을 정도로 보강구간을 결정하여 기초보강을 하는 것이 바람직하다.



(a) case 1 (b) case 2(L / 2H=0.2) (c) case 3(B / 2H=0.2)

그림 6. 베딩강성과 최대변형 경사각

본 연구에서 case 2의 L/2H=0.2인 경우를 대상으로 하여 베딩보강의 영향범위를 검토하였다. 보강범위 효과는 해석대상 대칭 단면의 중앙으로부터, 즉 요소망 좌측으로부터 점차적으로 우측으로 보강범위를 증대시키며 각 조건에서의 매설관 침하량과 변형경사각을 비교하여 분석하였다. 이들의 결과를 그림 7과 그림 8에 비교도시하였다. 그림에서 R7, R8, R9, R12은 대칭 단면의 중앙으로부터 7번째, 8번째, 9번째, 12번째 흄관 부재(segment) 지점까지 보강한 경우이고 RR은 전구간에 걸쳐 보강한 경우를 나타낸다.

그림 7에서 매설관의 침하량을 살펴보면 8번째 부재까지 보강한 경우는 전구간에 걸쳐 보강한 경우와 비교하여 매설관의 침하량이 크게 나타나나 9번째 이상 보강한 경우에는 전구간에 걸쳐 보강한 경우와 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 또한 매설관 변형 경사각에 대해서도 비교하여 보면 그림 8에서 기초베딩을 8번째 부재까지 보강한 경우에는 전구간을 보강한 경우와 비교하여 크게 증가하고 9번째까지 보강한 경우는 거의 비슷한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 4(b)의 변형경사각 변화형태를 살

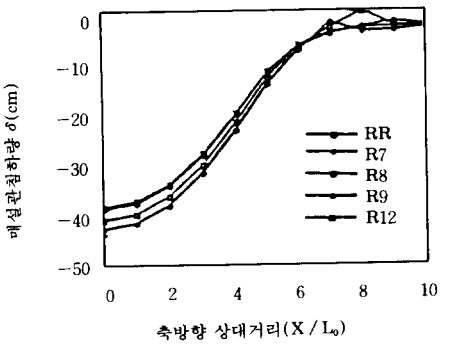


그림 7. 기초보강 범위 변화에 따른 매설관침하량의 차이

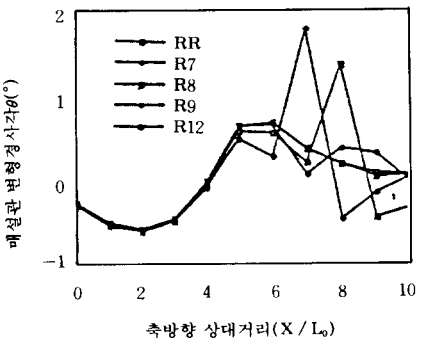


그림 8. 기초보강 범위 변화에 따른 매설관 변형경사각의 차이

펴보면 보강조건의 경우 9번째 부재지점 즉 X/Lo=9인 지점은 변형경사각 곡선이 변곡점을 지나 0에 가까운 수치에 수렴하는 지점이며 이는 베딩보강 영향범위와 일치함을 나타낸다.

따라서 연약지반 상에서의 베딩보강 영향범위는 전구간에 걸쳐 베딩보강을 실시한 경우에 변형경사각 곡선이 변곡점을 지나 0에 근접하는 일정수치에 수렴하는 지점까지로 결정하는 것이 합리적임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 베딩보강을 통한 지중매설 연성이음관의 변형억제 방안에 관하여 그 보강효과를 분석하기 위하여 지반부등침하 경계조건별로 유한요소해석을 실시하였고, 매설관의 침하량과 변형경사각의 변화형태, 베딩보강 영향 범위 등을 살펴보았다. 본 연구를 통하여 도출된 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 콘크리트 베딩보강으로 인하여 부등침하를 받는 지중매설 연성이음관의 침하량을 현저하게 감소시킬 수 있으며 침하곡선 또한 완만한 형태를 나타낸다. 이는 콘크리트 베딩보강에 의한 응력전이 메카니즘에 기인한다.

2) 베딩강성이 증가함에 따라 최대 변형경사각은 현저하게 감소하며 그 감소 효과는 베딩강성이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 그러나 베딩강성이 어느 수준 이상이 되면 그 증가에 따른 보강효과는 매우 적음을 나타낸다.

3) 베딩강성변화에 따른 최대변형경사각의 변화형태를 도표로 제시하였고 이는 콘크리트 베딩보강단면 결정을 위한 설계자료로 활용될 수 있다.

4) 매설연성이음관 변형 억제방안으로 콘크리트베딩을 보강하는 경우 그 보강영향 범위는 변형경사각 0에 근접하여 수렴하는 지점까지로 결정하는 것이 합리적이다.

이상과 같은 결론은 제한된 조건에서 해석적 기법을 이용하여 유추된 것이므로 아직 일반현장에 적용되기에는 미흡한 감이 있다. 그러나 연성이음관의 콘크리트 베딩보강으로 인한 변형 억제효과는 역학적으로 그 타당성이 입증되었다 할 수 있다. 또한 본 연구에서 제시된 수치해석 자료는 이상화된 현장조건을 대상으로 분석한 결과이므로 향후 시험시공과 현장계측 등의 자료와 비교 검증을 거쳐 실용화하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구에 후원을 아끼지 않은 한국토지개발공사 기술연구부에 본 지면을 통하여 깊은 감사를 표하며, 연구수행에 직접, 간접으로 도움을 준 한국건설기술연구원의 홍성완 박사와 강인탁 연구원에게도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 손준익 외 3인(1990), "연약지반 매설관거의 설계 및 시공에 관한 연구(Ⅱ)", 한국토지개발공사.
2. 손준익, 정하익(1991), "부등침하를 받는 매설관 기초지반 보강 모델링 연구", 대한토질공학회지 제7권 제1호, pp.33~39.
3. 손준익, 정하익(1991), "연성이음관의 변형억제방안에 관한 수치모델연구(Ⅰ): 기초지반 보강효과", 한국지반공학회지, 제7권 제4호 pp.5~13
4. Duncan, J. M. and Chang, Y.Y. (1970), "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 96, No. SM5.
5. Duncan, J.M., Byrne P., Wong K.S. and Mabry p. (1980), "Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analysis of Stresses and Movements in Soil Masses," Report No. UCB/GT/80-01.
6. Herrmann, L.R. (1978), "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 Counduit", Proceedings of 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Vol.2, pp.839~844.

(접수일자 1991. 6. 21)