통신용 지하 관로의 품질 측정을 위한 디지털 관로 조사장비 개발

김동훈, 한진우
KT 차세대통신망연구소

Development of digital investigation equipments for underground telecommunication conduit

Dong Hun Kim, Jin Woo Han
Telecommunication Network Laboratory, KT

Abstract

통신용 지하 관로는 대부분 내경 100mm인 PVC 재질로 되어 있으며, 지하에 매설한 후 또는 관로를 사용하기 전에 관로 상태의 정상 유무를 확인할 목적으로 맨드릴(직경 90mm)을 이용한 선통 검사로 정상 관로와 불량 관로를 판단 하였다. 그러나 이러한 방법으로는 조사 대상 관로의 불량 원인을 밝힐 수 없을 뿐 아니라, 복수 개소의 불량 지점을 확인하는 것이 불가능하여 관로 보수나 사용을 위한 기본적인 관로 정보를 제공할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 디지털 관로 조사장비를 개발하였으며, 관로 내부를 따라 관로 카메라를 이동시키면서 관로 내부의 변형 상태를 실시간으로 확인하거나, 관로 벽에 조사된 레이저 빔 영상을 검출하여 관로 단면의 최소 직경을 측정할 수도 있다. 또한, 디지털 맨드릴은 1mm 간격으로 관로의 내경을 측정할 수 있는 게이지가 설치되어 있어, 실시간으로 관로 단면의 최소 직경을 측정할 수 있어 조사 관로의 전반적인 변형 정도를 모니터링 할 수 있다.

이러한 디지털 관로 조사장비를 이용하여 신설 관로의 시공품질을 측정하거나, 기존 관로의 상태를 객관적이고 정확하게 파악하여 관로 상태에 따른 케이블 포설 계획을 수립할 수 있으며, 불량 관로 보수를 위한 정확한 자료를 제공하여 유지관리의 효율성을 높일 수 있다.

1. 서론

통신용 관로는 크게 주관로와 입상관로로 구분할 수 있으며, 주관로는 대부분 내경 100mm의 PVC관 또는 FC관으로 맨홀과 맨홀을 연결하여 지하에 설치되어 있다. 입상관로는 내경 50mm의 PVC관으로 맨홀과 통신주를 연결하여 지하에 설치되어 있으면서 일부 구간이 지상에 노출되어 있다. 통신용 관로의 설치 목적이 관로 내부에 통신 케이블을 수용하는 것인 만큼, 타 지하 관로와 달리 관로의 소요 내경 확보가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 이러한 관로들은 시공 당시의 부실 시공으로 인해 관로의 찌그러짐, 꺾임, 돌출, 파손, 막힘 등과 같은 불량이 발생하거나, 시공 후 타 지하시설물 공사로 인한 굴착 등으로 인하여 불량 관로가 발생하기도 한다. 이러한 불량 관로는 계획된 규격의 통신 케이블 수용이 불가능하거나, 케이블의 허용인장력을 초과하는 포설장력이 발생하여 통신 품질을 저하시키는 원인이 되기도 한다. 또

한, 파손된 관로나 연결부가 이탈된 관로를 통하여 오폐수, 토사 등이 유입되어 인접한 맨홀들을 연속적으로 오염시켜 맨홀내 작업환경을 열악하게 만드는 원인이 되기도 한다.

해마다 많은 양의 통신용 지하 관로가 설치되고 있으며, 이들 관로의 시공 품질을 확인하는 방법으로는, 맨드릴이라는 단순한 원통형 기구를 시공된 관로 내부로 선통시켜, 맨드릴의 통과 여부에 따라 관로의 상태를 판단하는 것이 현재까지의 관로 품질수준 측정 방법이었다. 이러한 방법으로는 관로 내부의 불량 지점에 대한 정확한 상태를 파악할 수 없을 뿐 아니라, 맨드릴이 통과하지 못하는 첫 지점 이후의 관로 구간에 대한 품질 상태는 측정할 수 없었다. 또한, 맨드릴이 통과하지 못하는 지점의 정확한 관로 내경을 알 수 없으므로, 관로의 보수 여부를 결정할 수 없었다.

