진동 및 전압 철근 콘크리트관의 종·횡단배수관 적용성 검토에 관한 연구

Study on the possible application of Vibrated and Rolled reinforced concrete pipe to vertical·crossing water distribution system

박 도 경* 이 명 규** 양 극 영***
Park, Do-kyong Lee, Myung-kue Yang, Keek-young

Abstract

In case of carrying out vertical·crossing water distribution system in expressways or general roads construction, VR(Vibrated and Rolled reinforced concrete) pipes are restricted because of their specification of reinforced spun concrete pipe or on-site made pipe. Therefore, in order to apply VR pipes to those constructions, through the structural behavior experiments of the pipes, VR pipes are compared and verified with reinforced spun concrete pipe and the results are obtained as the following. From the experiments and analyses of Pipe Stiffness(PS) of the pipes, cracking loading is approved to satisfy the KS regulations. Through a direct load test, the cracking loading strength and the maximum load test of VR pipe is larger compared with reinforced spun concrete pipe. Particularly, even if side weld is thin, there is no little change in the cracking strength of VR pipe. The results of the direct load test analysis show that the structural behavior of VR pipe is equivalent or higher compared with reinforced spun concrete pipe in performance and VR pipe could be used as the water distribution pipe for roads. In this study, through pipe stiffness, direct load test and load teat on earth, reinforced spun concrete pipe and VR pipe are compared. And as a result, the structural behavior of VR pipe is comprehensively excellent. From the structural behavior tests, VR pipe's section shows more thickness and has uniform characteristics so that VR pipe is considered more favorable than reinforced spun concrete pipe.

키워드 : 진동전압 콘크리트, 강도, 재하시험
Keywords : Vibrated and Rolled reinforced concrete, Strength, Load test

1. 서 론

1.1. 개요

프리캐스트 콘크리트 관의 생산 제품은 제조 방법에 따라 VR(진동 및 전압 철근콘크리트 관, 이하 진동전압관 또는 VR관)관과 원심력 철근콘크리트 관(HUME관, 이하 원심력관)으로 분류된다. 진동전압관은 콘크리트 재질로 원통형틀에 조립된 철선과 건식콘크리트(W/C=0.35~0.38)를 주입하여 진동과 전압을 동시에 가하여 성형함으로써 강도가 우수하며, 탈수현상 및 재료분리현상이 없고, 제품 단면조직이 균일하며 내부 표면이 매끄러워 조도 계수가 낮으므로 유속의 저항을 최소화 할 수 있다. 한 개의 금형으로 동일규격을 대량 생산함으로 규격이 매우 정밀하며 횡방향 변형에 강하다. 내부식·내구·내마모성이 우수하며 콘크리트 강도가 높고 관 두께(직경Ø600 : 75㎜)가 두꺼워 운반 및 시공과정에서 제품의 손상이 거의 없으나 중량은 다소 무겁다. 근래에는 외압강도 및 수밀성이 우수하여 도로 종·횡단배수관으로 많이 이용되고 있으며 그 사용성은 더 확대될 것으로 기대된다. 원심력관은 콘크리트를 조립된 철선과 습식 콘크리트를 원통형 형틀내에 주입하여 원심력을 이용해 회전성형함으로 관외벽이 조밀하고 매끄럽고 내구·내마모성이 우수하나 내부 표면에는 모르터 성분이 모여 스케일이 쉽게 생기며 또한, 여러 조각의 금형으로 동일 규격을 생산하므로 단면두께가 불규칙할 수 있다. 또한, 관두께(직경Ø600: 50㎜)가 비교적 얇고 중량이 가벼워 시공성은 좋으나 운반 및 취급시 손상이 발생할 수 있다. 원심력 관은 사용목적에 따라 보통관, 압력관 및 투수관으로 분류되며 하수도관, 배수관, 하수도의 송수관, 공업용수관, 농업용수관 및 취수관 등에 사용되고 있다. 현재 KS규격에는 진동전압관과 원심력관이 함께 규정되어 있으며, 고속도로 전문 시방서에는 콘크리트 배수관을 여러 종류로 사용토록 규정(고속도로 전문시방서 6-2 콘크리트 배수관)되어 있으나, 한국도로공사의 고속도로 건설 표준도에는 원심력관과 현장 제작관만이 수록되어 있어 고속도로 시공현장에는 원심력관, 현장제작관만이 사용되고 있는 실정이다. 그러나 진동전압관이 거동 및 강도에서 기존의 원심력관과 비교하여 문제가 없는 경우 도로배수관으로 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

