케이블 포설장력 특성에 대한 실험적 고찰

The experimental investigation on the characteristics of the cabling tension

김 동 훈*, 한 진 우*
Dong-Hun Kim, Jin-Woo Han

Abstract

If you are installing communications cables in the pipeline based on the kind of cable installation tension within the allowed range of the tension must be maintained. The tension of the installation affected by the cable types, cable jacketed status, cross-sectional shape of the pipeline, the substance present in the pipeline, pipeline linear, the direction of the cable is installed. Depending on the size of the cable installation tension fatal influence on the quality of communication, or, at worst, the cable can be cut. In this paper, test bed for building a pipeline and using optical cable and such cable tension was measured. Freedom of access to the pipeline used in the experiment, and installed in conjunction with the cable tension was measured. It possible for the cable installation to determine whether a duplicate, and have compared the actual measured tension value and the theoretical expression.

Keywords : Cable, Installation tension, duct

I. 서 론

통신용 관로에 케이블을 포설하는 방법은 견인선 이용 포설과 공압 포설이 있으며, 광섬유 심선을 초소형 내관에 포설하는 경우에는 공압 포설 방법이 사용된다. 그 외의 대부분의 광케이블이나 동케이블 포설은 견인선을 이용한 방법을 사용한다. 견인선 이용 포설 방법은 선통대를 이용하여 관로에 견인선을 먼저 포설하고, 포설된 견인선에 케이블을 매달아 끄는 것으로, 케이블을 끄는 작업은 케이블 굵기에 따른 포설장력을 감안하여 인력이나 기계(윈치)를 사용한다.

PVC관에 포설되는 케이블은 종류에 따라 허용인장력이 정해져 있으며, 케이블 포설 시 허용인장력 이내에서 포설 작업이 이루어져야 통신 품질을 보장할 수 있다. 허용인장력을 초과한 포설장력이 케이블에 가해진 경우 통신 품질에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 최악의 경우 케이블 심선이 절단되는 상황이 초래될 수 있다.

PVC관에 케이블을 포설할 경우 포설장력에 영향을 미치는 요소에는 관과 케이블의 마찰력, 케이블의 외피 상태, 관로 단면의 형상, 관로 내 이물질 존재 여부, 관로의 구성 형상, 케이블 포설 방향 등과 같이 많은 변수들이 있다. 반면, 계산에 의한 포설장력 산출 시 고려사항에는 케이블 중량, PVC관과 케이블 외피의 마찰계수, 관의 직선거리, 곡선 관로의 특성(곡률반경, 호의 길이, 교각) 등이 있어, 실제 케이블 포설 전에 포설장력을 산출하여 케이블 허용인장력을 초과할 경우 윤활제 도포, 관로 청소 등의 조치를 취하여 포설장력을 낮추어야 한다.

접수일자 : 2009년 8월 7일
최종완료 : 2009년 8월 7일
*KT 네트워크연구소

본 논문에서는 계산에 의한 이론장력과 동일 조건으로 구성된 Test bed에서 측정한 포설장력을 비교함으로써, 현장에서의 케이블 포설 시 적정 포설장력이 가해지도록 하여 통신 품질을 확보하는데 참고가 되도록 하였다.

특히, 실험을 위해 구축한 관로 Test bed는 기존 관로 구성 방식과 달리 메인 관로의 임의 지점에서 인입관로가 직접 분기되는 자유분기 방식을 적용하였으며, 포설 실험에는 동케이블(0.5-25P)과 세경광케이블(외경 8mm)을 사용하였다. 동케이블(0.5-25P)의 허용인장력은 69kgf이며, 세경광케이블의 허용인장력은 100kgf이다.

Test bed는 100mm PVC관을 이용하여 120m 구간에 걸쳐 관로를 구성하였으며, 동/광케이블 동시 포설과 동케이블 포설 후 광케이블을 추가 포설하는 경우에 대해 케이블 포설 방향을 변경하며 장력을 측정하였다. 또한 장력 계산식을 이용하여 동일 조건의 관로에 대한 포설장력을 산출하여 실험값과 비교 하였다.

