

## 측방변형지반속 매설관 주변지반의 파괴모드

홍원표<sup>1)</sup> · 한중근<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 중앙대학교 건설환경공학과 · <sup>2)</sup> 대림대학 토목과

### Soil Failure Mode of a Buried Pipe Around in Soil Undergoing Lateral Movement

**Hong, Won-Pyo<sup>1)</sup> and Han, Jung-Geun<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. Civil & Environment Engineering Chung-Ang University,  
<sup>2)</sup> Dept. Civil Engineering Daelim College

#### ABSTRACT

A series of model tests is performed to evaluate the relationship between soil and a buried pipe in soil undergoing lateral movement. As the result of the model tests, a wedge zone and plastic flow zones could be observed in front of the pipe. And also an arc failure of cylindrical cavity could be observed at both upper and lower zones. Failure shapes in both cohesionless and cohesive soils are nearly same, which was investigated failure angle of  $45^\circ + \phi/2$ . In the cohesionless soil, the higher relative density produces the larger arc of cylindrical cavity.

On the basis of failure mode observed from model tests, the lateral earth pressure acting on a buried pipe in soil undergoing lateral movement could be applying the cylindrical cavity extension mode. The deformation behavior of soils was typically appeared in three divisions, which are elastic zones, plastic zones and pressure behavior zones.

Key words : *Deformation behavior, Lateral earth pressure, Failure shapes, Cylindrical cavity extension mode*

#### I. 서 론

생명선(lifeline)이라 불리는 매설관은 지하에 매설되어 물, 가스, 기름, 전기 등 도시생활에 꼭 필요한 물질들을 공급하는 역할을 하고 있

다. 만약, 이들 생명선이 파손하게되면 이들 물질들의 공급이 중단되어 도시기능이 마비되게 될 것이다. 이들 지하매설관을 설치 후 변형이 발생되지 않도록 하기 위하여 지금까지는 비교적 안정된 지반에만 매설관을 설치하여 왔다.

\*본 연구는 2000년 중앙대학교 연구기자재 구입지원 프로그램의 도움을 받아 수행한 결과이며 이에 감사의 뜻을 전하는 바이다.

그러나, 최근 국가의 경제성장 및 산업규모의 급신장으로 인하여 토지의 수요가 확대됨에 비해 공급용지는 고갈되어가고 이에 따라 매립에 의한 연약지반 개발이 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 결국, 지중매설관이 매설되는 위치도 입지조건이 불리한 곳에 매설되는 경우가 늘어나게 되었다. 이와같이 지반조건이 불리한 위치에 매설관이 설치되는 경우, 지반의 침하, 구조물의 침하, 측방지반의 용기, 측방유동, 사면활동 등과 같은 지반변형은 매설관에 연직하중 뿐만 아니라 수평토압을 발생시키게 되며 이에 의한 매설관의 작은 파손조차도 생명선의 전체 기능을 마비시킬 뿐만 아니라 환경피해를 유발시키는 원인이 된다(O'rouke, 1989).

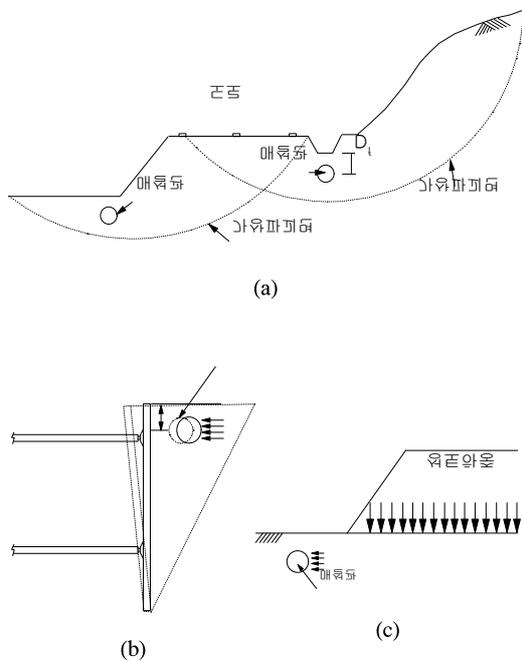


그림 1. 매설관이 설치된 측방변형 가능 지반유형

그러나, 지금까지의 매설관에 대한 연구는 상재압에 의한 연직하중이나 교통하중, 지반 침하로 인해 발생하는 하중을 단순히 등분포 하중과 마찰력으로 고려하고 있는 정도이다 (Spangler, 1982). 한편, 수평토압에 대하여는 연직하중으로 인한 매설관의 변형으로 발생하는

수평토압만을 고려하고 있어 지반의 측방변형으로 인해 매설관에 작용하는 측방토압에 대해서는 고려하고 있지 않는 실정이다(Atterwell, 1984). 즉, 생명선이 설치된 옆에 깊은 굴착이 실행될 경우(그림 1(b)), 사면활동에 의해 매설관이 사면활동하중을 받는 경우(그림 1(a)) 및 성토하중에 의해 매설관 주변지반이 측방이동하는 경우(그림 1(c))와 같이 굴착배면지반의 측방변형으로 인하여 생명선의 파손이나 기능상실을 야기하기도 한다. 따라서, 본 연구에서는 측방유동발생 가능지반이나, 사면활동 등과 같이 측방변형을 일으킬 수 있는 지반 내에 설치된 매설관에 대해서 모형실험을 실시하였다. 즉, 측방변형지반속에 매설관이 설치된 경우, 측방이동 지반의 파괴모드와 매설관에 작용하는 측방토압의 관계에 대하여 규명하여 보고자 한다. 또한, 시험지반의 현장상태 및 연구의 일관성을 고려하여 지반은 모래지반으로 가정하고 이를 실험대상지반으로 하였다.

