

지반특성에 따른 지중 연성관의 거동특성

Behavior of Underground Flexible Pipe According to Ground Characteristics

장용채[†] · 김용휴¹⁾ · 이승은²⁾ · 박기철³⁾ · 노진숙⁴⁾

Chang, Yongchai · Kim, Yonghyu · Lee, Seungeun · Park, Kichul · No, Jinsuk

ABSTRACT : A flexible pipe was buried 10cm below the ground formed with standard sand to observe changes in the shape of the pipe according to the behavior of ground at each relative density. Changes in the shape of the pipe in each ground were observed to examine the behavior of the pipe under the state of reinforced ground after installing geogrid under the pipe. Ground reinforced using geogrid formed tensile force on the reinforcement material with increase in the vertical load and showed reduction in settlement under identical vertical load with existence of reinforcement. Distributions of ground deformation of 100% relative density and 70% relative density had clear difference. Reinforced ground with 70% density converged to the ground reaction of final settlement of non-reinforced ground with 100% density at final settlement of 100 mm. Because the shape of lower part strain of the buried pipe is similar to that of un-reinforced ground with relative density of 100%, reinforcement effect by geogrid in soft ground can be anticipated.

Keywords : Flexible pipe, Relative density, geogrid, Soft ground

요지 : 표준사로 형성된 지반 10cm아래에 연성관을 매설하여 각각의 상대밀도에서 지반거동에 따른 관의 변형을 관찰을 하였다. 지반보강 상태에서의 관의 거동을 파악하기 위하여 지오그리드를 매설관 하부에 설치한 후 각각 지반에서의 관의 변형을 관찰하였다. 관아래 지오그리드를 설치한 후 보강된 지반의 관 변형형태를 관찰하였다. 지오그리드로 보강한 지반은 수직하중이 높아질수록 보강재에 인장력이 형성되어 보강유무에 따른 동일한 수직하중에서 침하가 감소하였다. 상대밀도 100%지반과 70%지반 변형분포가 차이가 나타났다. 보강 70%지반에서는 최종침하 100mm일 때 무보강 100%지반의 최종침하에서의 지반반력에 가깝게 수렴 하였다. 매설관의 하부 변형 형태에서도 무보강 100%지반의 매설관 변형 형태와 유사한 것으로 보아 연약지반에서 지오그리드의 보강효과가 기대된다.

주요어 : 연성관, 상대밀도, 지오그리드, 연약지반

1. 서론

지중매설관은 물·도시가스 등의 각종 물질수송이나 에너지, 통신시설을 설치하기 위해 지중에 매립한 관을 의미하며 안전하고 효율적 사용을 목적으로 지중 관로의 사회·산업에 대한 중요성이 증대해져가고 있다. 특히 지반의 거동에 의해 직접적으로 영향을 받게 되는 설치 환경으로 토압, 열차하중, 자동차 하중 등의 하중을 고려할 필요가 있고, 지진, 사면활동, 지반의 부등침하 등의 지반변동의 영향을 직접 받기 때문에 매설관을 설치 할 때에는 안전하게 매설하는 것이 중요하다(유한규 등, 2008). 매설관의 파손은 매설관의 수행기능을 마비시킬 뿐만 아니라 누수에 의한 지반오염 및 수질오염의 심각한 문제를 야기 시키므로 중요한 문제가 아닐 수 없다. 그러나 매설관은 시공 후에 대

부분 지반 내에 매설되어 눈에 보이지 않고, 그 구조물에 비해 그 중요도가 덜 인식되어 왔었던 것도 사실이다. 이러한 지중 매설관에서 발생되어지는 문제를 미연에 방지하고, 최소한의 피해로 줄이기 위하여 매설관을 매설하기 전에 지오그리드(Geogrid)로 지반보강을 하여 지반의 침하를 억제하려 한다. 매설관은 지반과의 역학적 상호작용면에서 일반적으로 강성관과 연성관으로 나누어진다. 강성관은 도관, 시멘트관, 콘크리트관 등이 있으며, 연성관에는 강관, 덕타일, 주철관 등의 금속관, 플라스틱관 등이 포함된다. 본 연구에서는 역학적 분류에 의한 연성관중 실내모형실험에 적용하기 쉽고, 설치 및 재질의 특성을 알아보기 쉬운 경질 염화비닐관(Poly Vinyl Chloride Pipe: PVC관)을 선택하여 그 특징 및 성질을 알아보았다. 실내모형실험의 지반형상은 가로 150cm×세로 30cm×높이 90cm 크기의 대형토조에

† 정회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학전공 부교수(E-mail : geo@mmu.ac.kr)

1) 비회원, 삼보기술단 사원

2) 비회원, 목포해양대학교 해양건설시스템공학전공 박사수료

3) 비회원, 동서대학교 토목공학전공 지반공학연구실 연구원

4) 비회원, (주)광호산업 상무

주문진 표준사를 다중체 낙하법(Multiple sieving pluviation method)으로 조절하여 상대밀도 70%와 100% 조건의 모형 지반을 만들어 다음과 같은 방법으로 실험하였다. 매설관의 변형은 표준사로 상대밀도를 달리하여 형성된 지반 10cm 아래에 연성관을 매설하여 각각의 지반거동에 따른 관의 변형을 관찰 하였고, 또한 지반보강 상태에서 관의 거동을 파악하기 위하여 연성관 하부에 지오그리드를 포설한 후 각각의 변형을 관찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 탄성 지반의 보이론

연약지반 매립지에 지반부등침하가 발생하여 매설관에 인장변형 및 휨 변형을 초래할 수 있는 조건은 무한히 많은 경우를 생각할 수 있으나 그중 대표적인 현장조건을 다음의 3가지 전형적 경계조건으로 이상화시키면 그림 1과 같다(손준익 등, 1992).

