

통신용 지하매설관의 강도 특성에 관한 연구

백송훈, 강왕규, 정성택
KT 차세대통신망연구소 네트워크인프라연구팀

Experimental Study on the Strength of Underground Conduit

Song-hoon Baik, Wang-kyu Kang, Sung-tak Chung
KT Telecommunication Network Laboratory, Network Infrastructure Research Team

Abstract

현재 KT의 관로포설 공법은 관 상부 토피 1m를 확보한 상태에서 차량하중이 작용한다는 가정하에서 제정된 것이며, 토피 1m를 확보하지 못하는 구간에는 별도의 보강공법을 적용하고 있다. 그러나 현재 관로공사의 대부분을 차지하는 도로유관공사는 도로조성이 종료되는 시점에는 토피 1m를 확보하지만, 도로조성 공사기간 중에는 별도의 보강공사 없이 토피 60cm 내외에서 공사 차량의 하중이 관로에 그대로 전달되고 있어 관로의 찌그러짐 현상이 발생하고 있다.

본 논문은 이와 같은 조건에서도 고품질의 관로를 확보하기 위하여 현행 FC관로 뿐만 아니라 지하매설관으로 사용되는 각종 재질의 관에 대한 특성을 검토하였으며 매설관 변형실험을 통하여 도로유관공사에 적합한 관로재질을 제시하였다.

Keywords : 관로, 통신관, FC 관, PVC관, 지하매설용 관

1. 서 론

통신에 있어 관로는 가입자에서 국사에 이르기까지 전주, 맨홀, 통신구로 이어지는 케이블을 수용하고 보호하는 역할을 담당하는 지하 시설물이다.

지하 관로는 반 영구적 시설물로 인식되고 있으나 공사 품질 관리와 유지보수 측면에서 우리보다 앞선 기술을 보유한 일본의 경우에도 관로 건설 후 30년이 경과하면 공관로의 75%가 사용불가한 것으로 알려져 있다. 이러한 점을 감안할 때 우리의 관로 품질 역시 일본의 경우와 비슷한 상황이거나 오히려 더 열악할 것으로 판단된다.

현재 KT의 관로 포설공법은 관 상부 토피 1m를 확보한 상태에서 차량하중이 작용한다는 가정하에 제정된 것이며, 토피 1m를 확보하지 못하는 구간에는 별도의 보강공법을 적용하고 있다. 그러나 현재 관로공사의 대부분을 차지하는 도로유관공사는 도로조성이 종료되는 시점에는 토피 1m를 확보하지만, 도로 조성 공사 기간 중에는 별도의 보강공사 없이 토피 60cm 내외에서 공사 차량의 하중이 관로에 그대로 전달되고 있어 관로의 찌그러짐 현상이 발생하고 있다.

본 연구는 위와 같은 조건에서도 고품질의 관로를 확보하기 위하여 현행 FC 관로 뿐만 아니라 지하매설관으로 사용되는 각종 재질의 관에 대한 특성을 검토하였으며 매설관 변형실험을 통하여 도로유관공사에 적합한 관로 재질을 제시하였다.

2. 각종 매설관의 강도 실험

2.1 시험편

현재 사용하고 있는 FC 관을 대체할 수 있는 관 재질을 선정하기 위하여 시중에 유통되고 있는 각종 재질의 관을 수거하여 5% 변형 편평하중, 100% 변형 편평하중, 낙추 충격하중 시험을 하였으며 시험편은 다음과 같다.

- FC관 : 현재 시중에 유통되는 통신용 FC관1, FC관2로 시험항목별로 각 3개
- PVC관 : KS M 3401 VP, HIVP, KS M 3404 VG₂ 관으로 시험항목별로 각 3개
- PVC 3중관 : 현재 생산이 중단되어 10년이상 경과된 재활용관으로 시험항목별로 각 3개
- PE관 : KS M 3408 수도용 폴리에틸렌 관으로 시험항목별로 각 3개

2.2 시험 방법

KS M 3401(수도용 경질 염화비닐관)과 KS M 3413(발포 중심층을 갖는 공압출 염화비닐관) 규격에 따라 (그림 1)과 같이 5% 변형 편평하중과 100% 변형 편평하중 시험, 낙추 충격시험을 하였으며, 각 시험방법에 대한 간단한 설명은 다음과 같다.