II. Test bed 구축 및 케이블 포설

1. Test bed 관로 구축

실제 관로에서의 포설장력을 측정하기 위해 그림 1과 같은 형상으로 관로를 구축하였으며, 주관로인 분배관과 분배관에서 연결된 인입관으로 구성되어 있다.

분배관은 100mm PVC관을 사용하여 총 연장 121.3m로 되어 있으며, 인입관 연결을 위한 분기소켓이 매 분기 지점마다 설치되어 있다. 인입관은 40mm PVC관 4m와 곡률반경 1m인 곡관으로 구성하여 10m 간격으로 총 12개소에 설치하였다. 분배관은 곡선 구간 2개소를 포함하고 있으며, 곡선의 곡률반경은 15m이고, 각 호의 길이는 9.38m로 이루어져 있다.

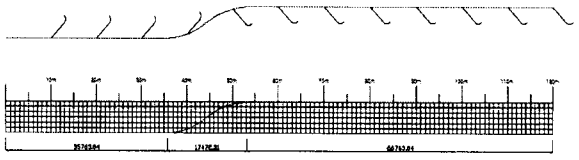

그림 1. Test bed 개요도

분배관의 곡선 구간에 대한 세부적인 형상은 그림 2와 같다.

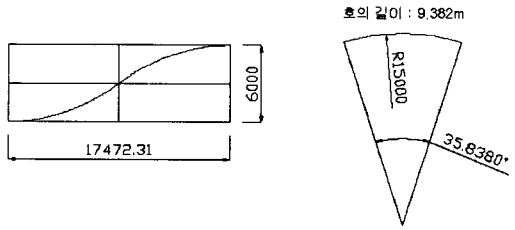

그림 2. 분배관 곡선 구간 형상

인입관을 연결하기 위해 분배관의 매 분기 지점에 설치한 분기소켓은 그림 3과 같으며, 분배관의 중심선에 대해 45° 경사를 가지고 있다.

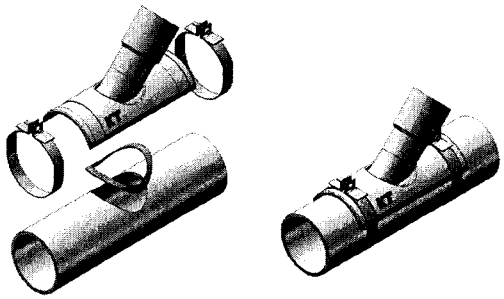

그림 3. 분배관에 설치된 분기소켓

Test bed에서의 포설장력 측정에 대한 오차를 최소화하고, 관로 구축작업을 용이하게 할 수 있도록 종방향에 대한 고저차 없이 평면상에서 관로를 구성하였다. 분배관과 인입관은 지하에 매설된 것처럼 견고하게 고정하여 케이블 포설 시 관로가 움직이지 않게 하였다.

2. 케이블 포설

포설 실험에는 0.5-25P 규격의 동케이블과 외경 8mm인 세경광케이블을 사용하였으며, 초기하중이 포설장력에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 인력작업으로 케이블 삽입을 유도하였다.

케이블 포설은 현장에서 동케이블과 광케이블이 가입자의 요구 조건에 따라 다르게 포설되는 상황을 가정하여 실험하였고, 각 상황에 따른 포설장력 확인과 작업 방법에 따른 포설장력 변화를 확인하기 위하여 아래의 조건에 따라 시행하였다.

가. 동/광케이블 동시 포설
- ○ 포설 방향 : 맨홀 → 가입자
- ○ 포설 방향 : 가입자 → 맨홀

나. 동케이블 단독 포설
- ○ 포설 방향 : 가입자 → 맨홀

다. 동케이블 포설 후 광케이블 추가 포설
- ○ 포설 방향 : 가입자 → 맨홀

케이블 포설은 선통대를 이용하여 관로 내부에 견인선을 포설한 후에, 견인선에 케이블을 매달아 인력으로 끄는 방법을 사용하였다. 이때 인력에 의한 견인력이 일정하게 유지되면서, 연속적인 장력 데이터를 수집할 수 있도록 그림 4와 같이 도르래를 사용하여 포설장력을 측정하였다.