## II. 매설관에 작용하는 토압 및 주변지반의 측방변형 모형실험

### 1. 기존토압식

매설관에 작용하는 토압은 매설관 주변의 침하와 마찰저항을 이용한 연직토압과 굴착에 의한 횡토압에 대한 토압식을 이용한 방법과 모형실험에 의해 각각 연구·적용되어 오고 있다.

연직토압의 경우 Marston-Spangler(1982)의 토압이 대표적이며 미소요소의 수직력에 대한 평형조건을 이용하고, 연직의 등분포하중을 고려하나 흙의 점착력성분을 고려하지 않고 깊이에 따라 마찰계수를 동일하게 적용하고 있어 설계 적용시 재론의 여지가 있다. 또한, 수평토압의 경우, Crofts(1977)는 트렌치굴착 배면의 변형에 의한 횡방향토압을 변형량시험을 통해 제시하였고, 매설관의 변형원인을 지반-매설관의 상호작용에 따라 뒤채움재의 압밀, 지지구조의 이용, 접촉활동 그리고 지지없는 상태에서 파괴전의 굴착면 팽창에 의한 단계로 구분·제시하

였다. 그러나, 이 방법 또한 지반변형량과 매설관의 상호관계를 명확히 평가하기 어려우며 다만 위험수준을 평가할 수 있는 단계를 제시한 것이라 할 수 있다.

한편, 松尾등(1975)와 西尾(1972)는 각각 매설관에 작용하는 토압의 관계를 모형실험을 통해 매설관 주위지반의 거동을 제시하였다. 松尾등(1975)은 지반의 침하형상을 고려하여 지지영역을 구분하여 Marston 식 및 상재압의 적용성을 각각 제안하였고, 西尾(1972)는 지반의 강제변위를 상부에서 하부로 발생시켜 지반의 변형유선을 고찰하므로써 토압의 작용상태를 파악하여 매설관 지름의 25~45%의 지반변위시 최대토압작용 상태임을 보여주었다.

이상에서와 같이 매설관의 설계시 영향요소는 주위지반과 이에 따른 토압조건식에 따라 수행되어진다. 그러나, 실제로 현장에서는 그림 1에서와 같이 지반이 활동하는 경우 활동영역 혹은 영향범위 내에 위치하는 경우가 많아 이미 언급한 바와 같이 활동가능 지반내 매설관이 설치된 경우 지반의 활동시 매설관 주위지반의 파괴모드 및 매설관에 작용하는 토압에 대하여 고찰할 필요가 있게 된다.

2. 모형실험장치

모형실험장치시스템은 그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 변형제어장치, 모형토조 및 계측장치로 구성되어 있다. 지반이 전체적으로 균일하게 변형할 수 있도록 내부토조(그림 5 참조)와 외부토조(그림 4 참조)를 분리 제작하였으며, 외부토조는 고정된 상태에서 그림 2에서와 같이 변형제어장치에 연결된 스위치를 사용해 내부토조에 일정한 속도로 횡방향변형을 일으킨다. 또한, 지반이 변형을 일으킬 때 매설관 주위지반의 변형상태를 관찰할 수 있게 하기 위해 외부토조를 20mm두께의 아크릴판으로 제작하였다. 지반변형량 및 매설관에 작용하는 측방토압을 측정할 수 있도록 하였다(그림 6 참조).

또한, 외부토조는 고정형식의 내부치수 60cm×35cm×10.2cm로 구성되고 내부토조와 외부

토조의 옆판은 마찰과 시료의 변형을 최대한 없애기 위하여 고무패킹 및 그리스를 이용하여 활동시 최소한의 저항을 갖도록 하였고, 매설관은 그림 4에서 보는 바와 같이 외부토조에 고정시켜 수동저항상태의 토압을 측정하도록 외부에 하중계를 부착하도록 하였다. 한편, 내부토조는 그림 5에서와 같이 내부치수가 30cm



그림 2. 실험장치

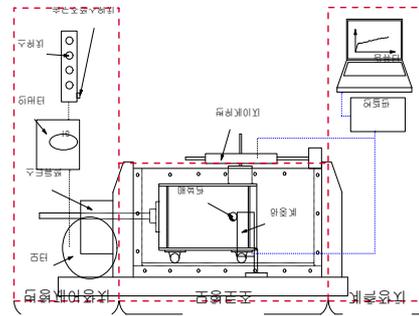


그림 3. 실험장치 계통도

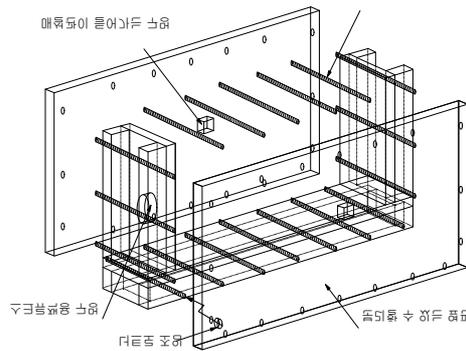


그림 4. 외부토조

×20cm×10cm로 모형지반의 최대한 교란시키지 않도록 상판분리형 및 횡방지 고정틀을 설치하고 마찰을 최소화하며, 밑판은 외부토조의 미끌어짐이 좋도록 레일을 설치하여 외부하중을 중심축에서 상하 고르게 등분포하중이 작용하도록 하였다.