* 원광대학교 건축학부 강사, 공학박사
** 전주대학교 토목공학과 교수, 공학박사
*** 원광대학교 건축학부 교수, 공학박사

1.2 연구 목적 및 내용

고속도로 및 일반도로 건설공사의 표준도에 도로용 종·횡단 배수관 설계·시공시 원심력 콘크리트관 또는 현장 제작관으로 명기되어 진동전압관(VR관)의 사용이 제한되어있다. 따라서 본 연구의 목적은 진동전압관(VR관)을 도로용 종·횡단배수관으로 설계 및 시공에 적용할 수 있도록, 관의 거동 실험을 통하여 원심력 콘크리트관 과의 비교, 검증하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서 수행한 내용은 다음과 같다. 관의 외압강도시험 및 분석, 콘크리트 기초가 설치된 소구경관의 직접재하시험, 기초가 설치된 지중 재하시험을 실시하였다. 관의 외압강도시험 및 분석에서는 진동전압관의 외압강도시험에서 측정된 자료를 이용하여 균열강도 및 파괴강도를 산정하기 위한 분석방법과 측정된 값과 KS기준과 비교하였다. 콘크리트 기초가 설치된 소구경관의 직접재하시험에서는 직경300㎜의 관을 고속도로공사 표준도에 따라 관의 높이 1/2까지 콘크리트를 타설하여 기초를 설치한 시험체로 제작하여 만능재료시험기(UTM)를 이용하여 정밀재하시험을 수행하여 관의 균열 거동, 최대시험하중을 측정하였다. 콘크리트 기초가 설치된 관의 지중재하시험에서는 직경 600㎜관을 고속도로공사 표준도에 따라 관의 높이 1/2까지 콘크리트를 타설하여 제작된 시험체를 모형 토조내에 설치하여 DB24 차륜 하중폭으로 하중을 작용시켜 시험을 수행하였다. 시험을 통하여 관의 균열 거동, 최대시험하중을 측정하였다.

2. 관의 외압강도시험

2.1 개요

철근콘크리트관의 품질을 검토하기 위한 여러 가지 시험중에 외압강도시험방법이 관의 구조적 거동을 검토하기 위해 가장 일반적으로 수행되는 시험이다. 진동전압관의 외압강도 규정은 "KS-F4402 진동 및 전압 철근 콘크리트관" 에 따르며, 원심력관의 경우에는 "KS-F4403 원심력 철근 콘크리트 규정" 에 따르게 된다. 진동전압관의 균열 및 강도에 대한 자세한 정보를 입수하기 위하여 정밀 계측장비를 이용하여 외압강도시험을 실시하였다. 실험은 1200㎜관과 600㎜관에 대하여 실시하였다.

2.2 시험방법 및 설비

2.2.1 시험방법

관의 외압강도 시험은 사진1과 같이 시료의 직선부를 견고한 대 위에 수평으로 놓고, 아래위에 두께 20㎜의 양질 고무판과 두께 150㎜의 각목을 놓고, 하중이 관 위의 직선부에 균등하게 분포되도록 수직으로 가한다고 되어 있다. 외압강도시험의 균열하중은 측정현미경이나 틈새게이지로 측정하였을 때 0.05㎜균열(육안으로 관찰 가능한 최소 균열폭)이 발생했을 때의 강도를 말하며, 파괴강도는 더 이상 하중을 재하할 수 없을 때까지 재하된 최대하중을 말한다.

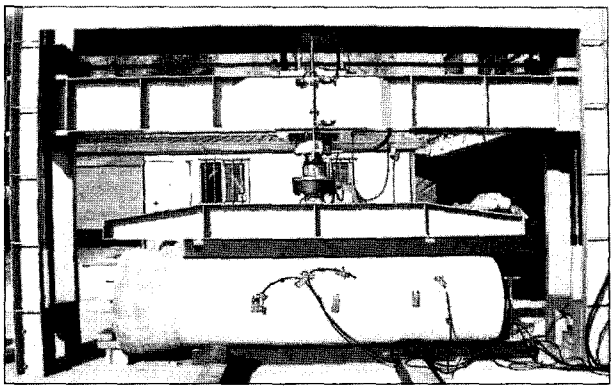

사진 1. 콘크리트 외압강도 시험장치

탄성이론에 의하면 제1균열은 하중이 가해지는 관상부 내면과 관하부의 내면에서 발생하고, 제2균열은 관의 1/2높이에서 관의 바깥면에서 발생하며 제2균열 이후에 파괴강도에 이르게 된다. 관의 제작에 사용되는 철선은 균열하중에는 영향이 거의 없으며 관이 파괴에 이르렀을 때 힘을 받아주게 된다.

2.2.2 시험설비 및 계측위치

외압강도시험은 전주시 인근의 S사가 보유한 100톤 용량의 외압강도 시험기를 사용하였다. 측정은 그림1과 같이 변형률 측정장치(Data logger : TML TDS303)를 사용하여 관내부 상단의 변위, 관내부 하부표면의 변형률, 관의 외측 중간 높이에서의 변형률의 네 가지 항목에 대하여 실시하였다. 변위는 LVDT(linear variable displacement tranducer)를 이용하였으며, 균열을 관찰하기 위한 관 내부 및 외부 변형률 측정은 콘크리트용 센서를 부착하였다. 하중은 균열관찰을 위해서 500kgf 단위로 연속 증가시켰으며 각 하중단계마다 변형률 측정 장치를 통하여 자동측정을 수행하였다.

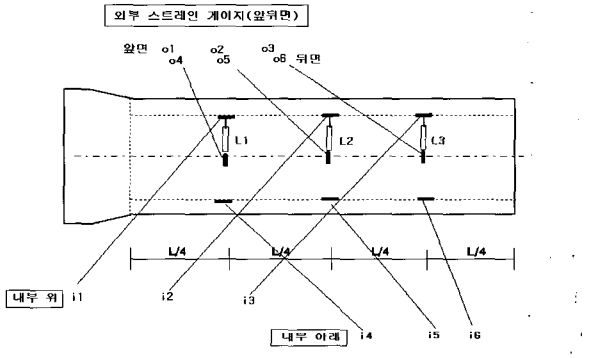

그림 1. 시험체에 부착된 센서의 위치도

2.3 시험 결과 및 분석

2.3.1 1200㎜관의 외압강도 시험결과

외압강도시험결과 제1균열은 하중 15.2ton(6080kgf/m : 기준치 : 5800kgf/m)에서 발생하였으며, 제2균열하중은 17.5ton에서 발생하였다. 파괴하중은 28.3 ton(11300 kgf/m : 기준치 : 8700kgf/m)이었다. 실험결과 기준치를 상회하는 결과를 보이고 있으므로 소요의 품질을 확보한 것으로 판단할 수 있다. 일반적으로 초기 균열이 발생하는 변형은 100~200 μstrain($\times 10^{-6}$