(그림 1) 편평하중과 낙추충격시험 방법

- 5% 변형 편평하중시험 : 시험편을 2장의 평판 사이에 끼우고, 관축에 대하여 직각 방향으로 시험편의 안지름이 5% 변형할 때까지 압축하여 이 때의 하중값을 구함.
- 100% 변형 편평하중시험 : 시험편을 2장의 평판 사이에 끼우고, 관 축에 대해 직각 방향으로 시험편이 갈라지지 않고 내면이 접촉할 때까지 가압하여 최대 하중을 구함
- 낙추충격시험 : 규격에 명시된 9kg의 낙추를 관표면으로부터 1.5m 높이에서 낙하시켜 관에 충격을 가한 후, 관의 파열 또는 갈라진 금이 있는지 여부

를 관찰
(여기서 낙추충격시험은 KS M 3401시험법에 따라 실시)

2.3 시험 결과

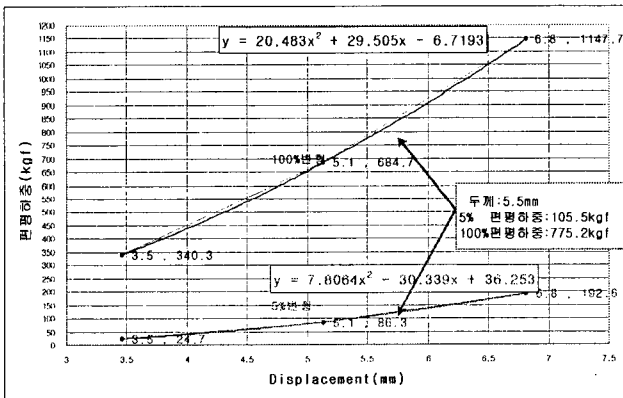
2.3.1 편평하중 시험

각 재질별 시험편에 대한 5% 변형과 100% 변형 편평하중 시험결과는 <표 1>과 같다. 시험결과는 3개의 시험편의 결과를 평균한 값이며 FC관2의 경우 KS 규격에 미달된 것으로 나타났다. 또한 VG2관과 PE 관은 하중 값이 규격보다 현저히 미달되어 지하 매설관으로 부적합한 것으로 나타났다.

<표 1> 관 재질별 편평하중 시험 결과

구분	두께 (mm)	참고 무게 (g/110mm)	편평하중	
			5%	100%
KS FC관 규격	5.5+1.0		80	550
FC관 1	5.67	253.1	89.2	675.6
FC관 2	5.78	192.3	68.7	354.7
PVC 3종관	5.13	272.2	86.3	684.7
VP관	6.82	387.5	192.6	1147.7
HIVP관	7.31	397.2	223.0	1341.1
VG ₂ 관	3.46	198.4	24.7	340.3
PE관	5.67		30.2	388.6

PVC 계열의 PVC 3종관, VP관, VG₂관의 결과를 추출하여 (그림 2)와 같이 상관곡선을 그려보면 PVC 계열의 관은 두께와 편평하중의 상관관계가 아주 밀접함을 알 수 있다.



(그림 2) PVC 관의 두께와 편평하중과의 상관 곡선

2.3.2 낙추 충격 시험

KS M 3401 시험법에 따라 시험편에 대한 낙추 충격시험을 하였으며 FC 관의 경우 KS M 3413에 따라 낙추 충격시험을 하여야 하나 PVC 계열의 관 자체와 비교하기 위하여 KS M 3401에 의거하여 동일하게 시험하였다.

<표 2>에서 알 수 있듯이 FC 관은 시험편 모두 파괴되었으며 PVC 계열의 관은 파괴가 되지 않았다. 또한 PE 관은 재질의 특성상 파괴는 되지 않았으나 충격에 의하여 찌그러짐 현상이 발생하였다.

<표 2> 관 재질별 낙추 충격시험 결과

구분	두께 (mm)	시험편			판정
		1	2	3	
FC관1	5.57	분리파괴	분리파괴	분리파괴	불량
FC관2	5.80	분리파괴	분리파괴	분리파괴	불량
PVC 3종관	5.29	변화없음	변화없음	변화없음	양호
VP관	6.84	변화없음	변화없음	변화없음	양호
HIVP관	7.32	변화없음	변화없음	변화없음	양호
VG ₂ 관	3.46	변화없음	변화없음	변화없음	양호
PE관	5.72	찌그러짐	찌그러짐	찌그러짐	불량