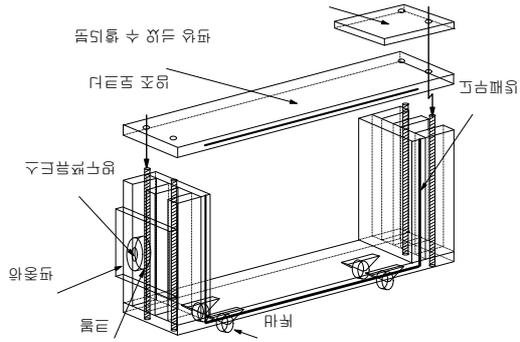


그림 5. 내부토조

3. 모형매설관 및 계측장치

모형매설관은 측방토압을 받을 경우 매설관의 휨으로 인한 영향을 제거하기 위해 강봉(강성관)을 사용하며, 부식을 방지하기 위해 스테인레스강을 사용하였다. 또한, 측방토압을 받을 경우 매설관의 회전을 방지하고 모형매설관과 외부토조 옆판 사이로 토립자의 유입을 막기 위해 강봉 양쪽부분을 사각형으로 가공하여 제작한다. 그리고 모형지반변형시 매설관은 일반적으로 지중매설관으로 많이 사용되는, 토압을 받는 것으로 간주되는 지름이 250mm 이상의 중형매설관을 대상으로 하여 실제매설관의 1/10축적에 토피관계고인 1D 및 크기효과(size effect)를 고려할 수 있으며, 실제 매설관 설치 지반상태를 충분히 고려할 수 있도록 내부토조 및 직경 30mm의 모형매설관을 사용한다. 또한, 실제 지반 내에서는 소구경의 매설관이 서로 혼재하고 있는 경우가 많으므로 이들의 복합거동은 차후의 연구과제로 하고 여기서는 이들 소구경 매설관에 대하여도 그 영향을 검토하기 위하여 15mm의 소구경 매설관에 대하여 모형 실험을 실시하였다.

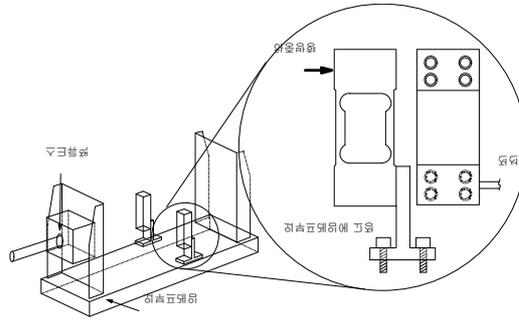


그림 6. 하중계 설치 모식도

한편, 모형매설관에 작용하는 측방토압의 계측을 위하여 재하하중은 나선형 잭을 이용한 변위제어장치를 사용하였고, 측방토압의 계측은 그림 6과 같이 외부프레임에 고정하여 전기 저항식의 하중계를 설치하였으며, 토조의 변위량은 그림 3에서 보는 바와 같이 100mm 변위 게이지를 설치하여 자동계측이 가능토록 하였다.

4. 시료에 대한 물성시험

본 실험에 사용된 시료는 점성토와 모래를 사용하였다. 전술한 바와 같이 실제 매설관이 설치되는 지역은 지반이 양호한 경우에 사용빈도가 높았고 오늘날도 대부분이다. 그러나, 도심지 및 도시기능의 확대로 인해 생명선들의 설치위치는 많은 위험을 동반하는 지형에 설치되는 사례가 빈번하며 특히, 도심지 및 도심외곽 등에서 인위적 굴착 혹은 사면활동 가능지역내 설치되는 경우가 많아 지반의 측방유동에 의한 횡방향저항을 만족하여야 하는 경우가 증가하였다. 따라서, 본 연구에서는 이들 지반에 대한 전체적 파괴모드연구를 위하여 두가지의 대표적 시료를 채택하였으며 그 물리적 특성은 다음과 같다.

1) 물리적특성

점성토는 영종도 인천국제공항 부근의 현장에서 지하 5m 깊이에서 블록샘플 채취기를 이용하여 정적관입에 의한 불교란시료를 채취하였으며 채취된 점성토의 물리적특성은 표1에서

표 5. 모래의 물리적 특성

토질분류	$G_s$	최대건조밀도 ( $g/cm^3$ )	최소건조밀도 ( $g/cm^3$ )	내부마찰각 $\phi(^{\circ})$			점착력 $c$ ( $kg/cm^2$ )
				$D_r=40\%$	$D_r=60\%$	$D_r=80\%$	
SP	2.67	1.62	1.36	37	41	43	0

보는 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 점착력과 내부마찰각은 CU-Test를 실시 후 얻은 값이다.

또한, 모래는 난지도 부근에서 채취한 한강모래를 씻어 건조시킨 모래를 건조후 낙하고에 따라 상대밀도를 맞추어 사용하였으며 그 물리적 특성은 표 2에서 보는 바와 같다. 모래의 경우는 일반적으로 설치되는 매설관설치 지반의 상태를 고려하여 상대밀도를 조절한 것이며, 점성토의 경우는 매설관 설치시 주위지반의 변형을 억제시킨 후 매설관 설치 후 다시 지반을 되메우기하는 상태를 고려할 수 있으므로 주위 점성토지반은 불교란 시료를 대상으로 한 것이다.