본 논문에서는 통신용 관로 중 주관로에 대한 품질조사의 문제점을 해소하기 위하여 개발된 디지털 관로 조사장비에 대해 간단히 소개하고, 이를 이용한 신설 관로의 시공 품질 조사 결과를 분석하여, 관로의 주요 불량 원인과 관 종류별 품질 수준을 비교해 보았다. 또한, 조사 장비의 현장 활용 결과를 바탕으로 향후 신설 및 기존 관로의 품질 조사 장비로 적용할 수 있는지의 가능성 여부를 검토하였다.

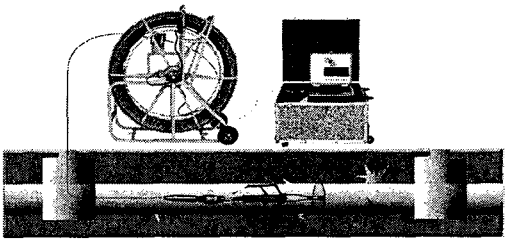
2. 디지털 관로 조사장비 소개

조사장비에는 관로 카메라와 디지털 맨드릴이 있다. 관로 카메라는 관로 내부의 단면 형상을 시각적으로 명확히 확인할 수 있도록 관로 내부 벽면에 레이저를 주사하고, 관로 내부로 카메라를 이동시키면서 CCTV로 관로 내부를 실시간 확인할 수 있는 장비이다. 또한, 관로 내부 영상에서 레이저 영상을 별도로 추출하여 관로 내부의 최소 직경을 산출할 수 있는 실시간 관로 영상처리 시스템이 탑재되어 있어 간접적으로 관로의 최소 내경 측정이 가능하다. 이 장비는 카메라를 통하여 관로 내부의 상태를 확인하거나 영상을 저장하는 것이 주된 용도이며, 토사 등의 이물질이 카메라 렌즈 전면부를 덮었을 경우에는 조사가 곤란한 단점이 있다.

본 논문에서 소개하는 디지털 맨드릴은 8개의 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)가 측정 장비 본체에 내장되어 있으며, 각각의 LVDT는 피스톤-실린더 구조로 변위 감지장치와 연결되어 있다. 디지털 맨드릴을 관로 내부로 이동시키면서 변위 감지장치의 움직임을 통해 관로 단면의 변형량을 수치로 변환하는 과정을 거쳐 관로 단면의 최소 직경을 측정할 수 있다. 이 장비는 물리적인 방법으로 관로 단면의 변형량을 측정하므로 관로 내부 상태에 관계없이 정밀한 측정이 가능하다.

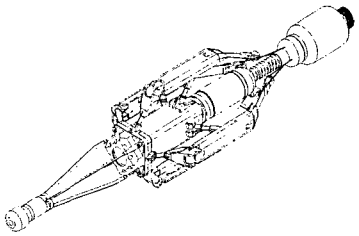
2.1 관로 카메라

관로 카메라는 카메라 본체부와 이를 조작하기 위한 컨트롤러, 그리고 본체부와 컨트롤러를 연결하는 선통대, 자료 입출력을 위한 노트북으로 구성되어 있으며 전체 구성도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 관로 카메라 구성도

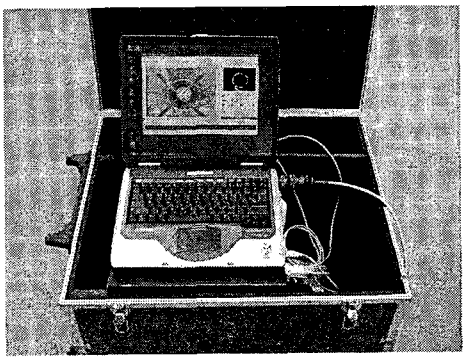
관로 카메라의 본체부는 <그림 2>와 같으며, 가장 앞쪽에 레이저 발생장치가 설치되어 있고, 카메라의 진행 방향과 직각으로 관로 내부 벽면에 레이저를 주사할 수 있도록 콘미러가 내장되어 있어, 관로 내부의 변형된 형상을 사용자가 명확히 식별하도록 하였다.