㎜/㎜)으로 알려져 있다. 그러나 실험을 진행하면서 균열을 관찰한 균열하중 15.2ton과 스트레인 게이지 값이 200 μstrain일 때의 초기균열 예상 하중은 12.0ton으로 차이가 있었다. 제2균열하중은 측정값은 17.5ton이나 200 μstrain측정값은 14.0ton이었다. 이와 같은 현상은 스트레인 게이지에 의해서는 미세 균열이 측정되지만, 균열이 육안에 관찰되기 위해서는 미세균열이 전파되어 나타나야 하기 때문이다.

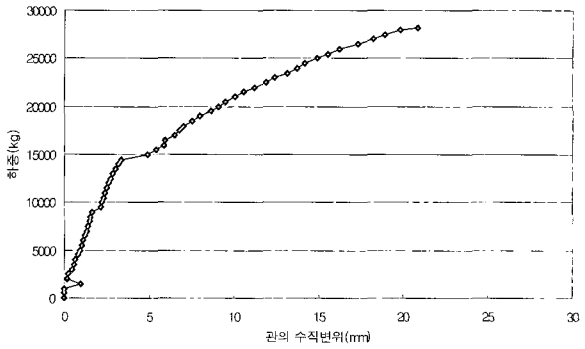

그림 2. 1200㎜관의 내부 상면의 변위측정결과

2.3.2 600㎜관의 외압강도시험결과

외압강도시험결과 제1균열은 하중 12.7ton (5096kgf/m : 규정값 : 3500kgf/m)에서 발생하였으며, 제2균열하중은 15.0ton에서 발생하였다. 파괴하중은 20.9 ton (8372kgf/m : 규정값 : 5300kgf/m)이 있다. 실험 균열강도와 파괴강도가 규정을 초과하는 값을 보이고 있으므로 소요의 품질을 확보하고 있는 것으로 판단할 수 있다. 일반적으로 초기 균열이 발생하는 변형 200 μstrain이라고 알려져 있다. 그러나 실험을 진행하면서 측정한 스트레인 게이지 값이 일정한 경향을 보이지 않았으나 관 내부의 변형을 기준으로 하여 균열변형이 발생한 하중은 약 11.5ton~13.0ton 범위에 있어 실제 제1균열 관찰값 12.7ton과 차이가 거의 없는 것으로 볼 수 있다. 그러나 관의 외측변형은 8.5ton에서 초기균열 변형에 도달하여 실제 관찰된 결과와 차이를 보였다. 이러한 현상은 측정센서의 설치시의 완전하게 부착되지 않아서 발생할 수도 있다.

3. 직접재하시험

3.1 개요

진동전압관의 도로용 종·횡단배수관으로서의 적용성을 검토하기 위하여 표준도에서 명기하고 있는 원심력관을 사용하는 경우와 비교시험을 수행하여 거동을 관찰였다. 시험은 관의 거동을 분석하고 강도기준과 비교하기 위한 만능재료시험기(UTM)를 이용한 소구경관(Ø300)의 정밀재하시험과 콘크리트 기초를 포함하는 배수관 구조물을 토조내에 매설하여 시험하는 실제 적용성 시험의 2가지를 수행하였다. 각 재하시험에서는 원심력관과 진동전압관으로 제작된 시험체를 사용하였다.

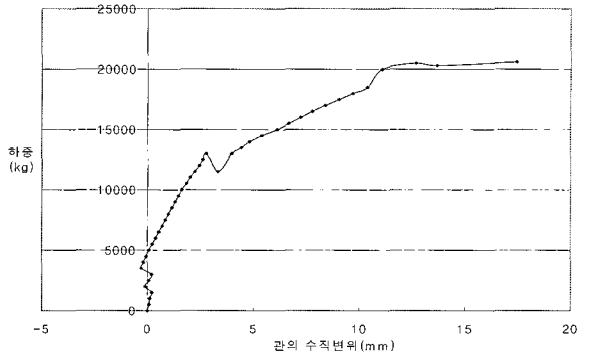

그림 3. 600㎜관의 내부 상면의 변위측정결과

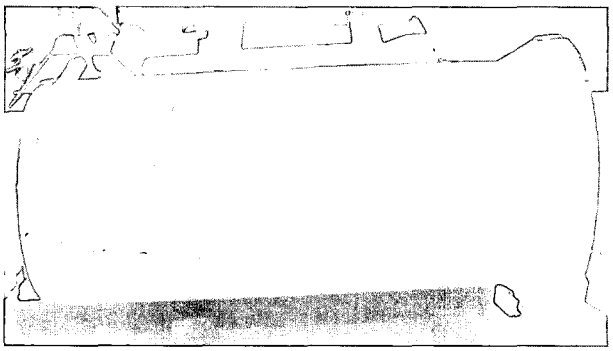

사진 2. 진동전압 콘크리트관의 균열형상

먼저, 기초콘크리트가 설치된 시험체의 지중재하시험 결과를 평가하여 균열하중과 최대시험하중을 결정하기 위하여, 소구경관을 사용하여 기초콘크리트가 설치되도록 제작된 시험시편을 이용하여 만능재료시험기에서 직접관에 하중을 작용시켜서 변형과 변위를 정밀측정 하였으며 균열을 관찰하였다.