### III. 매설관 주변지반의 파괴모드

#### 1. 실험방법

자연상태의 점성토지반에 대한 모형지반은 채취된 불교란 해성점토를 내부토조의 크기에 맞게 트리밍하여 거치하고 모형매설관을 삽입한다. 본 실험은 매설관 주변지반의 파괴모드를 규명하기 위해 수행되므로 매설관이 설치된 모형지반의 측면 앞에 10mm 간격으로 격자모양의 흙을 파고 백색의 카올리나이트분말로 이 흙을 채워 모형지반을 조성하며 이때의 지반모형상태는 그림 10과 같다. 모래지반의 모형지반 내부토조 상판을 분리한 후 강사범을 사용해 낙하고에 따른 상대밀도를 40%, 60%, 80%로 조절하여 조성한다. 또한, 파괴형상을 관찰

하기 위해 세로방향으로 □자모양의 긴 구리 Channel을 20mm간격으로 외부토조 안쪽면에 붙이고 가로방향 20mm간격으로 색사를 깔면서 지반을 조성한 후 색사를 채운 구리Channel을 조심스럽게 뽑아올려 격자를 형성하였다.

본 실험에서는 측방변형 지반을 대상으로 한정하여 매설관과 주변지반의 상호연관관계를 확인하기 위해 점성토와 모래를 대상으로 실험을 실시하여 각각의 시료에 대한 파괴형상에 대한 고찰을 수행하였다. 이를 위해 변형제어 장치를 사용하여 내부토조를 균일한 속도(0.4mm/min)로 변형시키며, 일정 변형량(2mm)마다 사진을 촬영하여 파괴형상을 관찰하였다.

#### 2. 파괴형상실험

##### 1) 점성토지반의 파괴형상

매설관이 설치된 지반이 횡방향으로 변형을 일으킴에 따라 카올리나이트로 형성한 격자점은 그림 7과 같이 변형하였다. 이들 격자점의 이동경로를 벡터로 표시하면 그림 8과 같이 매설관 전면지반은 이동량이 없는 압축쇄기의 정점을 기준으로 양방향으로 분리되어 유동하는 것을 볼 수 있다. 쇄기정점을 추정하기 위하여 매설관이 설치되어 있는 곳과 수평하게 설치된 격자점의 이동량의 크기를 그림 9와 같이 나타내어 이동량이 없는 정점 O를 추적하여 정점에서 매설관에 접선을 그어 매설관과 압축쇄기가 이루는 각  $\alpha$ 를 살펴보면 점성토에서  $53.5^{\circ}$ 로 ( $45^{\circ} + \phi/2$ )와 같은 결과를 보인다. 또한, 西尾

표 7. 점성토의 물리적 특성

토질분류	채취깊이 (m)	W (%)	Atterberg			$G_s$	내부마찰각 $\phi'(^{\circ})$	점착력 $c'$ ( $kg/cm^2$ )	선행압밀응력 $P_c(kg/cm^2)$
			LL(%)	PL(%)	PI(%)				
CL	5	34.08	29.40	19.67	9.73	2.64	17	0.30	0.72

등(1974)의 실험에서와 같이 지반변형의 유선을 그려보면 그림 8과 같다. 좀더 명확하게 파괴형상을 알아보기 위해 격자망의 선이 끊어진 부분을 연결하여 매설관 주변지반의 파괴모양을 나타내면 그림 10, 그림 11에서 보는 바와 같이 지반의 파괴형상은 유선발달상황과 잘 일치함을 알 수 있다. 또한, 매설관 전면 상·하부를 살펴보면 대략 원호모양의 파괴선이 나타남을 볼 수 있으며, 매설관 후면지반의 공동은 점착력으로 인해 붕괴되지 않고 그대로 유지되고 있음을 볼 수 있다.

2) 모래지반의 파괴형상

모래의 경우도 점성토와 마찬가지로 이동량이 없는 쉘기정점을 추적하여 상대밀도 40%, 60% 및 80%인 상태의 지반 각각의 파괴각은 각각 36.9°, 40.8°, 43°로 쉘기각  $\alpha = 45^\circ + \phi/2$ 로 점성토지반과 같은 모양을 나타내고 있으며, 상대밀도가 증가함에 따라 매설관 전면 상·하부지반의 원호가 점차 커지는 것을 볼 수 있다. 또한, 모래의 경우에는 점착력이 없어 매설관 후면지반이 붕괴되어 빨려 들어가는 현상이 관찰되었다