<그림 2> 관로 카메라 본체부

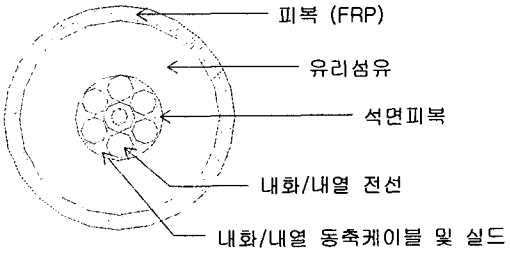
카메라 본체의 전면에는 CCD 카메라와 함께 LED 조명장치가 장착되어 있어, 어두운 관로 내부에서도 관로의 손상 상태를 용이하게 파악할 수 있도록 하였다. 본체부를 지지하는 지지대는 관로 내부의 요철구간이나 파손구간, 토사 등의 장애물을 쉽게 통과하면서, 카메라 본체가 전진 또는 후진할 경우 항상 관로의 중심에 위치하도록 하는 역할을 한다. 특히 파손구간이나 관로 연결부 이탈구간에서 지지대의 움직임을 원활하게 하도록 다양한 회절장치와 스프링 구조로 이루어져 있다. 본체 후방에는 선통대와 연결하기 위한 연결장치가 있으며, 관로의 최소 곡률반경이 290mm인 급곡선 구간에서도 쉽게 통과될 수 있는 구조를 가지고 있다. 카메라 본체는 후방에 연결된 선통대를 작업자가 밀거나 당기는 힘으로 전진 또는 후진하며, 이 힘에 의해 관로 내부에서 본체가 회전하는 경우가 많아, 영상을 통해 관로의 상하를 구분하기가 어려웠다. 이를 해결하기 위해 본체 내부에 가속도칩을 내장하여 관로 상태를 모니터링 하는 영상에 상부 방향 표시가 실시간으로 나타나도록 하였다.

컨트롤러는 <그림 3>과 같이 배터리와 영상 출력단자, 타코미터 신호 처리 단자, 선통대 연결 커넥터가 설치되어 있다. 영상 출력단자는 USB Digital Port와 RCA Analog Port로 구성되어 있고, 선통대에 설치된 타코미터 신호를 처리하여 노트북으로 전달하기 위해 RS232C Port가 있으며, 카메라 본체의 전원 공급과 영상 신호를 수신하기 위한 커넥터가 있다.



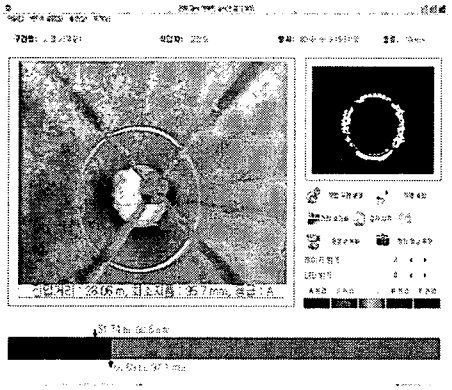
<그림 3> 관로 카메라 컨트롤러

선통대의 단면은 <그림 4>와 같으며, 전체 길이가 260m로 두 맨홀 사이의 통신 관로에 대한 조사작업을 한번에 가능하도록 하였다. 영상 및 통신과 전력 공급을 위한 6선의 내화/내열 전선에 석면피복을 한 후, 유리섬유를 이용하여 전선들을 피복하였고 외피는 FRP로 코팅을 하였다.



<그림 4> 선통대 단면도

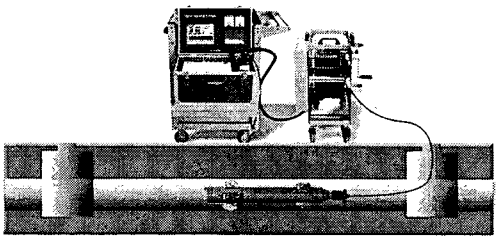
이러한 장비들로 구성된 관로 카메라를 사용하여 관로 내부를 조사할 경우, 조사 진행 사항이 응용 프로그램을 통하여 <그림 5>와 같이 사용자의 노트북 화면에 구현된다. 실시간으로 관로의 단면 상태를 영상을 통하여 확인할 수 있으며, 선통대를 밀거나 당길 때 발생하는 타코미터의 작동 신호를 감지하여, 카메라 본체가 이동하는 동안 일정 시간(50ms, 100ms, 200ms) 간격으로 정지 영상이 자동으로 저장되도록 하였다. 또한 사용자의 필요에 따라 구간 동영상을 저장하는 기능이 있어 조사 구간 전반에 대한 관로 상태를 쉽게 확인할 수 있다.