그림 1의 (a)는 일단고정으로 δ_{max} (지반부등침하)가 주어졌으며, 관로의 한쪽 끝이 건물이나 맨홀 같은 구조물에 고정 되어있어 지반침하가 발생함에 따라 매설관의 상대변형

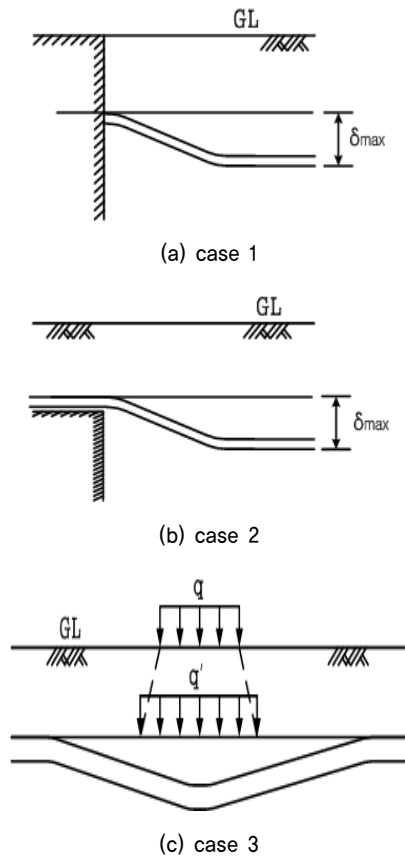


그림 1. 부등침하에 대한 지중매설관의 변형 경계조건

이 초래하는 경우이다. (b)는 양단자유, δ_{max} (지반부등침하)가 주어지고 긴 연속 매설관 구간에서 비균등 지반조건으로 인하여 부분적으로 지반 침하가 발생하여 매설관의 상대변형이 초래되는 경우이다. 또한 (c)는 양단자유이며, q (국부적 지표 상재하중)으로 국부적으로 지표상재하중이 작용하여 매설관의 상대변형이 초래되는 경우를 보여주고 있다.

매설관의 거동은 일반적으로 상부하중에 의해 상하 거동 또는 매설관 내에 휨 변형으로 나타내며, 보이론 해법에 의한 횡방향의 경계조건은 앞서 기술한 바와 같다.

2.2 보강토 공법

성토체 내부에 보강재(Geogrid)를 삽입하면 그림 2와 같이 흙과 보강재 사이의 상호작용에 의하여 보강토체의 전단강도는 증가한다.

이러한 보강토체 전단강도의 증가는 내부마찰각의 증가와 겹보기 점착력의 발생 등에 의하여 이루어진다는 것이 일반적이다.

보강토체의 내부마찰각 증가 이론과 겹보기점착력 발생이론은 여러 연구자들에 의하여 검증되었으며, 전자는 낮은 응력상태에서 흙과 보강재 사이의 미끄러짐과 파괴에 의하여 발생할 수 있으며, 후자는 상대적으로 높은 응력상태에서 보

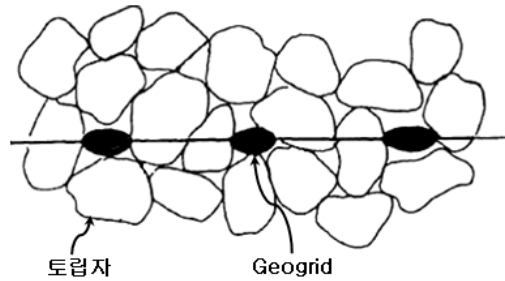


그림 2. 토립자와 Geogrid의 상호결속

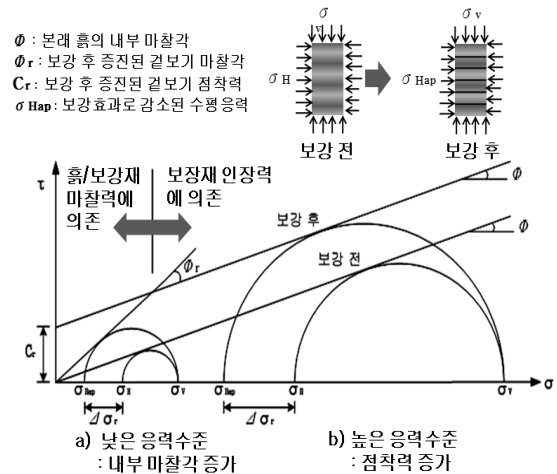


그림 3. 보강토체의 전단강도 증가 이론의 합성

강재의 파단과괴에 의하여 발생할 수 있다는 사실이 실험을 통하여 입증되었다. 여기서 겔보기점착은 c_r 값으로 지오그리드의 인장력과는 조금 다른 의미로 보강재로 인해 총 수평응력 σ_{Aop} 이 감소하고 내부마찰각($\phi = \phi_r$)은 그대로인데 총 전단력이 증가하여 보강재로 인해 생긴 점착력을 겔보기 점착력이라 한다. 이러한 사실에 근거하여 Hausman(1976)은 이들 두 이론을 그림 3에서와 같이 합성하여 각 이론의 적용 범위를 구분하였다.