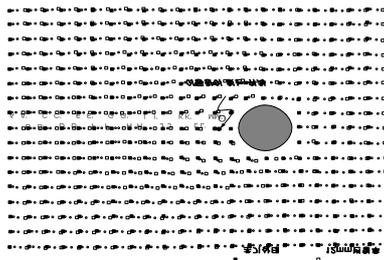


그림 7. 쉘기정점의 추정

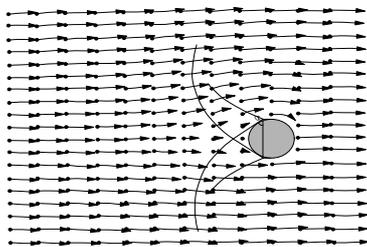


그림 8. 지반의 변위와 유선

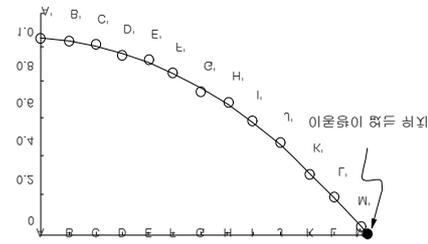


그림 9. 매설관이 설치된 위치에서 움직임이 없는점

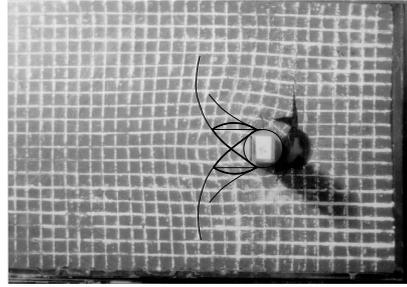


그림 10. 파괴형상(점성토)

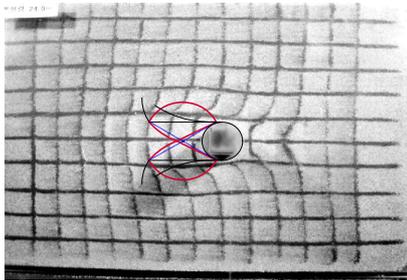


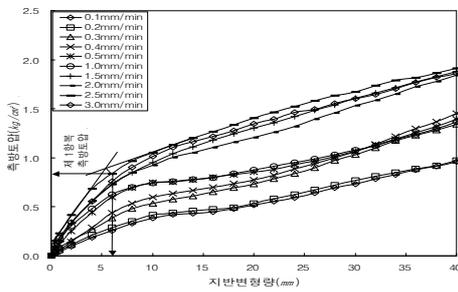
그림 11. 파괴형상(모래,  $D_r=40\%$ )

IV. 지반파괴모드 실험결과 고찰

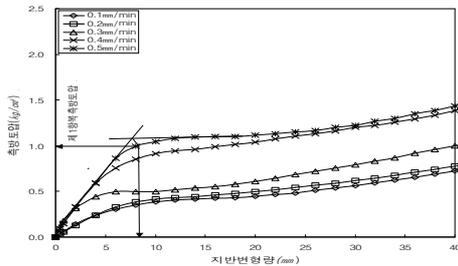
기존연구에서와 같이 상재압, 매설관의 직경에 따른 영향, 주위지반의 밀도상태 등과 관련하여 많은 영향을 받으므로 본 장에서는 모래 및 점성토지반에 매설된 매설관 주위지반의 파괴형태에 영향요소는 매설관에 작용하는 측방토압의 상호관계에 대하여 조사하여 보고자 한다.

1. 점성토지반내 매설관에 작용하는 측방토압 지반변형량에 따른 매설관 작용토압을 매설

관직경 30mm, 15mm에 대하여 측정한 결과는 그림 12와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 지반이 변형을 일으키는 초기단계에서는 매설관 작용토압이 급격하게 증가하는 거동을 보이고 있으며, 이 구간은 지반변형과 측방토압의 관계가 선형적인 탄성거동을 보이고 있다. 또한, 지반변형량이 증가함에 따라 하중증분이 둔해지며, 매설관 주변지반은 소성흐름상태를 나타내게 된다. 따라서, 곡선의 기울기가 변화하는 점을 기준으로 1차항복 측방토압(탄성거동 구간과 소성흐름 거동구간의 경계)과 2차항복 측방토압(소성흐름 거동구간과 압축거동 구간의 경계)으로 구분할 수 있다.



(a) 직경3.0cm



(b) 직경1.5cm

그림 12. 지반변형량과 제1항복 측방토압

또한, 지반변형에 따른 매설관작용 측방토압의 거동은 지반변형속도가 0.1mm/min~1.0mm/min로 느린 경우에는 탄성거동영역, 소성흐름영역 및 압축거동영역의 경계가 뚜렷하게 구분되는 반면, 지반변형속도가 1.5mm/min~3.0mm/min로 빠른 경우에는 소성흐름영역에서 압축거동영역으로 이전되는 부분이 명확하게 구분되지 않고 있다. 즉, 지반변형속도가 느린 경우

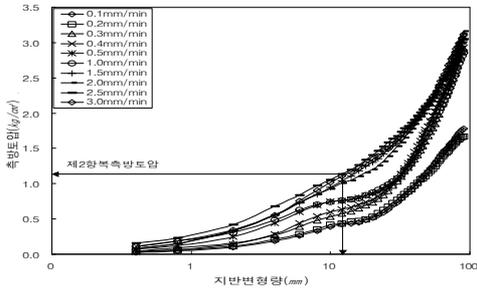
측방토압은 전장에서 제안된 토압의 작용패턴과 일치하지만 지반변형속도가 빠른 경우에는 오히려 소성영역과 압축영역이 구분되지 않는 일반적인 탄소성거동을 보이는 것으로 보인다. 따라서, 매설관 직경이 15mm인 경우에 대하여는 지반변형속도가 0.5mm/min 이하인 경우에 대하여만 실험을 실시하였으며 지반변형속도에 따른 측방토압의 작용패턴은 직경이 큰 경우와 일치하는 것을 알 수 있다.