<그림 5> 사용자 화면

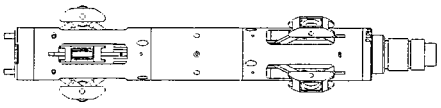
2.2 디지털 맨드릴

디지털 맨드릴은 맨드릴 본체부와 이를 조작하기 위한 컨트롤러, 그리고 본체부와 컨트롤러를 연결하는 케이블 릴로 구성되어 있으며, 전체 구성도는 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 디지털 맨드릴 구성도

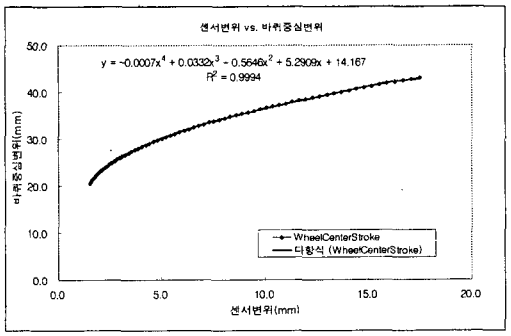
디지털 맨드릴 본체부는 <그림 7>과 같으며, 전면부에는 관로 내부 상태를 확인하기 위한 LED 조명장치와 CCD 카메라가 장착되어 있고, 전방에서 본체부를 끌어 당기기 위한 선통대 연결 고리가 있다.



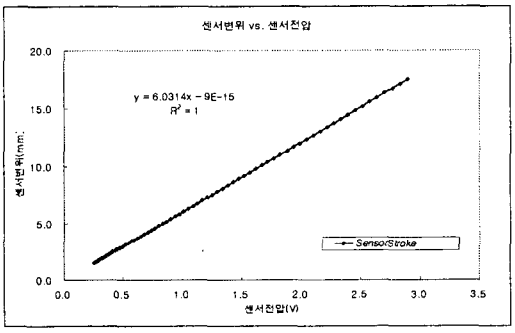
<그림 7> 디지털 맨드릴 본체부

본체의 앞뒤에는 각각 4개의 변위 감지장치가 있으며, 각 감지장치는 본체에 내장된 LVDT 게이지와 피스톤-실린더 구조로 연결되어 있다. 변위 감지장치는 관로 내부의 요철이나 장애물을 쉽게 통과할 수 있도록 바퀴로 되어 있으며, 관로 내부의 돌출부위에 대한 감지 범위를 최대로 하기 위해 앞뒤 감지장치는 원주 방향에서 45도의 각도로 설치되어 있다. 변위 감지장치는 관로 내부의 토사 등에 의한 측정 오차를 최소화 하기 위해 관벽에 밀착된 상태로 관로의 변형에 따라 상하 이동을 하며, 이 움직임은 피스톤을 통하여 LVDT에 전달되고, LVDT의 변위를 전압으로 변환하여 관로 단면의 최소 내경을 측정할 수 있다. 변위 감지장치

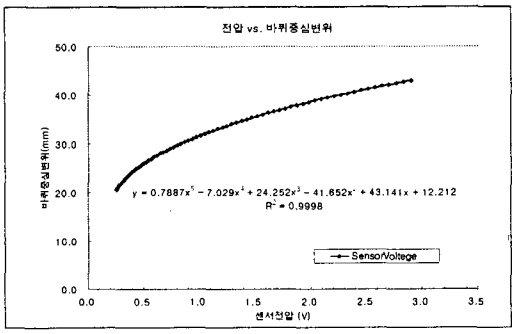
에 장착된 바퀴중심의 변위량과 전압과의 관계를 시뮬레이션을 통하여 수식으로 나타낸 것이 <그림 8>이다. 맨드릴 본체 후방에는 케이블 릴과 연결하기 위한 커넥터가 위치하고 있다.