3. 실내 모형시험

3.1 시험재료

3.1.1 경질염화비닐관(PVC관)

경질염화비닐은 내식성, 내약품성, 내유성이 우수하여 부식이 없으므로 위생적이며 염산·황산·수산화나트륨과 같은 거의 모든 무기산류, 염류, 알칼리, 유류 등에 침식되지 않는다. 비중은 1.43으로 철의 1/5정도이므로 운반 및 취급이 용이하며 인장강도가 50~55MPa로서 납의 3배, 철의 1/3정도이다. 경질염화비닐관의 물리적 성질을 나타내면 표 1과 같다.

3.1.2 지오그리드

지오그리드는 폴리머를 판상으로 압축시키면서 격자모양의 그리드 형태로 구멍을 내어 특수하게 만든 후 1방향 혹은 직교하는 2방향으로 연신하여 제조하거나 고강도 섬유를 격자형으로 교차시킨 후 PVC 등으로 코팅하여 제조하며, 연약지반 처리나 지반보강으로 사용된다(전한용 등, 2005). 본 연구에 사용된 지오그리드의 규격을 표 2와 같이 나타내었다.

표 1. 경질염화비닐관(PVC관)의 물리적 성질

비 중	인장강도 MPa	압축강도 MPa	굽힘강도 MPa	신장률 (%)	열팽창률 ($\times 10^{-5}/^{\circ}C$)
1.43	50~55	65	85	50~150	6~8

표 2. 시험에 사용된 지오그리드의 규격

형 태	주요 소재	인장 강도 (kN/m)	주요 기능
폴리머를 판상으로 압축시키면서 격자모양의 그리드 형태로 구멍을 내어 특수하게 만든 후 여러모양으로 연신한 형태	폴리에틸렌	50	보강

3.1.3 주문진 표준사

본 연구에서 지반조성은 주문진 표준사로 사용하였다. 주문진 표준사의 최소밀도와 최대밀도는 JSF T 161-1990 방법에 의해 실내시험에서 최소밀도는 1.38g/cm³, 최대밀도는 1.62g/cm³, 비중은 2.59 값을 각각 얻었다.

3.2 시험방법

3.2.1 다중체 낙하장치에 의한 지반형성

대형토조와 다중체 시험장치는 그림 4에서 보이는 것과 같이 대형토조(가로 150cm×세로 30cm×높이 90cm), 본체, 시료 통, 다중체로 구성되며 시료저장 통 용량은 약 20ℓ 정도이며 유출구직경은 2cm, 3cm, 4cm, 10cm로 조절이 가능하다. 체는 아크릴 수지를 5cm 간격의 서랍식 형상으로 가로 33cm×세로33cm×높이32cm 크기의 직육면체로 되어있어 체의 눈금이 3.5mm와 7mm로 조절이 가능하도록 되어있다.

$$Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{1/r_{d\min} - 1/r_d}{1/r_{d\min} - 1/r_{d\max}} = \frac{r_{d\max}(r_d - r_{d\min})}{r_d(r_{d\max} - r_{d\min})} \quad (1)$$

여기서, e =간극비, e_{\min} =최소간극비, e_{\max} =최대간극비, r_d =건조밀도, r_{\min} =최소건조밀도, r_{\max} =최대건조밀도이다. 식 (1)에서 r_d 는 현장 건조밀도로서 다중체 낙하법에 의해 각각 구해진 건조밀도이다. 앞 절의 주문진 표준사를 JSF T 161-1990 방법에 의해 얻어진 최소밀도, 최대밀도를 각각 구해진 건조밀도와 함께 식 (1)에 넣으면 상대밀도를 구하게 되는데, 상대밀도를 조절할 때에 가장 영향을 많이 주는 것은 낙하고와 유출량이지만(곽정민, 1994) 실험한 결과 낙하고 보다는 유출량이 상대밀도 형상에 큰 영향을 주게 되는 것을 알 수 있었다. 또한 유출량은 유출직경에 따라 바뀌는데 유출량이 적을수록 상대밀도는 높아지는 것으로 표 3과 같이 나타났다.

이와 같이 다중체 낙하법에 의하여 상대밀도를 지름 3.5mm, 유출직경을 10cm로 상대밀도 70%를 모사하고, 체의 지름



(a) 다중체 낙하장치

(b) 대형토조

그림 4. 다중체 낙하장치와 대형토조

표 3. 다중체 낙하법에 의한 상대밀도 조정

체지름(mm)	3.5				7.0			
유출직경(cm)	2	3	4	10	2	3	4	10
상대밀도(%)	99	90	87	70	100	95	93	78
평균밀도(g/cm ³)	1.64	1.61	1.60	1.53	1.65	1.63	1.62	1.56

7mm, 유출직경 2cm로 상대밀도 100%로 모사하였다.

3.2.2 실내시험 장치 및 방법

본 연구에서 지반조성은 다중체 낙하법으로 지반을 상대 밀도 70%, 상대밀도 100%를 조성하여 실내시험을 하였다. 이를 다시 지오그리드로 보강한 지반과 보강하지 않은 지반으로 나누어 각각의 지반의 특성에 따라 연성관의 거동 상태를 검토하였다.