3.2 시험체의 제작 및 설치

3.2.1 시험체의 제작

시험체는 고속도로 표준도에 기술된 관의 기초형식 중 콘크리트 기초가 관의 1/2 높이까지 설치되는 형식으로 시험체를 제작하였다. 내부 지름이 300㎜인 관을 대표 관으로 선정하여 각기 다른 제조방법으로 생산된 진동전압관(VR관) 및 원심력관을 사용하여 시험체를 제작하였다. 원심력관을 사용한 경우 고속도로 표준도면의 1연배치의 시험체를 제작하였다. 진동전압관(VR관)의 경우 표준도에 제시된 원심력 콘크리트관의 기초와 동일한 피복을 가지는 것(이 경우 기초의 폭이 표준도에 비하여 관의 두께차이 만큼 커짐)과 동일한 기초 크기를 유지하는(이 경우 기초콘크리트 측면피복이 관의 두께 만큼 작아짐) 시험체를 각각 제작하였으며, 원심력관 시험체를 포함하여 총 3개의 시험체를 제작하였다. 기초콘크리트는 240kgf/㎠으로 28일 양생을 통하여 제작되었다. 각 시험체는 시험체의 운반과 설치, UTM의 크기 등을 고려하여 길이 1m로 제작하였다. 제작된 시험체는 다음 표1과 같다.

표 1. 직접재하 시험체의 종류(Φ300)

시험 체	내 용 (치수:mm)
H-1-100-560	원심력관(HUME관) - 1연관 - 측면 피복두께100 - 기초폭560-바닥 콘크리트두께160
V-1-100-610	진동전압관(VR관) - 1연관 - 측면 피복두께100 - 기초폭610-바닥 콘크리트두께160
V-1-075-560	진동전압관(VR관) - 1연관 - 측면 피복두께75 - 기초폭560-바닥 콘크리트두께140

3.2.2 시험체의 설치

제작된 시험체는 기초바닥면을 두께 20㎜의 고무판을 깔고 만능재하시험기위에 거치하였으며, 재하시험은 200tonf 용량의 만능재료시험기를 이용하여 수행하였다. 시험을 위하여 설치된 시험체의 단면은 사진3과 같다. 콘크리트 변형측정을 위한 센서는 관의 크기에 따른 제약으로 관의 상부 내면과 측면 등에 관의 길이방향으로 2개를 설치하여 측정을 실시하였다. 관상부의 수직 변위 측정을 위하여 LVDT를 설치하여 측정하였다.

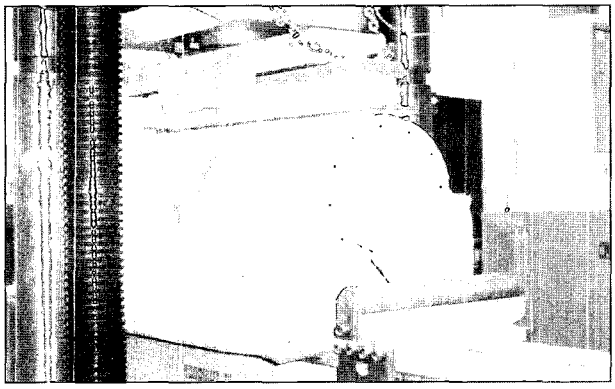

사진 3. 300㎜ 시공관의 하중 재하 측면사진 (UTM 재하)

3.3 직접재하 시험결과

3.3.1 H-1-100-560 시험체의 측정결과

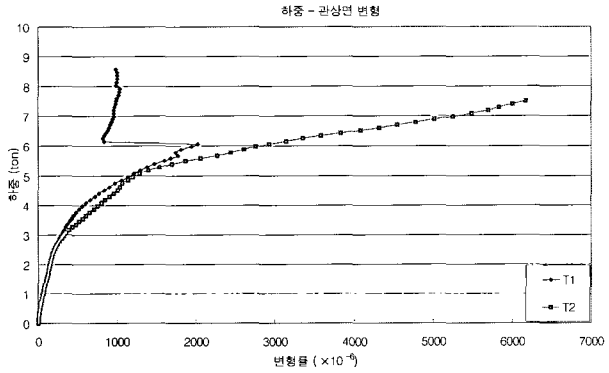

그림 4. 직경300㎜ 원심력관 관상부 변형

실험결과 균열은 6.2tonf에 관찰되었으며 최대 시험하중은 9.6tonf으로 관찰되었다. 콘크리트 초기 균열발생시점으로 알려진 200 μstrain에서의 하중은 2.5tonf으로 관찰되었다. 반대로 균열이 관찰된 6.2tonf에서 측정된 변형은 약2000 μstrain으로 나타났다. 그림4의 측정된 결과를 보면 균열 발생 전까지 콘크리트의 거동은 탄성이라고 가정하면 2.5tonf에서 6.2tonf의 곡선구간은 초기균열 발생후 균열이 전파되는 구간으로 볼 수 있다. 이것은 원심력관 단면의 외부에는 골재를 포함한 밀실한 콘크리트가, 내부에는 모르터 성분이 많이 존재하는 특성으로 인하여 측정하중과 균열관찰 하중의 차가 발생하는 것으로 사료된다.