3. 토조에서의 매설관 변형량 측정

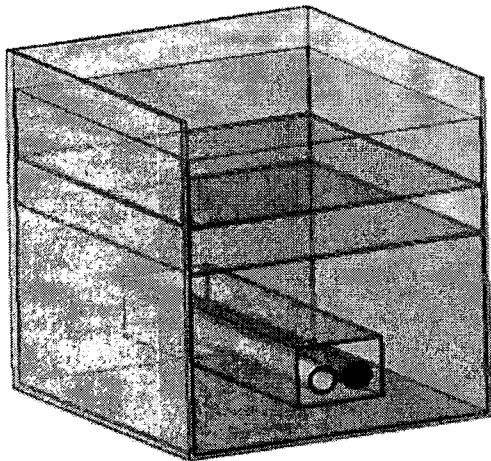
3.1 실험의 목적 및 필요성

현재 KT의 지하 관로 공사의 60% 이상은 신규 택지 또는 산업단지 조성지역에 도로를 건설하면서 관로 공사를 동시에 실시하는 도로 유관 공사이다. 이 때 관로는 도로의 보조기층, 기층, 포장층 등의 공사가 시작되기 이전에 완료되기 때문에 적정 토피 1m를 확보하지 못한 상태에서 도로 건설에 투입되는 중(重) 차량의 하중을 받게 되며 이로 인해 관로의 찌그러짐 현상이 발생한다.

따라서 이러한 열악한 조건하에서도 관로가 제 기능을 발휘할 수 있도록 관로의 적정 재질 및 포설공법을 도출하여야 하며 이를 위하여 토피 조건, 뒷채움 흙의 조건, 관 재질 조건에 따른 매설관의 변형량을 측정하여 분석하는 실험을 하였다. 본 실험에서는 도로의 현장 조건과 유사한 조건에서 토조에 구현하여 하중을 가하면서 각 조건별로 매설관의 변형을 측정하여 신설되는 관로 공사구간에 적용할 최적의 관 재질과 포설조건을 제시하였다.

3.2 토조의 제작

실제의 관로 매설 조건과 유사한 환경을 구축하기 위하여 1.40m(가로)*1.28m(세로)*1.8m(높이)의 철제 토조를 (그림 3)과 같이 제작한 후 뒷채움 흙과, 모래의 다짐도 및 모래층 두께를 달리해 가면서 관의 내경 변형량을 측정하였다. 측정을 용이하게 하기 위하여, 토조의 벽면에 탈착식 투명창을 장착하였으며, 매설관의 변형량을 내공변위 측정기기를 이용하여 측정하였다.



(그림 3) 관로 변형량 측정용 토조의 형상

3.3 실험 방법

3.3.1 실험용 매설관

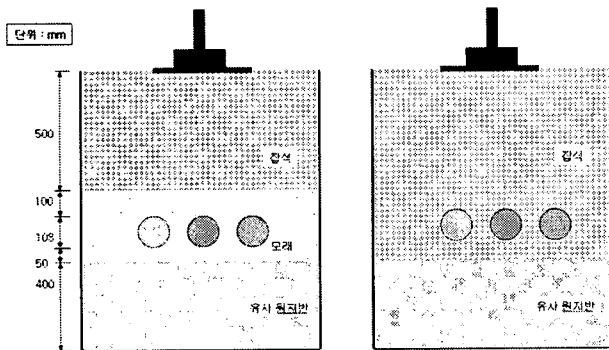
본 실험에 사용한 매설관의 종류와 특성은 <표 3>과 같다.

<표 3> 실험용 매설관의 종류와 특성

구분	두께(mm)	편평하중(kgf)	
		5%	100%
FC 1 (기준미달FC)	4.85	43.7	299.5
FC 2 (기준초과FC)	6.35	108.7	578.3
FC 3 (기준규격 FC)	5.65	87.7	560.5
PVC 3종관 *	6.25	151.4	987.1
VP	7.57	271.9	1371.0
HIVP	7.31	223.0	1341.1

*두께 5.5mm PVC 3종관의 5% 편평하중은 105 kgf

3.3.2 실험 방법



(그림 4) 매설관 변형량 측정 실험방법

(그림 4)는 매설관 변형량 측정 실험방법의 한 예를 보여주고 있으며 실험에서 하중 조건은 DB 24 하중을 기준으로 충격계수(1.3)을 고려한 하중을 적용

하였으며 토피 조건은 50cm, 60cm, 100cm로 하였다. 또한 다짐은 모래 다짐을 한 경우와 모래 포설 후 다짐이 없는 상태로 나누어 측정하였으며 모래 없이 굴착토로 되메우기를 하는 상태를 구현하기 위하여 잡석을 관 상부 표면에 접촉시켜 관의 변형량을 측정하였다.