각 지반의 특성을 알아보기 위하여 로드셀은 토조의 중앙지점에 설치하여 3mm/min의 속도로 점증적으로 재하하여 지반반력을 계측하였고, LVDT는 지반 표면에 총 3개를 설치하였는데 중앙에 설치된 LVDT는 지표면의 침하를 계측하고 토조를 중심으로 15cm 간격으로 설치된 LVDT는 지반의 침하에 따른 주변의 용기정도를 측정하여 상대밀도에 따른 지반의 특성을 알아보았다. 스트레인 게이지설치는 PVC관내에 상부, 중간 그리고 하부로 설치하여 PVC관

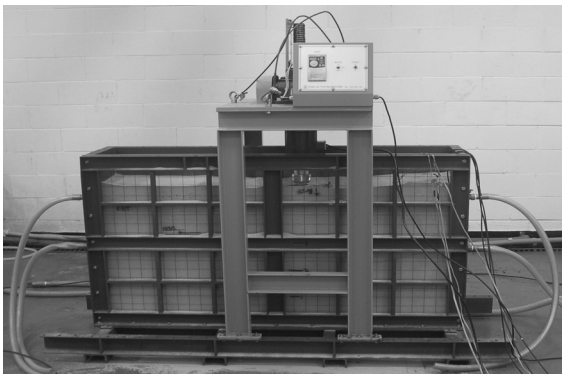


그림 5. 계측기 설치

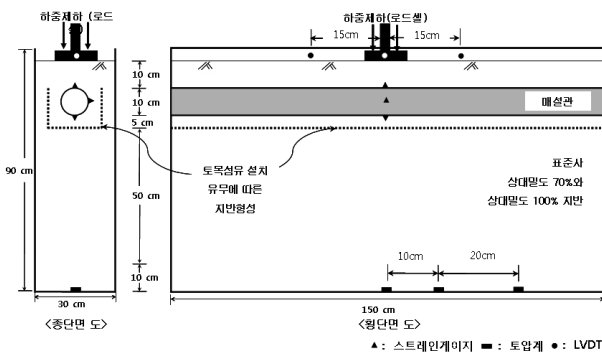


그림 6. 지반형상과 계측기 설치

의 변위를 계측을 하였고, 토압계는 PVC관으로 부터 65cm 떨어져 지반저면에 설치하여 각 지반의 하중분포 정도를 계측하여 보강효과로 인하여 얼마나 균등하게 하중이 전달이 되는지를 알아보았다. 그림 5와 그림 6은 각각 계측기의 설치 모습이다.

4. 시험결과

4.1 지반에 따른 하중-침하와 변형특성

연성관이 매설된 대형토조에 3mm/min속도로 하중을 가하여 지반반력 값을 계측하면 그림 7의 하중-침하 그래프에서 나타난 바와 같다. 상대밀도 70%지반, 100%지반과의 특성을 살펴보면 상대밀도 70%지반에서는 침하가 20mm 발생한 구간에서부터, 상대밀도 100%지반에서는 10mm 발생한 구간에서부터 지오그리드의 보강 효과를 볼 수 있었다. 이는 지오그리드가 낮은 응력상태에는 내부마찰각의 증가에 따른 보강효과보다는 응력이 계속 증가함에 따라 높은 응력으로 증가하면서 지오그리드로 인한 겹보기 점착력이 증가하여 전단강도가 증가하는 것으로 나타났다.

지오그리드를 이용하여 지반을 보강한 상대밀도 100%지반에서는 지반반력이 일정하게 증가하다가 침하 35mm지점에서 지반반력이 다소 감소하였지만, 침하 40mm지점에서 지반반력이 다시 회복하여 선형적으로 증가하여 최종 침하 100mm에서 최대 40kN까지 지지하였다. 하지만 보강하지 않은 상대밀도 100% 지반에서는 침하 25mm까지 선형적으로 지지하다가 그 이후 비선형적으로 증가하지만 침하 85mm 구간에서는 지반반력이 현격히 감소하다가 침하 90mm 구간에서 다시 회복하였다. 이는 지반에 매설되어 있던 연성관 상부의 급격한 변위로 인해 지지력이 감소한 것으로 최대 지반반력은 32kN 까지였다.

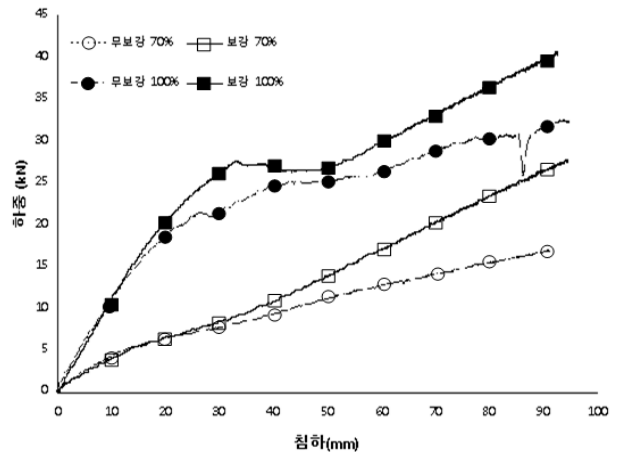


그림 7. 각 지반에 따른 하중-침하 그래프

상대밀도 70%지반에서 보강효과를 알아보기 위해 보강 정도를 달리하여 시험을 하였는데 보강을 하지 않은 지반에서는 최대 지지력이 17kN이었지만 보강 한 지반에서는 27kN까지 나타났다. 이와 같은 지반 보강효과는 침하 20mm 구간에서부터 나타나기 시작하였으며, 보강재에 의해 지지된 상대밀도 70%지반은 보강하지 않은 상대밀도 100%지반의 지반반력까지 최종적으로 수렴하였다. 지반특성에 따른 하중-침하관계를 정리하면 표 4와 같다.