한편, 제2항복 측방토압은 매설관 주변지반의 소성적 흐름에 의해 나타나는 토압으로 지반변형속도가 빠른 경우에서는 지반변형속도가 느린 경우와는 달리 소성평형을 보인 후 압축거동영역으로 이전되는 시기의 측방토압을 결정하기가 매우 난해하므로 측방토압-지반변형량의 관계( $P\text{-log } S$ 법)를 이용하여 그림 13과 같이 구할 수 있다. 일반적으로 항복하중 결정방법인 하중-침하량( $P\text{-S}$ )관계, 하중-시간-침하량( $P\text{-t-S}$ )관계, 말뚝의 기준침하량으로 판정하는 방법이 있으나 이들 방법에 의해 판단하기 곤란한 경우, 홍원표 등(1989)이 제안한 방법인  $P\text{-log } S$ 를 이용하여 재하속도에 따른 제1항복하중과 제2항복하중을 그림과 같이 구할 수 있다. 이때 사용된  $P\text{-log } S$ 법은 하중단계에 따른 곡선의 곡률경향변화에 따라 변곡점에서의 동일한 곡률변경을 구하는 것이다. 이때 변곡점은 하중과 침하량사이의 거동 변화가 발생하는 시작점으로 나타내는 방법이다.

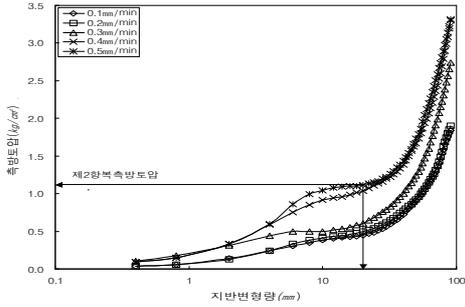
2. 모래지반내 매설관에 작용하는 측방토압

1) 지반변형량에 따른 측방하중

모래지반변형에 따른 측방하중을 매설관의 직경이 각각 30mm, 15mm, 상대밀도가 40%, 60%, 80%인 경우, 수회의 실험을 수행하였으며 그중 상대밀도가 중간정도인 60%인 경우에 대하여 측정결과치를 대표적으로 그림 17에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 변형초기에 하중 증가량이 크게 발생하며 지반변형량이 커짐에 따라 하중증가율이 둔화되는 것을 볼 수 있다. 곡선의 기울기 변곡점을 기준으로 제1항복하중과 제2항복하중으로 구분할 수 있다.

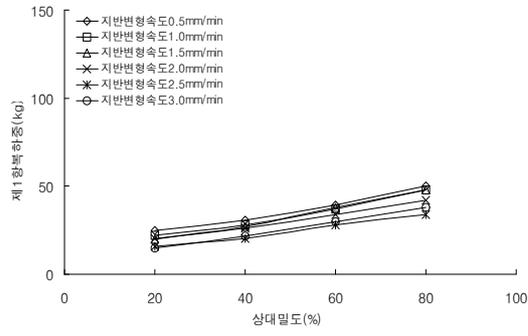


(a) 직경3.0cm

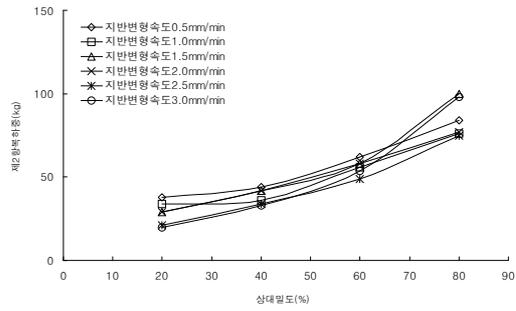


(b) 직경1.5cm

그림 13. 지반변형량과 제2항복속방도압

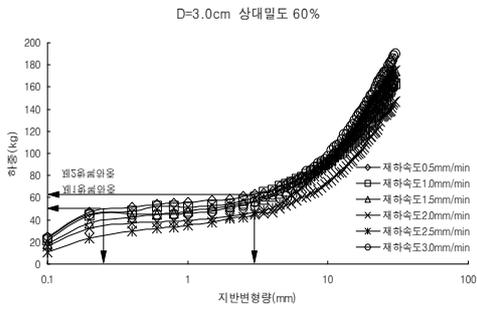


(a) 제1항복하중

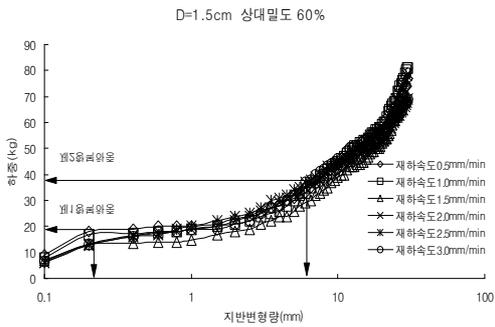


(b) 제2항복하중

그림 15. 항복하중과 상대밀도의 관계(직경 30mm)

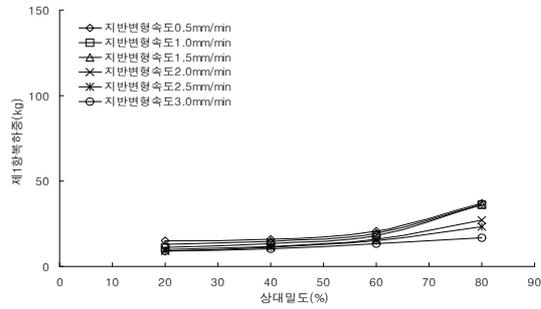


(a) 직경 30mm(상대밀도 60%)