3.3.2 V-1-100-610 시험체의 측정결과

실험결과 균열은 9.2ton에 관찰되었으며 최대 시험하중은 16.4ton으로 관찰되었다. 콘크리트 초기 균열발생시점으로 알려진 200 μstrain에서의 하중은 5.6ton으로 관찰되었다. 균열이 관찰된 하중(9.2ton)에서의 변형은 약 1000 μstrain으로 나타났다. 이와 같이 진동전압관에서는 내외부가 균질한 콘크리트로 구성되어 측정하중과 관찰하중의 차가 상대적으로 적게 나타났다.

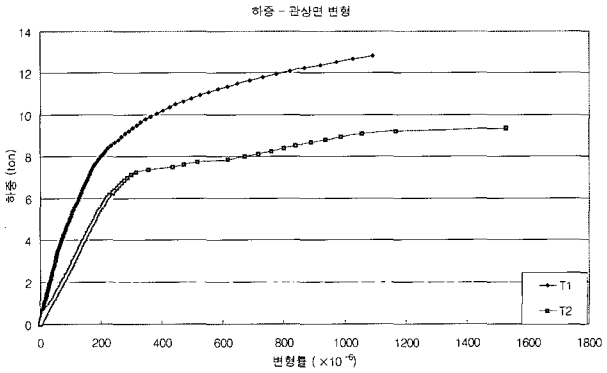

그림 5. 직경300㎜ 진동전압관 관상부변형(측면피복100㎜)

3.3.3 V-1-100-560 시험체의 측정결과

실험결과 균열은 8.2ton에 관찰되었으며 최대 시험하중은 11.5ton으로 관찰되었다. 콘크리트 초기 균열발생시점으로 알려진 200 μstrain에서의 하중은 6.2ton으로 관찰되었다. 균열이 관찰된 하중에서의 변형은 약 600 μstrain으로 나타났다.

V-1-100-610 시험체에 비하여 균열 관찰하중과 최대시험하중이 작게 나타났다. 또한, 균열관찰하중에서의 변형이 가장 적게 측정되었다. 이 시험체의 시험결과 측정하중과 관찰하중과의 차가 가장 작게 발생하였다.

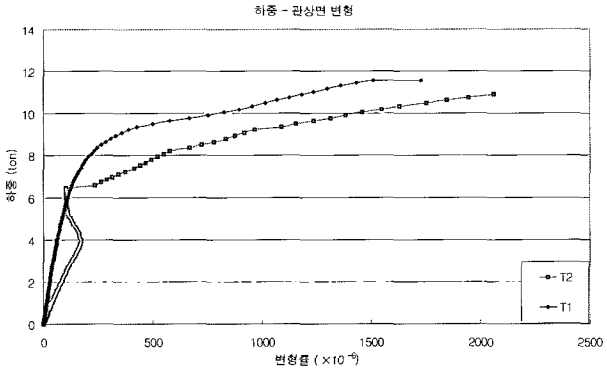

그림 6. 직경300㎜ 진동전압관 관상부변형(측면피복75㎜)

4. 지중재하시험

4.1 개요

지중 재하시험의 목적은 작용하중에 따른 지중 구조물의 역학적 특징(균열·파괴하중)을 검토하는데 있으며 시험관을 최대한 시공현장과 유사한 지반조건, 상재하중 및 토압분포를 고려하기 위하여 대형 모형 토조를 제작하였다.

4.2 모형토조

토조를 이용한 재하시험은 토조의 규모를 크게 할수록 작용하중에 따른 구조물의 거동 특성이 원 지반의 특성과 유사한 거동 결과를 얻을 수 있으나 실내 재하시험장치 한계로 본 연구에서는 최대한 현장조건과 동일한 지반을 구현하고자 2500×2000×1050㎜의 모형토조를 4-50의 'L'형강을 이용하여 500×400㎜간격으로 제작하였으며, 토조 안쪽은 합판을 이용하여 모래지반을 지지하게 하였다. 상재하중의 토조 고는 관의 상단면에서 50cm로 하여 지반조건을 구현할 수 있도록 토조를 제작하였으며, 재하하중 및 상재토압에 따른 토조의 변형을 최소화하기 위하여 길이방향으로 150×70-7의 'ㄷ' 형강을 고장력 볼트로 채결하여 상, 중, 하 3단으로 설치하여 횡방향 변형이 구속되도록 보강하였다.

4.3 시험체의 설계

표 2. 제작된 시험체의 종류

시험체	내 용
H-1-100-900	원심력관(HUME관) - 1연관 - 측면 피복 두께100 - 기초폭900
V-1-100-950	진동전압관(VR관) - 1연관 - 측면 피복두께100 - 기초폭950
V-1-075-900	진동전압관(VR관) - 1연관 - 측면 피복두께75 - 기초폭900
H-2-100-1800	원심력관(HUME관) - 2연관 - 측면 피복 두께100 - 기초폭1800
V-2-100-1900	진동전압관(VR관) - 2연관 - 측면 피복두께100 - 기초폭1900
V-2-075-1800	진동전압관(VR관) - 2연관 - 측면 피복두께75 - 기초폭1800