상대밀도 70%지반의 하중-침하 특성은 상대밀도 100%지반에서의 변위양상과 달리 지반반력 변화가 선형적으로 변화하는 것을 나타냈다. 이들 지반변화를 보면 느슨한 지반과 촘촘한 지반에서 발생하는 전형적인 파괴형상을 보이는데 상대밀도 70%지반은 그림 8(a)에서와 같이 관입전단 파괴, 상대밀도 100% 지반은 그림 8(c)와 같이 전반전단 파괴 형상을 나타낸다. 관입전단파괴는 느슨한 모래지반과 같이 압축성이 매우 큰 지반에서 기초 하부는 침하만 발생하고 용기는 되지 않는 현상을 말하고, 전반전단파괴는 흙이 소성평형상태에 도달할 때까지 기초의 침하가 매우 적고 직선적으로 증가하다가 소성평형상태가 발생하면 침하가 급격히 증가하고 주위 지반이 용기되며 지반이 파괴되는 형태를 말한다.

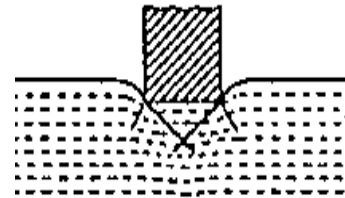
그림 8(b), 8(d)은 지반침하에 따른 주변 지반변형특성을 알아보기 위해 대형토조 중앙으로부터 15cm 간격으로 설치한 LVDT의 계측 값으로 이와 같은 특성을 자세히 나타냈다. 상대밀도 70% 일 때 지반변형은 하중이 증가함에 따라 주변의 지반이 계속적으로 동반침하가 발생 되었는데 이는 재하하중에 의해 지반체적이 감소되어지기 때문으로 생각된다. 여기서, 보강한 지반과 보강하지 않은 지반의 변형특성을 보면 보강지반은 대형토조 중앙으로부터 15cm이격 거리에서 계측한 지반침하량은 하중이 재하 되면서 하중 5kN까지 침하가 이뤄지다가 지속적으로 지반변위를 유지하는 것을 볼 수 있는데 재하하중 15kN 까지 이뤄졌다. 이것은 지반에 지오그리드로 인하여 체적변화 없이 지반지력이 형성되어 하중을 더 견뎌내는 것을 알 수 있다.

그림 8(d)의 상대밀도 100%지반에서도 보강유무에 상관 없이 지반침하에 따른 주변 지반변형이 비슷한 형태를 보이지만 보강한 지반에서 뚜렷한 변화의 차이가 나타났다.

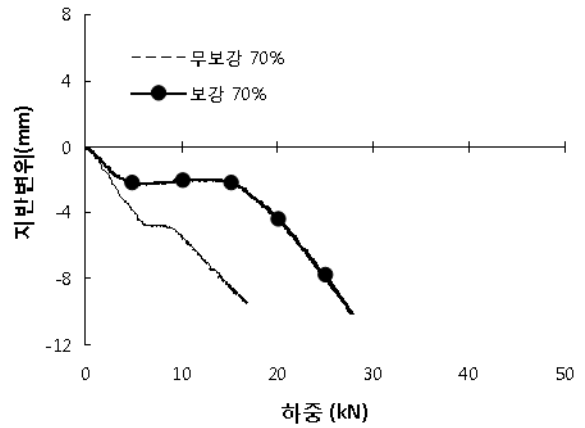
표 4. 상대밀도에 따른 하중-침하관계의 특성

상대밀도	70%지반		100%지반	
	보강	무보강	보강	무보강
최대 지반반력(kN)	27	17	40	32
극한지지력(kN)	5	5	27	20
비선형 침하구간(mm)	20	20	30	25

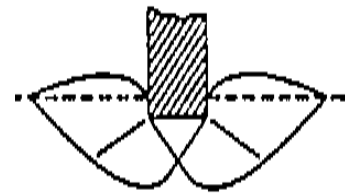
이는 지오그리드에 의해 보강된 상대밀도 100%지반에서는 모래가 체적변화가 일정하게 변화하게 된 것이고, 보강하지 않은 상대밀도 100%지반에서는 하중이 지반에 가해지면서 일정구간 체적감소가 발생되어 지반이 팽창하면서 분산 되었다. 특이한 현상은 하중 30kN 부근에서 하중이상이 나타나는데 이는 앞에서 언급한 것처럼 연성관 상부에서 파괴가 발생했기 때문이다.