<센서변위-바퀴중심변위>



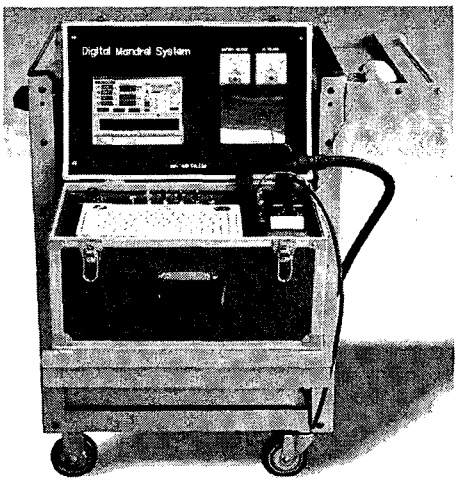
<센서전압-센서변위>



<센서전압-바퀴중심변위>

<그림 8> 감지장치의 변위 산출

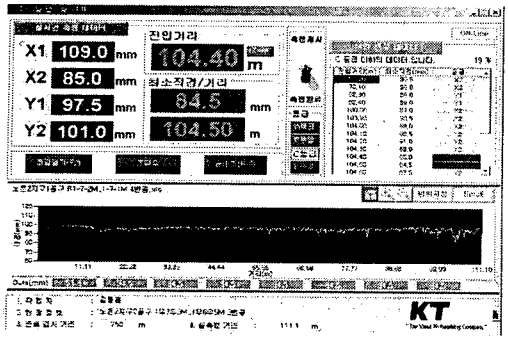
컨트롤러에는 <그림 9>와 같이 측정결과를 실시간 표시하는 8" LCD 모니터와, 본체부 전면에 장착된 CCD 카메라를 통하여 관로 내부 영상을 보여 주는 6" LCD 모니터가 있으며, 측정 종료 후 결과를 출력할 수 있는 장치로 열전사 프린터와 USB Port가 장착되어 있다.



<그림 9> 컨트롤러 구성도

케이블 릴은 맨드릴 본체와 컨트롤러 사이에 연결되어 있으며 타코미터가 설치되어 있다. 전력 및 통신용으로 사용되는 케이블은 파단 인장강도가 300kg/㎠이상인 고장력이며, 맨드릴 본체가 관로 내부에서 전진이 불가능한 상황이 될 때, 후방으로 장비를 회수하기 위해 끌어 당기는 용도로도 사용한다.

디지털 맨드릴을 사용하여 관로 내부를 조사할 경우, 조사 진행 사항이 응용 프로그램을 통하여 <그림 10>과 같이 컨트롤러의 모니터에 구현되며, 맨드릴 전방에 장착된 CCD 카메라를 통하여 실시간으로 관로 상태를 영상으로 확인할 수 있다. 또한, 그래프를 통하여 관로의 내경 변화 상태를 쉽게 파악할 수 있으며, 측정 종료 후 컨트롤러에 장착된 열전사 프린터를 이용하여 조사 결과를 즉시 출력할 수도 있다



<그림 10> 사용자 화면

3. 관로 조사장비를 이용한 현장 조사

이 장에서는 디지털 관로 조사장비를 이용하여 실제 관로가 설치된 현장에서 측정한 결과를 분석하여, 종래의 방식으로 나타낼 수 없었던 관로의 품질을 객관적이고 정량적인 방법으로 나타낼 수 있음을 살펴보고자 한다. 조사장비 중 관로 카메라는 주로 관로 내부의 불량 지점에 대한 상태를 영상자료를 통해 확인하는 용도로 사용되며, 디지털 맨드릴은 조사 대상 관로의 길이방향으로 10㎝마다 최소 내경을 측정하여 관로의 전반적인 변형 상태를 확인하는데 이용한다.

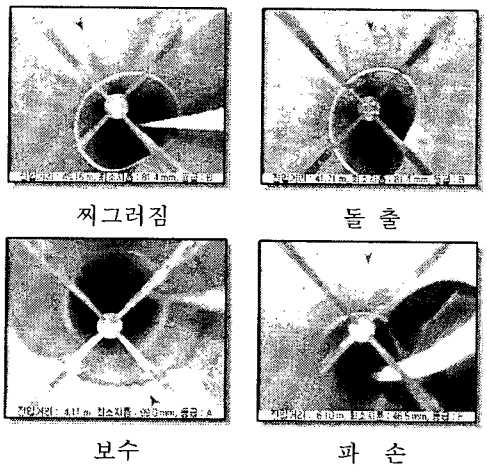
이러한 조사를 통하여 관로의 불량 지점 보수를 위한 적정 방안을 수립하거나, 관로 내에 포설할 통신 케이블의 포설 장력을 사전 예측할 수 있어, 고품질의 통신망을 구축에 크게 기여할 수 있을 것이다.