본 시험에서는 토조와 재하판의 크기를 고려하여 내경 Ø 600㎜의 관을 길이 1m로 절단하여 진동전압관과 원심력관의 시험체를 제작하였다. 관이 1개 배치되는 시험체의 경우 고속도로 종·횡단배수관의 표준도에 따라 두께가 50㎜인 원심력관을 그림7과 같이 관의 기초 콘크리트 측면 피복 두께를 100㎜로 하여 바닥폭(W)이 900㎜(=100×2+50×2+600)가 되도록 시공한 것을 기준 시험체로 제작하였으며, 동일한 측면 피복두께(100㎜)를 갖는 진동전압관(VR관) 시험체(W=100×2+75×2+600=950㎜)와 동일한 바닥폭(900㎜)를 갖는 진동전압관(VR관) 시험체(측면 피복 두께=(900-600-75×2)÷2=75㎜)를 제작하였다. 또한, 관이 2개가 배치되는 2연 배수관 시험체의 경우 한 쪽 관에 하중이 재하될 때 인근의 관에 어떠한 영향이 있는가를 함께 알아보기 위해 각 시리즈에 대하여 2연 시험체를 제작하여 시험하였으며, 2연 배수관 시험체의 규격은 1연 시험체를 2개 이은 치수로 하였다. 따라서 본 시험을 위해 제작된 시험체는 총 6개이며 다음 표2에 시험체의 종류에 대하여 정리하였다.

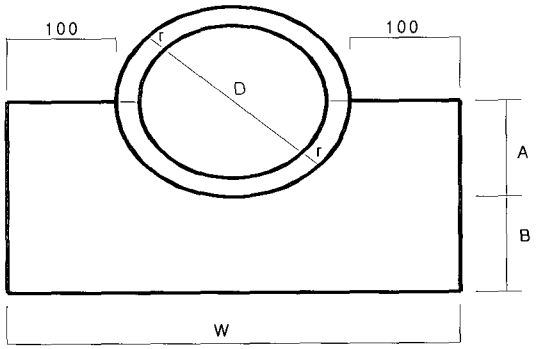

그림 7. 1련 배수관 시험체(원심력관)

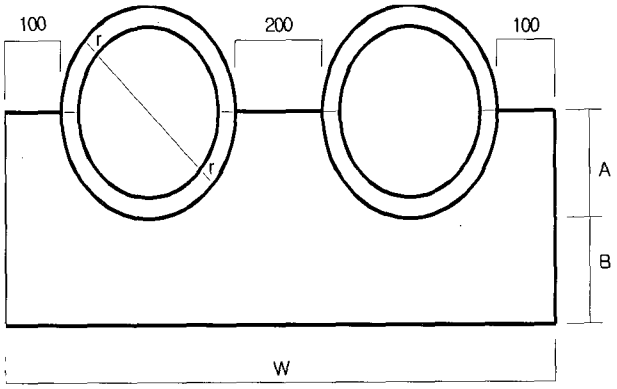

그림 8. 2련 배수관 시험체(원심력관)

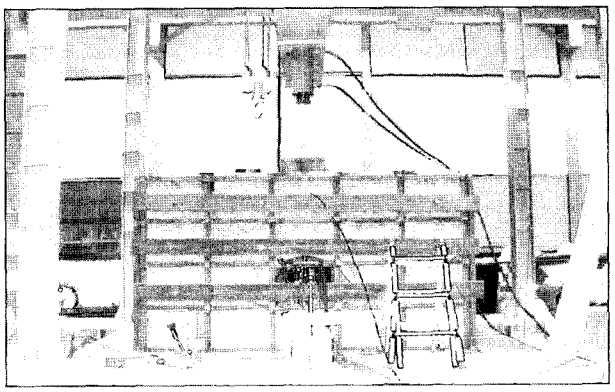
사진 4. 토조내 시험체 설치 완료 형상

4.4 실험결과

4.4.1 개요

진동전압관(VR관)을 도로용 종·횡단배수관으로 활용하는 경우 거동을 기존 원심력관과 비교 검토하기 위하여 균일한 사질토를 사용한 모형 토조에서 재하실험을 실시하였다. 관의 거동 비교를 위하여 각 시험체에 대하여 측정된 자료를 활용하여 균열 하중과 최대 재하 하중을 분석하였다. 일반적으로 관의 품질검토를 위해 실시하는 관의 외압강도시험에서는 재하장치를 이용하여 관에 직접 하중을 작용시켜 균열강도와 파괴강도를 구하게 된다. 이 경우 재하조건이 일정하여 균열의 관찰이 용이하고 파괴강도가 비교적 일정하게 나타난다. 그러나 본 연구

에서 수행한 재하시험과 같이 관구조물을 모형토조에서 재하판을 이용해 재하실험을 하는 경우 구조물 응답이 복잡하게 나타나게 된다. 따라서, 균열하중과 파괴하중은 관과 기초 콘크리트에서 측정된 변형율과 변위 측정값을 분석하여 구하였다.

4.4.2 H-1-100-900 시험체의 측정결과

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200 μ strain에서의 하중은 3.0~3.5ton 범위에 있는 것으로 나타났으며 변위 측정결과와 변형 측정을 종합하여 구조물의 거동이 선형에서 비선형으로 전이되는 약 5.8ton을 균열하중으로 볼 수 있다. 시험체 가해진 최대 하중은 8.8ton으로 관과 기초가 파괴에 이르지 않았다.

4.4.3 V-1-100-950 시험체

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200 μ strain에서의 하중은 11.5ton 으로 나타났으며, 이 하중에서 균열이 발생한 것으로 판단되며 최대시험하중은 16.8ton으로 나타났다.