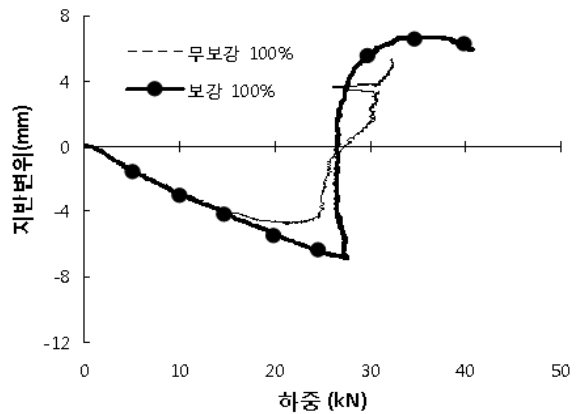
(a) 관입전단파괴



(b) 상대밀도 70%에서의 지반변형

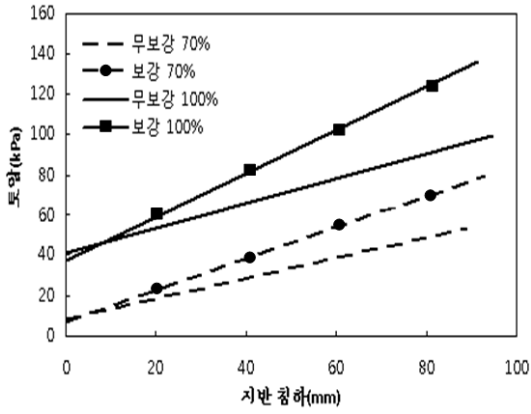


(c) 전반전단파괴

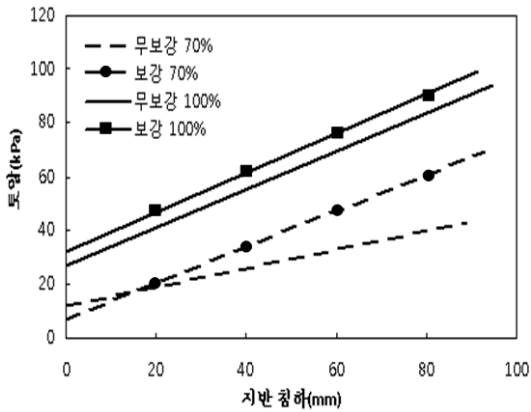


(d) 상대밀도 100%에서의 지반변형

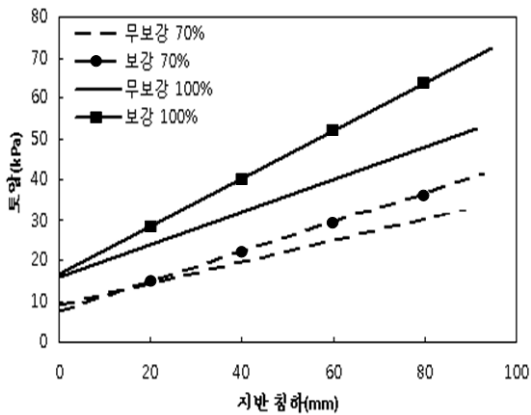
그림 8. 상대밀도 70%, 100% 지반변형



(a) 토조저면 중앙에서의 토압분포



(b) 토조저면 중앙에서 10cm의 토압분포



(c) 토조저면 중앙에서 30cm의 토압분포

그림 9. 지반특성에 따른 토압분포

4.2 지반특성에 따른 토압분포

지반특성에 따른 토압분포는 토조 저면의 중앙을 중심으로 각각 중앙, 10cm, 30cm위치에 토압계를 그림 6과 같이 매설하여 재하시험을 한 결과를 나타내면 그림 9와 같다. 이들 그래프들을 보면 알 수 있듯이 수평응력이 수직하중(지반침하)중심으로부터 감소하고, 밀도가 높은 지반일수록 토압증가 기울기가 급하다. 여기서, 각 지오그리드로 보강한 지반과 지오그리드를 보강하지 않은 지반의 차이점을 보면 밀도에 따라 지오그리드의 보강특성이 발생해 토압의 기울기가 증가하는데 이는 지반에 수직하중을 가할 때 지오그리드로 인해 지반이 분산되지 않고 지중에 수직응력이 전달되었기 때문이다. 아래 그래프의 내용들을 정리 해 보면 표 5와 같이 정리할 수 있다. 느슨한 지반에서의 토압변화량은 미소하게 증가하지만 상대밀도 100%의 지반에서는 최고 125.4kPa까지 토압이 계측 되었다.

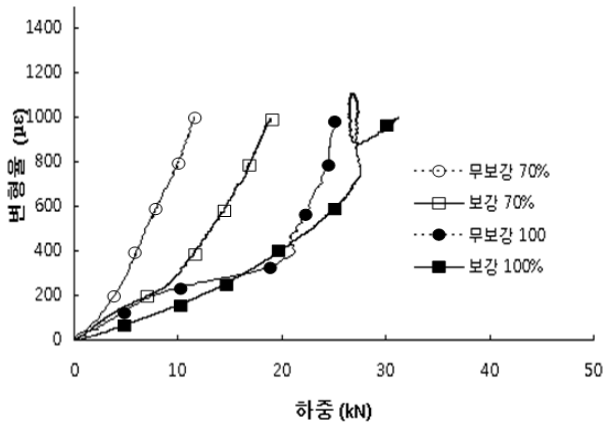
4.3 매설관의 변형 특성

지반특성에 따른 연성관의 변형 특성은 그림 10에 나타낸 바와 같이 지오그리드의 보강 유무와 상관없이 상대밀도 70%, 100% 지반 모두 공통적으로 연성관 상부에서는 인장변형, 중간에서는 압축변형이 발생 하는 것을 나타냈다. 여기서 y축의 (+) 값은 인장변형을 나타내고 (-) 값은 압축변형을 나타낸다. 연성관 상부 및 중간부 변형의 그래프를 보면 수직하중에 따라 표 6과 같이 무보강 상대밀도 70%, 보강 상대밀도 70%, 무보강 상대밀도 100%, 보강 상대밀도 100% 순으로 임계변위까지 높은 수직하중이 계측되는 것을 알 수 있다. 여기서 임계변위는 스트레인게이지가 계측 가능 구간인 1000 $\mu\epsilon$ 까지를 말한다.