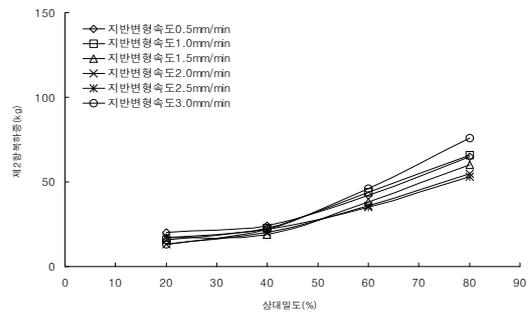


(b) 직경 15mm(상대밀도 60%)

그림 14. 모래지반에서의 매질관직경변화에 따른 축방하중



(a) 제 1 항복하중



(b) 제2항복하중

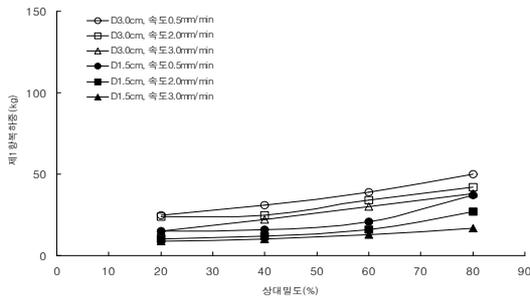
그림 16. 항복하중과 상대밀도의 관계(직경 15mm)

2) 항복하중과 상대밀도의 관계

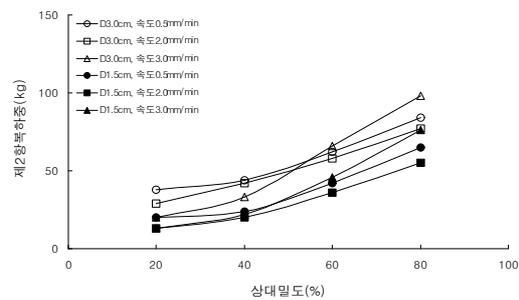
그림 15, 그림 16에서 보는 바와 같이 항복하중은 상대밀도에 따라 지반변형의 속도에 상관 없이 직선적으로 증가하는 경향을 보인다. 매설관이 큰 경우와 작은 경우 제1항복하중은 별 차이를 보이지 않으나 매설관의 직경이 큰 경우, 상대밀도가 중간이상인 경우에는 제2항복하중의 증가폭은 큰 선형적 증가경향을 보인다. 매설관의 직경이 작은 경우에는 상대밀도가 클수록 증가폭은 상승하지만, 제2항복하중의 초기폭은 매설관직경이 큰 경우에 비해 소규모이다. 즉, 항복하중은 상대밀도에 따른 변형속도의 증가의 영향을 별로 받지 않으며 매설관직경의 변화에 따라 하중증가분이 크게 나타남을 알 수 있다.

3) 매설관직경변화에 따른 항복하중

매설관의 직경에 대한 지반변형시 항복하중의 영향을 고려하기 위하여 변형속도별 상대밀도에 따른 영향을 그림 17에서 보는 바와 같이



(a) 제1항복하중



(b) 제2항복하중

그림 17. 지반변형속도에 따른 하중-매설관 직경의 관계

도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 상대밀도 증가시 항복하중은 매설관직경에 영향을 받지 않으며 거의 선형적으로 증가하는 경향을 매설관직경의 증가만큼 항복하중의 증가치를 나타낸다. 즉, 상대밀도가 커짐에 따라 매설관 직경이 작은 경우와 큰 경우의 하중증가폭은 커지는 경향을 보이고 있다.

V. 매설관에 미치는 영향요소

1. 응력-항복하중-변형률관계

지반변형속도가 느린 경우, 모래 및 점토지반에서 측방토압의 패턴을 간략하게 도식화하여 나타내면 지반변형속도가 비교적 느린 경우인 0.5mm/min인 경우, 그림 18에서 보는 바와 같이 제 1항복점과 제2항복점을 기준으로 탄성영역, 소성영역 및 압축거동영역으로 구분될 수 있다. 이때 소성흐름상태를 나타내는 구간은 지반이 항복하여 매설관 배면에 공동이 발생하며, 매설관작용 측방토압의 증가폭이 감소하는 소성흐름거동을 보인다. 소성영역을 지나면 매설관작용 측방토압이 극한상태를 보이지 않고 선형적으로 증가하는 구간은 압축거동영역으로 소성흐름이 계속되는 동안 매설관 전면 지반의 압축영역이 확대되고 압축거동영역의 압축된 지반은 강도가 증가하여 초기의 지반과는 강도특성이 다른 지반으로 변화하기 때문에 소성흐름 거동구간을 지나 측방토압이 선형적으로 증가하는 구간이 나타나게 된다.