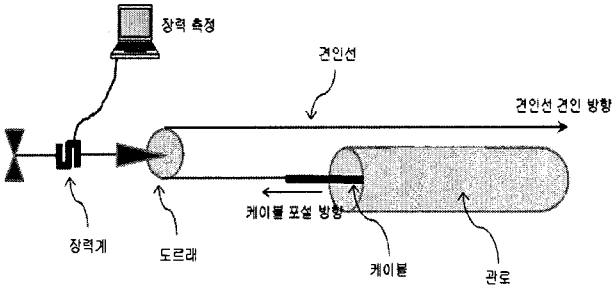

그림 4. 포설장력 측정 개요도

또한, 케이블과 관로의 마찰 저항을 감소시키기 위한 윤활제 도포 등의 조치 없이 동일한 케이블 포설 조건을 유지하였다. 각 조건 별 최대 포설장력이 발생할 수 있는 상황을 만들기 위해 가까운 분기 지점부터 순차적으로 케이블을 포설하였으며, 가장 먼 분기 지점인 120m에서는 분배관에 케이블이 가장 많이 수용된 상태에서 케이블이 포설되도록 하였다.

III. 이론식에 의한 포설장력 산출

케이블 포설장력 계산을 위한 기본 조건은 아래와 같으며, 계산에 이용된 관로 모델은 Test bed와 동일한 형상으로 그림 5와 같이 구성하였다. 관로 모델의 곡선 부분에 대한 세부적인 치수는 그림 6과 같다.

가. 케이블의 단위 길이당 중량 (W)
- ○ 동케이블 : 0.194 kg/m
- ○ 세경광케이블 : 0.043 kg/m

나. 기본 물성치
- ○ 관과 케이블의 마찰계수 (μ) : 0.5
- ○ 분배관 곡률반경 (R) : 15m
- ○ 초기하중 (T_0) : 10kgf

다. 분배관에 대한 물성치
- ○ 분배관(1) 호의 길이 (L_1) : 4.306m
- ○ 분배관(1) 교각 (Θ_1) : 16.450°
- ○ 분배관(2) 호의 길이 (L_2) : 5.082m
- ○ 분배관(2) 교각 (Θ_2) : 19.415°
- ○ 분배관(3) 호의 길이 (L_3) : 6.120m
- ○ 분배관(3) 교각 (Θ_3) : 23.379°
- ○ 분배관(4) 호의 길이 (L_4) : 3.268m
- ○ 분배관(4) 교각 (Θ_4) : 12.486°

라. 분기소켓에 대한 물성치
- ○ 분기소켓 곡률반경 (r_1) : 0.3m

○ 분기소켓 호의 길이 (ℓ_1) : 0.06458m
○ 분기소켓 교각 (α_1) : 12.33°

마. 입상곡관에 대한 물성치
○ 입상곡관 곡률반경 (r_2) : 0.6m
○ 입상곡관 호의 길이 (ℓ_2) : 0.942m
○ 입상곡관 교각 (α_2) : 90°

바. 장력계산 식
○ 직선구간
$T = W \cdot \mu \cdot \ell + T_0$
○ 곡선구간
$T = W \cdot r \cdot \sinh\{\mu \cdot \alpha + \sinh^{-1}(T/W \cdot r)\}$