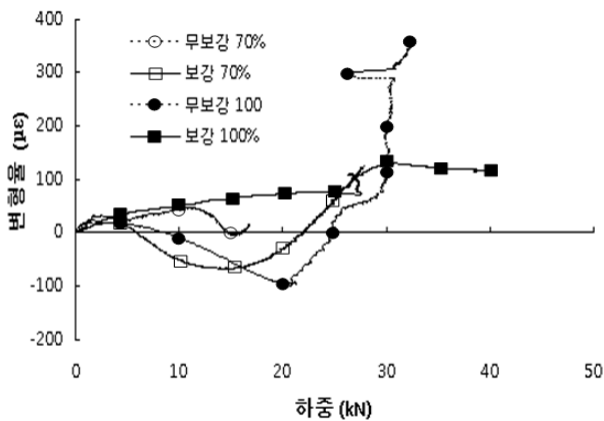
그림 10(a)에서 나타낸 바와 같이 지오그리드 보강과 무관하게 상대밀도 70%지반에서 연성관상부의 뚜렷한 변화가 없었으며, 상대밀도 100%지반에서는 뚜렷한 변화를 나타냈다. 이것은 상대밀도 70%지반이 수직하중을 받으면서 지반이 침하함에 따라 연성관 역시 거동을 보여 연성관에 응

표 5. 상대밀도에 따른 위치별 토압

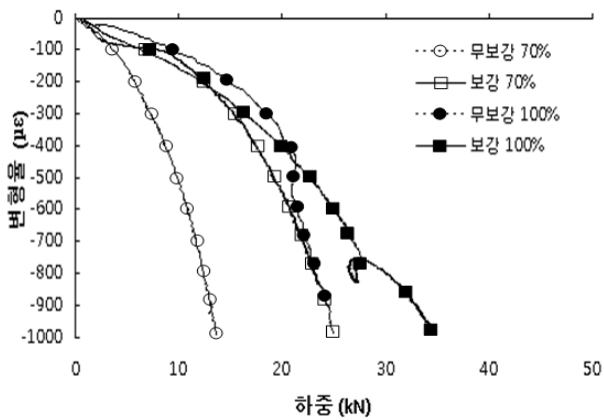
하중증가에 따른 토조 지반침하 (cm)	각 토조 밀도에 따라 토압계 설치간격 (cm)											
	무보강 70%			보강 70%			무보강 100%			보강 100%		
	토조 중앙	10	30	토조 중앙	10	30	토조 중앙	10	30	토조 중앙	10	30
	각 위치에서의 토압 (kPa)											
20	18.6	18.6	14.7	22.5	20.6	14.7	53.9	41.2	28.4	58.8	47.0	23.5
40	28.4	25.5	18.6	38.2	34.3	22.5	65.7	54.9	40.2	80.4	61.7	32.3
60	38.2	32.3	24.5	53.9	47.0	29.4	78.4	69.6	51.9	102.9	76.4	40.2
80	48.0	39.2	30.4	69.6	60.8	37.2	90.2	83.3	63.7	125.4	91.1	48.0



(a) 연성관내 상부의 변형



(b) 연성관내 하부의 변형



(c) 연성관내 중간부분의 변형

그림 10. 지반특성에 따른 연성관의 변형 특성

표 6. 상대밀도에 따른 연성관의 변형하중

상대밀도	70%지반				100%지반			
	무보강		보강		무보강		보강	
변형 위치	상부	중간	상부	중간	상부	중간	상부	중간
항복 하중 (kN)	3	3	9	9	21	21	27	27
임계변위 도달 하중 (kN)	12	14	19	25	25	25	31	35

력전달 없이 지반과 동반침하가 이뤄진 것으로 보인다. 그렇지만 그림 10(c)와 같이 관내 중간부분에서 보면 지오그리드로 보강한 상대밀도 70%지반의 연성관 중간부분 변위는 3~9kN 까지 변위가 일정하게 유지하여 임계변위 1000 $\mu\epsilon$ 까지 보강하지 않은 지반보다 높은 수직하중에서 임계변위에 도달하였다. 이와 더불어 무보강 상대밀도 100%지반의 연성관 중간부분의 변형과 비슷한 수직하중에 임계변위에 도달하는 것을 보아 지오그리드의 보강효과로 인해 연약한 지반이나 다짐이 불량한 지반에서 강성지반과 같은 효과를 기대할 수 있을 것으로 보여 진다. 상대밀도 100% 지반에서 연성관 변위를 보면 보강유무에 따라서 연성관의 변위가 지오그리드 무보강의 항복하중까지 유사하게 보이나 각 항복변위 구간에서 무보강 100% 지반의 항복하중은 21kN, 보강지반에서 항복하중은 27kN에서 급격하게 연성관이 변형하는 것을 나타냈다. 보강된 상대밀도 100%지반에서 연성관 변형이 상부, 중간부분의 항복능력 구간에서 급속히 변형되어 지다가 다시 회복하여 임계변형에 도달 하는 것으로 보아 지오그리드로 보강한 지반에서 수직하중에 의해 연성관의 변형의 억제 효과를 기대할 수 있을 것으로 보여 진다.

연성관의 지지강도 원천은 관의 유연성으로부터 나오는 것으로 토압에 의해 관이 수직방향의 변형을 일으키면 그것에 의해 연성관 측면에서 수동토압이 발생되고 관의 상부에서 둘러싸고 있는 토압으로 생긴 수직하중에 의해 주된 처짐을 감소시켜 연성관의 유효강도를 매우 높아지게 하는 것이다(이대수 등, 2002).