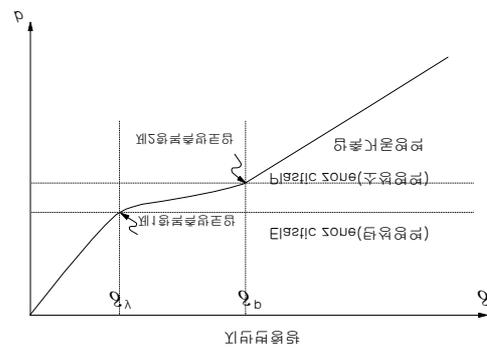


그림 18. 응력-변형률관계 도식도

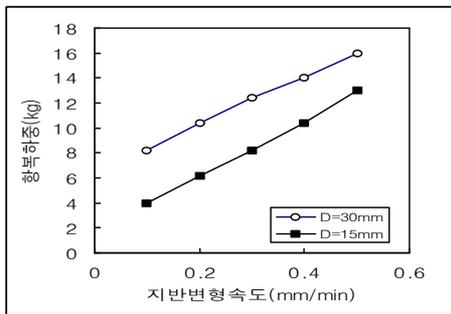


그림 19. 항복하중과 지반변형량

한편, 그림 19에서 보는 바와 같이 매설관직경 변화에 따른 매설관에 가하여지는 항복하중의 크기는 매설관의 직경에 관계없이 지반변형속도의 증가에 따라 하중증가폭은 거의 일정하며 지반변형속도가 빠른 경우, 매설관 직경이 크면 일정한 강성하에서의 축방토압이 많아지므로 상대적인 항복하중은 작아지고, 단위면적당 하중은 증가하므로 매설관의 강성에 영향을 많이 받게 된다.

## VI. 결 론

본 연구는 축방유동을 일으킬 수 있는 연약지반이나, 축방변형을 일으킬 수 있는 사질토지반(대표적으로 모래를 선정) 내에 설치된 매설관에 대해 매설관과 주변지반의 상호연관관계를 규명하기 위해 실시되었다. 축방변형지반내에 매설관이 설치되어 있는 경우, 실제조건을 고려하여 매설관의 직경과 모형지반을 각각 점성토와 모래지반을 대상으로 파괴형상실험을 실시하였다. 또한, 기존연구에서 제시된 매설관에 미치는 영향요소를 고려하여 매설관주위지반의 파괴형태와 매설관에 작용하는 축방토압의 상호관계에 대하여 조사하였다.

- 1) 매설관 주변지반의 파괴형상은 파괴유선과 변위에 따른 썩기정점추적을 통해 매설관 전면에 압축썩기와 소성흐름영역이 형성되며 매설관 전면 상·하부에 원호모양의 파괴선인 원주공동확장영역이 형성되었다. 또한, 점성토와 모래지반의 파괴

형상은 매우 유사한 모양을 나타내고 있으며, 모래인 경우 상대밀도가 증가함에 따라 매설관 전면지반 상·하부의 원호가 점차 커져 썩기파괴영역의 썩기각에 따른 파괴영역확장을 확인할 수 있었다.

- 2) 매설관 주변지반의 파괴모드는 점성토 및 모래지반에 대하여 모두 내부마찰각에 의한 주동파괴형태로  $45^\circ + \phi/2$ 와 같은 파괴모드가 관찰되었으며 파괴모드에 따라 매설관에 작용하는 축방토압 산정을 위하여 원주공동확장이론이 적용이 가능하다.
- 3) 지반변형속도가 느린 경우 점성토와 모래지반의 거동에 대하여 탄성영역과 소성역(제1항복 축방토압), 소성영역과 압축거동영역(제2항복 축방토압)으로 간략히 모식화하여 나타낼 수 있었다. 또한, 지반변형속도가 증가할 수록 항복하중은 매설관의 직경에 관계없이 거의 선형적 상승을 보인다.
- 4) 모래지반에 설치된 매설관의 경우 제1항복하중은 매설관 직경에 관계없이 주위지반의 상대밀도에 크게 영향을 받으며, 제2항복하중은 매설관직경이 큰 경우, 상대밀도의 영향을 크게 받는다.

## 인 용 문 헌

- 홍원표 · 성안제 · 양기석 · 남정만 · 이장오. 1989 貫入말뚝에 대한 鉛直載荷試驗時 降伏荷重의 判定法. 대한토질공학회지. 5(1) : 7-18.
- 홍원표 · 한중근 · 김진오. 2001. 원주공동확장이론에 의한 강그리드보강재의 지지저항산정식. 대한토목학회논문집. 21(4C) : 409-420.
- 西尾宣明ほか. 1974. X線を利用した埋設管土荷重解析について(第1報). 東京瓦斯綜合研究所報告.
- 松尾 稔 · 堀内孝英. 1975. Marston-Spangler 理論の設計への適用に關する研究. 土質工學會論文報告集. 15(2) : 97-107.

- 山口柏樹. 1975. 弾塑性解析によるクイの先端支持力式とその適用性. 土の基礎. 23(7) : 7-11.
- Attewell. P. B. and R. K. Taylor 1984. Ground movement and their effects on structures. : 76- 131.
- Crofts, J. E., B. K. Menzies and A. I. Tarzi. 1977. Lateral displacement of shallow buried pipelines due to adjacent deep trench excavations. Geotechnique : 161-179
- O'Rourke. T. D. and P. A. Lane. 1989. Liquefaction hazards and their effects on buried pipeline. National Center for Earth- quake Engineering Research. : 4-1~4-15
- Spangler. M. G. and R. L. Handy. 1982. Soil engineering. 4th edition. Harper & Row Publishers.
- Venkatramaiah, C. 1993. Geotechnical engineering. John Wiley and Sons.
- Vesic, A. S. 1972. Expansion of cavities in Infinite soil mass. proc. ASCE. 98(SM3) : 265-290.
- Wiseman, G., A. Birnbaum and A. Mazurik. 1995. Testing a welded wire mesh geotextile composite. Asian Regional Conference. Beijing, China. 457-462.

接受 2002年 6月 12日