3.4 실험 결과 및 분석

3.4.1 모래 포설이 없는 경우

모래 포설이 없는 경우에는 <표 4>에서와 같이 기준초과 FC 관이나 PVC 3종관 모두 변형율이 5%를 상회하여 안전하지 않은 것으로 나타났다. 관 변형율은 매설 전(前) 관 내경과 하중을 가하여 변형이 일어난 후에 하중을 제거하였을 때의 내경을 측정하여 계산하였다.

<표 4> 모래포설이 없는 경우의 매설관 변형율

Case	토피 (cm)	모래 포설	잡석 두께 (cm)	잡석 접촉	관 변형율(%)		
					FC1	FC2	PVC
5	50	없음	50	O	59.19	35.32	11.89
11	60	없음	60	O	33.41	26.82	8.83
14	100	없음	100	O	12.36	9.63	5.52
16	50	없음	50	X	53.64	18.29	1.52
17	60	없음	60	X	49.04	15.23	6.85
18	60	없음	60	O	PVC	VP	HIVP
					7.63	4.58	4.57
19	50	없음	50	O	PVC	VP	HIVP
					9.64	13.44	7.14

CASE 16에서 PVC 3종관의 변형율이 1.52 % 로 나타난 것은 실험오차에 의한 것으로 판단되며, 그 이유는 동일한 토피(50cm) 에서 모래 포설을 한 경우(CASE 1, CASE 3)보다 좋은 결과가 나올 수 없기 때문이다.

모래 포설을 하지 않으면 관 표면에 잡석이 접촉될 확률이 매우 높으며, CASE 14에서 허용 변형율 5%에 근접하는 결과가 나왔으나 실험에 사용한 PVC 3종관의 두께가 5.5mm 를 상회한 6.25mm 이었음을 감안할 때 안전하지 않을 것으로 판단된다.

또한 모래 포설을 하지 않은 경우에는 토피 60cm 에서 KS3401 규격(t=7.1mm)의 상수도용 HIVP 또는 VP을 사용하여야 하는데 PVC 3종관에 모래 포설을 하는 것보다 비용이 1.5배 ~ 5.5배 이상 소요되는 것으로 분석되었다.

3.4.1 모래 포설이 있는 경우

모래 포설을 하는 경우에는 <표 5>와 같이 토피 60cm 이상이 되면 기준초과의 FC 2관과 PVC 3종관은 모래의 다짐도에 관계없이 변형율이 5 % 이내가 되어 안전한 것으로 나타났으며 토피가 50cm 이면 모래의 다짐을 90% 이상하여야 한다

<표 5> 모래포설이 있는 경우의 매설관 변형율

c a s e	토피 (cm)	모래층		잡석층 두께 (cm)	관 변형율(%)			
		두께 (cm)	다짐도		FC1	FC2	PVC	
1	50	10	없음	40	50.14	12.36	6.76	
3	50	10	90%	40	42.22	2.33	4.47	
9	60	10	없음	50	43.73	FC2	FC3	1.89
					15.23	3.64	16.64	
7	60	10	90%	50	15.23	FC2	FC3	4.15
						2.41	9.83	
7-1	60	10	90%	50 (3층)	4.61	1.28	1.74	
13	100	20	없음	80	8.12	4.55	1.73	
15	100	10	90%	90	6.78	4.73	1.42	

여기서 FC 2 관은 두께 5.5mm 의 PVC 3종관과 거의 동등한 정도의 5% 편평하중 값을 갖고 있는 아주 양호한 품질의 FC 관이었으며 현행 KS M 3413 에서 요구하고 있는 5% 편평하중 80kgf, 100% 편평하중 550 kgf 의 기준을 겨우 충족하는 FC 3(기준규격 FC) 관은 토피 60cm 에서는 모래 포설을 하여도 안전하지 않은 것으로 나타났다.

PVC 3종관의 규격은 두께 5.5±0.5 mm 로 규정되어 있는데 <표 1>에서 두께 5.13mm 두께의 3종관이 본 실험에 사용한 FC 3관과 유사한 5% 변형 편평하중 값을 보이고 있어 PVC 3종관이라 하더라도 최소 두께 5.5 mm 이상이어야 도로유관 공사에 적용가능하다.