그림 11은 수직하중에 의해 각 지반에서 지중 연성관의

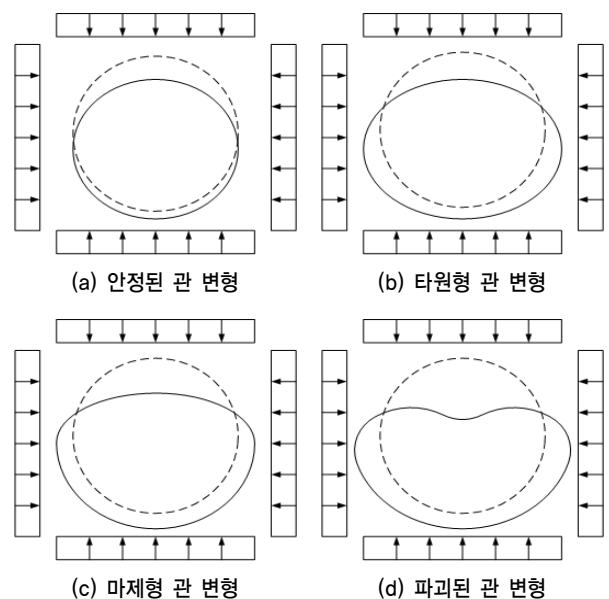


그림 11. 연성관의 변형 형태

형태를 나타내는 것으로 그림 11(a)는 되메움 재료를 충분히 다짐하여 수직하중에 의한 연성관 측면에 약간의 변형이 발생한 형태를 나타낸 것이다. 이 형태는 보강된 상대밀도 70%, 무보강된 상대밀도 100%와 보강된 상대밀도 100%지반에서 초기 연성관의 변형형태이고, 그림 11(b)는 되메움 재료의 선정을 잘못하거나 다짐이 불충분하여 수동토압이 약한 경우 연성관 측면의 큰 변형 후에야 비로써 저항토압이 발생하는 경우로 타원형 형태의 모습인데 무보강 70%지반의 연성관 최종 변형 형태이다. 그림 11(c)는 다짐이 불충분하여 수동토압이 적어 매설관 측면의 저항이 적어 졌다가 다시 수동토압 상승에 의해 매설관 측면 변화보다는 상부의 변위가 더 커져지면서 변화하는 마제형 관변형 형태로서 보강 70%지반의 최종 변형 상태이고 무보강 100%지반의 파괴전 형태이다.

이때 수동토압의 상승은 그림 10(b)의 관내 하부변형 그래프에서 보는 것과 같이 연성관의 하부 변형이 인장과 압축을 오가는 것을 볼 수 있는데 이는 연성관의 처짐으로 인장변위가 발생하지만 하중을 가하면서 연성관 저면에 수동토압이 집중적으로 발생하기 때문에 결과적으로 연성관 하부에서 압축변형이 일어나 마제형태의 모습을 하게 된 것이다. 그림 11(d)는 관 상부의 수직하중의 상승에 의해 탄성한계를 넘어 버려 상부에 극심한 변위가 발생되어지며, 이 같은 형태는 무보강 100%지반에서만 일어났는데 상부 변형 그래프를 보면 변위 기울기가 급속히 일어나는 수직하중 21kN에서부터 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 지반특성에 따른 연성관의 특성을 파악하고자 대형토조에 상대밀도 100%와 상대밀도 70%로 지반을 조

성하였으며 연성관 아래에 지오그리드로 보강한 지반과 보강하지 않은 지반으로 구분하여 실내시험을 한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 연성관의 변위에서 상부는 인장, 중간은 압축변형으로 발생하였으며, 동일 수직하중에서 연성관의 변위는 상부변형이 가장 크게 나타났다.
- (2) 상대밀도 100%지반과 상대밀도 70%지반의 지반반력 분포가 명확하게 차이가 있었으나 보강 70%지반에서는 최종침하 100mm일 때 무보강 100%지반의 최종침하에서의 지반반력에 가깝게 수렴 하였고, 연성관의 하부 변형 형태에서도 무보강 100%지반의 연성관의 변형 형태와 유사한 것으로 보아 연약지반에서 지오그리드의 보강효과가 기대되었다.

참 고 문 헌

- 1.곽정민 (1994), *다중체 낙하법에 의한 상대밀도의 재현에 관한 연구*, 석사학위논문, 순천대학교 대학원, pp. 8~11.
 - 2.손준익, 정하익 (1992), 수치해석기법에 의한 매설관의 베딩보강 설계방안, *대한토목학회논문집*, 제12권 제1호, pp. 168~169.
 - 3.유한규, 박언상, 김동률 (2008), 외부하중에 의한 지중 매설관의 변형거동 특성에 관한 연구, *한국지반환경공학회논문집*, Vol. 9, No. 6, pp. 71~75.
 - 4.이대수, 상현규, 김경열 (2002), 지중 연성관의 거동특성 분석 (II), 봄 학술발표회, *한국지반공학회*, pp. 288.
 - 5.전한용 외 5인 (2005), *지오신세틱스 Geosynthetics*, 보성각, pp. 177~178.
 6. Hausman, M. R. (1976), Strength of Reinforced soil, Proc. 8th Aust. Road Resh. Conf., Vol. 8, Sect. 13, pp. 1~8.
- (접수일: 2009. 3. 23 심사일: 2009. 4. 30 심사완료일: 2009. 5. 25)