3.1 관로 카메라를 이용한 불량 유형 분석

관로 카메라로 조사한 영상자료를 분석하여 통신용 지하 관로의 불량 유형을 분류한 결과, "찌그러지거나 꺾임", "돌출", "파손" 등의 형태가 가장 많이 나타났으며, 각각에 대한 대표적인 영상은 <그림 11>과 같다. 100mm 신설 관로를 대상으로 2004년에 관로 카메라를 이용하여 조사한 결과를 <표 1>에 정리하였다.

표 1

불량 유형	불량 단면수	비율(%)	비고
찌그러지거나 꺾임	21	48.8	
돌출	11	25.6	
파손 부분의 보수 불량	2	4.7	
파손	1	2.3	
원인 불명	8	18.6	
계	43	100	



<그림 11> 관로의 불량 유형

이 조사는 174개 신설 관로를 대상으로 하였으며, 먼저 디지털 맨드릴을 이용하여 최소 내경을 측정한 후, 최소 내경이 90mm 미만인

105개 단면을 추출하였다. 그 중 동일 구간인 경우 대표 단면 한 개만 선정하고 남은 43개 단면에 대해 분석하였다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 신설 관로에 있어서 전체 불량 유형의 74.4%가 찌그러지거나 꺾임 또는 돌출에 의한 것이다. 이는 급곡선 시공이나 타 시설물 접촉, 되메움 재료 불량, 적정 상부 토피 유지 미흡 등이 원인인 것으로 밝혀져, 공법 개선이나 곡관 사용과 같은 시공품질 향상 대책이 필요한 것으로 나타났다.

이와 같이 관로 카메라는 관로의 소요 내경이 확보되지 않은 지점이나, 관로가 완전히 막힌 지점의 단면 영상을 확인하여 관로 불량 원인을 파악함으로써, 관로 보수나 케이블 포설 계획 수립을 위한 자료로 활용할 수 있다.

3.2 디지털 맨드릴을 이용한 관로 조사

디지털 맨드릴은 관로 길이 방향으로 1mm 간격으로 내경 변위를 센싱하여, 10㎝마다 최소 내경을 사용자에게 제공한다. 현장 조사에서는 하나의 관로에 디지털 맨드릴을 선통시켜 내경 데이터를 입수한 후, 90mm 미만인 값이 한 개 이상 존재하는 관로를 불량 관로로 규정하였다. 174개 신설 관로를 대상으로 2004년에 조사한 결과는 <표 2>와 같으며, 상대적으로 강도가 약한 FC관이 PVC관에 비해 불량한 관이 약 10% 포인트 정도 많음을 알 수 있다.

관 재질에 따른 관로의 품질 차이는 디지털 맨드릴을 이용해 측정한 모든 데이터를 대상으로 분석하면 더욱 확연히 나타나는 것을 알 수 있다. <표 3>에서와 같이 FC관의 총 조사연장은 10,393m이며, 이 조사 관로에서 디지털 맨드릴에 의해 103,935개의 측정 데이터가 수집되었다. 마찬가지로 PVC관의 총 조사연장은 13,778m이며, 디지털 맨드릴을 사용하여 137,784개의 데이터를 수집하였다. 수집된 측정 데이터를 분석해 보면, FC관에서 90mm 미만인 데이터가 70개 검출되었으며, PVC관에서는 35개가 검출되었다. 따라서, FC관에서는 평균적으로 관로 길이 149m 마다 1개의 불량 단면이 발생하며, PVC관은 400m 마다 1개의 불량 단면이 발생한다고 볼 수 있어, 상대적으로 약한 재질인 FC관의 불량 단면 발생률이 PVC관 보다 2.7배 높아, 시공품질에 대한 관리 필요성이 있다고 할 수 있다.

표 2

관종	조사 관로 수	내경 90mm 이상 관로수	내경 90mm 미만 관로수	비고
FC관	83	63	20	
PVC관	91	78	13	
계	174	141	33	

표 3

관 종	총 측정 데이터 수	90mm미만 데이터 수	비고
FC관	103,935	70	
PVC관	137,784	35	

4. 관로 조사장비의 현장 적용성 검토

디지털 관로 조사장비의 현장 적용을 위한 경제성 검토를 위하여, 내경 100mm인 신설 관로를 대상으로 관로 길이 100m당 순 조사작업 시간을 측정한 결과 <표 4>와 같았다.