CASE 15의 조건에서 FC 3(기준 FC)관을 시험하였다면 5% 변형하중 값이 4.7%~6.7%의 중간 정도에 있으리라 추정할 수 있어 토피 100cm 를 확보하고 모래포설을 하는 통상적인 관로 구간에서는 현행 규격의 FC를 사용하여도 무방할 것으로 판단된다. 특이한 것은 CASE 7-1에서 알 수 있듯이 뒷채움 흙의 다짐을 철저히 하면 불량한 FC 관로조차 안전한 것으로 나타났으며, 이를 통하여 다짐도가 관로의 안전성에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

4. 결 론

지하 관로는 보수가 매우 어려운 시설물이기에 초기에 고도의 관로 품질을 확보할 수 있는 포설공법과 관 자재를 적용하여 공사를 하여야 한다. 현재 KT 가 사용하고 있는 FC 관은 토피 1m 를 확보하거나 별도의 관로 보강 공법을 적용하는 토피 1m 미달구간에서는 관로의 안전성에 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 토피 60 cm 정도에서 차량하중을 많이 받는 도로유관공사에는 적합하지 않음을 매설관 변형 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

도로유관 공사에 적합한 관로의 재질은 5% 변형 편평하중이 105 kgf 이상이며 동시에 100% 변형 편평하중이 578 kgf 이상이어야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 관 재질로서 FC 관으로 위의 하중 조건

을 만족시키거나, 과거에 KT가 사용하던 PVC 3종관의 두께 규격을 5.5±0.5 mm 에서 5.5+1.0 mm로 강화하여 적용하는 것이 가장 최적이며 경제성을 갖춘 대안이라 할 수 있다.

FC 관은 PVC 재질의 표면층과 중간층의 발포층으로 구성되어 있는데 제품의 품질이 제조회사별로 균질하지 못하며, 품질확인을 위해서는 고가의 장비를 이용한 실험을 하여야 하는 단점이 있다. 반면에 PVC는 제품의 구성이 단순하여 두께를 측정하는 것만으로 품질의 불량여부를 판단할 수 있는 장점이 있다.

또한 포설공법에 있어서 되메우기를 할 때 모래포설을 하지 않는 경우에는 실험에 사용한 모든 재질의 매설관이 안전하지 않은 것으로 나타남에 따라 반드시 모래포설을 10cm 이상 하고 물 다짐을 하여야 한다.

이상의 결과를 종합하여 향후 신설되는 관로공사에는 다음의 <표 6>과 같은 포설공법과 관 자재를 적용할 것을 권고한다.

<표 6> 관 재질 및 포설공법 권고(안)

구 분		포 설 공 법
도로유관구간		◎ 상부토피 60cm 확보 ◎ 관 하부 5 cm 모래포설 ◎ 관 상부 10 cm 모래포설 ◎ 모래 물 다짐
통상구간	토피 1m 확보구간	◎ 관 하부 5 cm 모래포설 ◎ 관 상부 10 cm 모래포설 ◎ 모래 물다짐
	토피 1m 미달구간	◎ 상 동 ◎ 기존 보강공법 준수
구 분		관 자 재
도로유관구간		◎ PVC 3종관(t=5.5+1.0 mm) 으로 변경 ● 5 % 변형편평하중 : 105 kgf 이상 ● 100 % 변형편평하중 : 580 kgf 이상 ◎ PVC 3종관 규격 강화 ● t=5.5±0.5 mm를 5.5+1.0 mm로 강화
통상구간	토피 1m 확보구간	◎ FC 관 기준 규격 유지 ● 5 % 변형편평하중 : 80 kgf 이상 ● 100% 변형편평하중 : 550 kgf 이상 ◎ 철저한 FC 관 품질 관리 필요
	토피 1m 미달구간	◎ 상 동

[참 고 문 헌]

[1] 김상규, 토질역학(이론과 응용), 청문각, 1993, pp.197-222
 [2] 한국통신 선로기술연구소 연구보고서, "관로공사 종합 기술개발", 1992
 [3] 한국통신 선로기술연구소 연구보고서, "관로공사 종합 기술개발", 1993
 [4] 한국통신 선로기술연구소 연구보고서, "관로공사 종합 기술개발", 1994
 [5] 한국통신 연구개발원 연구보고서, "관로포설공법의 개선연구", 1995
 [6] Moser, A.P., Buried Pipe Design, McGraw Hill, 1990