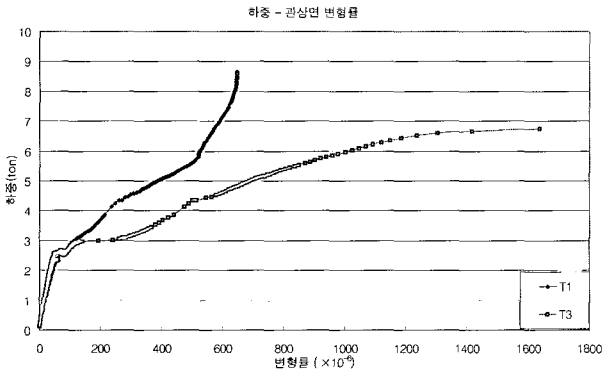

그림 9. 1연 원심력관 관상부 변형

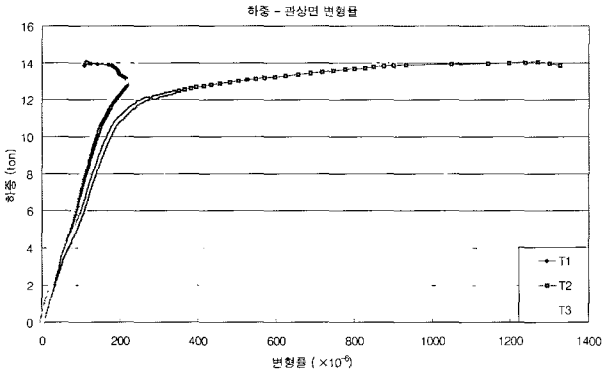

그림 10. 1연 진동전압관 관상부 변형(측면피복 100mm)

4.4.4 V-1-075-900 시험체

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200 μ strain에서의 하중은 10.0ton 으로 나타났으며, 이 하중에서 균열이 발생한 것으로 판단되며 최대시험하중은 19.0ton으로 나타났다.

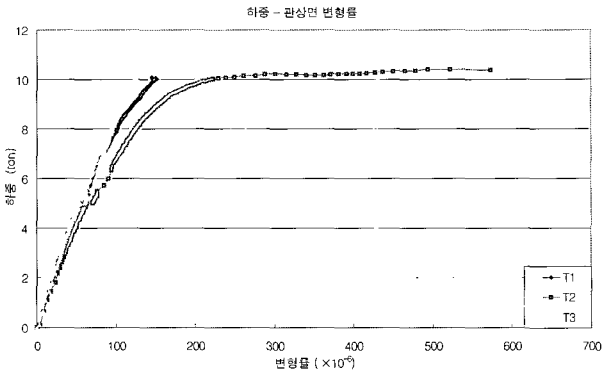

그림 11. 1연 진동전압관 관상부 변형(측면피복 75mm)

4.4.5 H-2-100-1800시험체

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200 μ strain에서의 하중은 7.0ton에 있는 것으로 나타 났으며, 변위 측정결과와 변형 측정을 종합하여 구조물의 거동이 선형에서 비선형으로 전이되는 약 12.0ton을 균열하중으로 볼 수 있다. 시험체 가해진 최대 하중은 19.3ton으로 관과 기초가 파괴되었다.

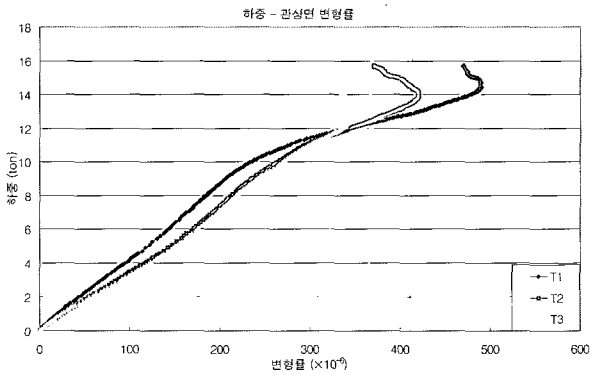

그림 12. 2연 원심력관 관상부 변형

4.4.6 V-2-100-1900 시험체

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200 μ strain에서의 하중은 14.5ton 으로 나타났으며, 이 하중에서 균열이 발생한 것으로 판단되며 최대시험하중은 20.0ton으로 나타났다.

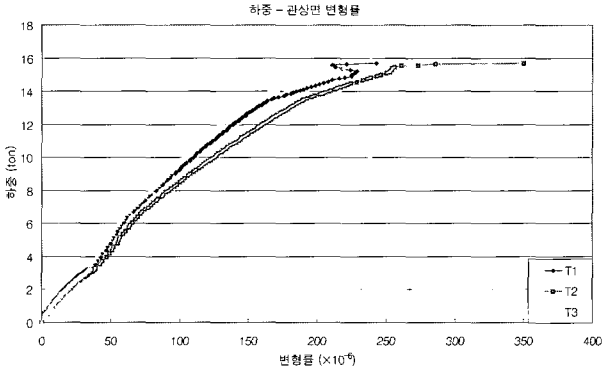

그림 13. 2연 진동전압관 관상부 변형(측면피복 100mm)

4.4.7 V-2-075-1800 시험체

재하실험결과 초기 균열을 발생시키는 것으로 알려진 200μ strain에서의 하중은 11.0ton 으로 나타났으며, 이 하중에서 균열이 발생한 것으로 판단되며 최대시험하중은 20.8ton으로 나타났다.