표 4

구 분	100m당 순 조사시간 (분)	1일 작업량 (공/일)	비고
방법1	8.45	17.92	
방법2	15.43	6.31	
방법3	12.06	7.27	
방법4	15.74	6.66	

"방법 1"은 현장에서 가장 널리 쓰이는 방법으로, 공기 압축기를 이용하여 견인선을 포설한 후, 일반 맨드릴을 관로 내부로 선통시켜 관로의 품질을 확인하는 방법이다. "방법 2"는 공기 압축기 대신 선통대를 이용하여 일반 맨드릴을 선통하는 방법이며, "방법 3"과 "방법 4"는 각각 관로 카메라와 디지털 맨드릴을 이용하여 관로 품질을 측정하는 방법이다.

본 조사에서 일반 맨드릴을 사용하는 "방법 1"과 "방법 2"의 경우, 조사 도중 관로 중간에서 맨드릴이 선통되지 않아 회수한 경우는 제외하고, 맨드릴이 완전히 선통되는 관로의 측정자료만 분석하였다.

순 조사작업 시간은 관로 조사를 위한 작업 중, 작업준비, 철개 열고 닫기, 뒷정리 등과 같이 공통적인 작업을 제외한 시간으로, 순수하게 조사작업 자체에 소요되는 시간을 작업 방법 별로 측정한 후, 관로 길이 100m를 기준으로 산출한 것이다. 1일 작업량은 1일 근로시간 동안 조사 작업을 할 수 있는 관로의 공수로써, 평균 관로 거리는 160m를 적용하였다.

<표 4>에서 보는 바와 같이 디지털 관로 조사장비를 이용한 1일 관로 조사량은, 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 "방법 1"에 비하여 37~40% 정도 밖에 되지 않아, 조사비용 면에서 경제성이 적은 것으로 나타났다. 그러나, "방법 1"과 "방법 2"의 경우, 맨드릴이 관로 중간에서 선통되지 못하여 작은 직경의 맨드릴로 교체하여 재조사하는 경우를 감안한다면, 1일 작업량의 차이는 <표 4>와 같이 크지는 않을 것으로 판단되며, 조사 결과로 얻어지는 성과물의 가치를 평가한다면, 통신용 지하 관로에 대한 품질 조사장비로서의 적용 타당성이 충분한 것으로 사료된다.

5. 결론

시공된 관로의 품질을 조사하기 위하여 지금까지 사용되어 온 일반 맨드릴은, 관로의 품질을 객관적이고 정량적으로 나타낼 수 없었을 뿐 아니라, 관로의 전반적인 변형 상태나 불량 단면의 내부 상황을 파악하는 것이 불가능하였다. 이로 인해 케이블 포설시 과도한 포설장력이 발생하여 케이블의 전송 품질이 저하되거나, 관로의 불량 구간에 대한 보수 작업이 효율적으로 시행되지 못하였다.

이러한 관로 품질 조사의 문제점을 해소하기 위하여 디지털 관로 조사장비인 관로 카메라와 디지털 맨드릴을 개발하였으며, 현장 적용을 위하여 실제 시공된 신설 관로를 대상으로 조사를 하였다. 관로 카메라를 이용한 조사를 통하여 관로의 주요 불량 유형을 분석하였고, 디지털 맨드릴을 이용하여 FC관과 PVC관의 길이 방향에 대한 내경 변화를 측정 비교하여 두 관의 품질 차이를 확인하였다.

이와 같이, 디지털 관로 조사장비를 이용할 경우, 관로 불량 단면에 대한 상세한 영상 수집과 최소 내경 측정, 관로 전 구간의 단면 변화 분석, 불량 단면 위치 확인 등을 비롯하여, 측정 자료의 DB 구축을 통한 매설 관로의 체계적

이고 정량적인 유지관리가 가능해진다. 이를 바탕으로 신설 관로의 시공 품질 향상은 물론, FTTH 사업 확산에 의한 기존 관로의 사용 비중이 점차 증대되고 있는 상황에서, 기존 공관로의 품질 수준을 정확하게 측정함으로써 통신망을 보다 효율적으로 구축하는데 크게 기여할 수 있을 것을 사료된다.