4.5 재하실험 결과 분석 및 시험체 파괴양상

4.5.1 재하실험결과 분석

시험체의 예비 검토를 통하여 취약부위가 관내면 상부, 콘크리트 기초상단으로부터 관의 정상부 방향으로 45 °방향의 관외부의 응력이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 실험결과 균열발생위치는 이와같은 예비검토작업과 대체로 일치하는 결과를 보였다. 다음 표3은 시험체의 균열하중과 최대시험하중을 나타내고 있다. 균열하중은 시험체의 변형과 변위 측정결과를 참고로 하여 추정한 값이고 최대시험하중은 관거 구조물에 가해진 최대 하중이다.

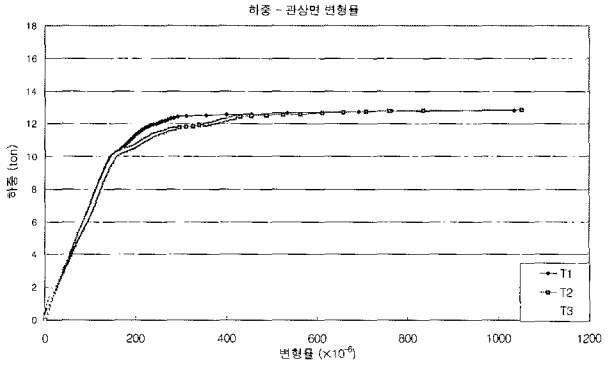

그림 14. 2연 진동전압관 관상부 변형(측면피복 75㎜)

표 3. 시험체의 균열하중 및 최대시험하중

시험체	균열하중 (tonf)	최대시험하중 (tonf)[1]	비 고
H-1-100-900	5.8(3.5)[2]	8.8[3]	관의 내면 상부에 균열발생
V-1-100-950	11.5	16.8	관의 내면 상부, 측면 균열
V-1-075-900	10.0	19.0	관의 내면 상부, 측면 균열
H-2-100-1800	12.4(7.0)[2]	19.3	관의 내면 상부, 측면 균열
V-2-100-1900	14.5	20.0	관의 내면 상부, 측면 균열
V-2-075-1800	11.0	20.8	관의 내면 상부, 측면, 하부균열

1) 최대하중은 시험체가 파괴되어 더 이상 재하가 불가능할 때의 하중
2) 인장변형 200μstrain(균발생변형)에서의 하중
3) 관의 상부균열발생후 더 이상 재하하지 않았음

5. 결 론

본 연구에서는 우수한 역학적 성능을 가진 진동전압관(VR관)을 도로용 종·횡단배수관으로 설계 및 시공에 적용할 수 있도록, 관의 거동실험을 통하여 원심력 콘크리트관과 비교, 검증한 결과 다음과 같다.

1) 관의 외압강도시험 및 분석을 통하여 KS에 규정된 균열하중과 시험에서 관찰되는 균열하중, 변형으로 측정되는 균열하중의 관계를 규명하였다. 실험 및 분석에 의하면 실험에서 관찰되는 균열하중과 변형으로 측정되는 균열하중사이에 차이가 발생하는 것으로 나타났으나 관찰되는 균열하중은 KS규정강도를 만족하는 것으로 나타났다.
2) 지중재하시험의 결과를 분석하기 위한 기초자료를 얻기위한 콘크리트 기초가 설치된 직경 300㎜의 관구조물의 직접재하시험을 통하여 균열하중과 최대시험하중결과 진동전압관의 균열하중강도와 최대시험하중이 원심력관을 사용한 경우보다 큰 것으로 나타났다. 특히, 측면피복이 얇은 경우에도 진동전압관의 균열 강도가 큰변화가 없는 것으로 나타났다.
3) 한국도로공사 표준도에 의거하여 제작된 콘크리트 기초가 관의 직경 1/2까지 설치된 관구조물에 대하여 실내 지중재하시험을 실시한 결과 진동전압관의 거동이 원심력관에 비하여 성능이 동등이상으로 나타났으며, 구조적인 측면에서 도로용 배수관으로 활용될 수 있을 것으로 나타났다. 또한 여러 가지 시험영향요인을 감안하더라도 원심력관과 같은 크기의 기초폭을 유지하면서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행한 외압강도시험, 직접재하시험, 지중재하시험을 통하여 도로용 배수관으로서 원심력관과 진동전압관의 거동을 비교한 결과 진동전압관의 구조적 거동이 전반적으로 우수한 것으로 나타났다. 특히, 관에 콘크리트 기초를 설치하는 경우에 진동전압관에 대하여 기존의 원심력관과 동일한 기초폭을 유지하더라도 구조적 거동이 전반적으로 우수한 것으로 나타났다. 구조거동 시험과정을 통하여 검토된 관 단면의 특성상 관이 더 두껍고, 균일한 단면특성을 가지는 진동전압관이 내구성 측면에서도 원심력관에 비하여 유리할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. ASTM C 497M, "Standard Test Method for Concrete-Pipe, Manhole Sections, or Tile, ASTM, 1995
2. KS F 4402, "진동전압 철근 콘크리트관 ", 한국표준협회, 2001
3. KS F 4403, "원심력 철근 콘크리트관 ", 한국표준협회, 1997
4. 이명규, "프리캐스트 맨홀의 재료학적 및 역학적 검토를 통한 제조공정의 개선" , 중소기업컨소시엄 기술개발보고서, 전주대학교, 1998.7
5. 최신콘크리트 공학, 한국콘크리트학회, 1992
6. 콘크리트 표준시방서, 건설교통부, 1999
7. 콘크리트 구조 설계기준, 건설교통부, 1999
8. 하수도용 철근콘크리트관, 일본하수도협회, 1987