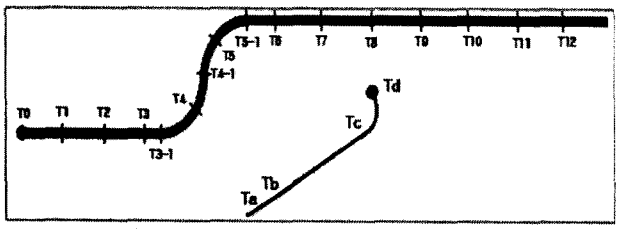

그림 5. 포설장력 계산식에 이용한 관로 모델

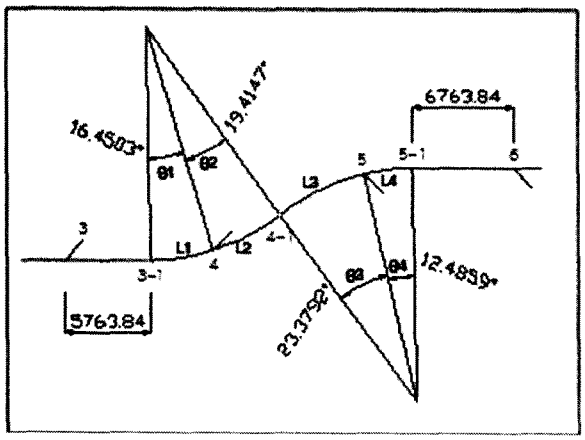

그림 6. 관로 모델의 곡선 부분 상세

위 조건을 이용하여 포설 조건에 따른 장력 계산 결과는 표 1 및 그림 7과 같으며, 케이블이 분배관의 곡선 부분을 통과할 경우에 장력이 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한, 포설 거리에 따른 장력은 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있고, 동일한 포설 조건에서 초기하중 값의 크기는 포설장력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이를 통해 포설장력을 최소화하기 위해서는 관로 구성 시

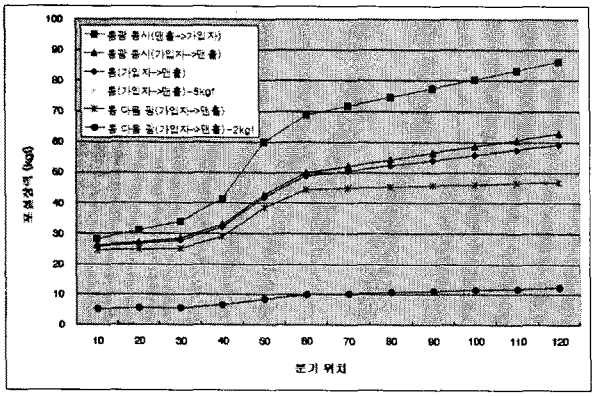

그림 7. 포설 조건 별 장력 그래프

표 1. 계산식에 의한 포설장력

분기점 (m)	동/경 동시 포설		동케이블 포설		동 포설 후 경 추가 포설		비 고
	맨홀->가입자	가입자->맨홀	가입자->맨홀		가입자->맨홀		
	초기하중 10kgf	초기하중 10kgf	초기하중 10kgf	초기하중 5kgf	초기하중 10kgf	초기하중 2kgf	
10	28.4	26.1	25.8	13.8	24.7	5.2	
20	31.3	27.3	26.8	14.6	25.0	5.4	
30	34.2	28.5	27.8	15.6	25.2	5.6	
40	41.4	33.1	32.2	18.1	29.1	6.5	
50	60.0	42.7	41.8	23.1	38.5	8.5	
60	68.8	50.1	48.6	27.8	44.6	9.9	
70	71.7	52.2	50.6	29.0	45.0	10.3	
80	74.5	54.3	52.8	30.7	45.8	10.7	
90	77.4	56.4	54.0	32.4	45.7	11.0	
100	80.3	58.5	55.9	34.1	46.1	11.4	
110	83.2	60.6	57.5	35.9	46.5	11.8	
120	86.1	62.7	59.2	37.6	46.9	12.2	

곡선부분을 가급적 줄이고, 케이블 초기하중을 최소화 할 수 있는 방안이 필요하며, 케이블 포설 방향은 가입자 쪽에서 맨홀 쪽으로 포설하는 것이 유리한 것으로 확인되었다.

IV. Test bed를 이용한 포설장력 측정

계산식을 통해 나타난 바와 같이 케이블을 가입자 쪽에서 맨홀 쪽으로 포설하는 것이 포설장력을 줄일 수 있는 것으로 확인됨에 따라, Test bed를 이용한 실험은 가입자 쪽에서 맨홀 쪽으로 케이블을 포설하였다. 또한, 계산식에서 10kgf, 5kgf, 2kgf 등으로 반영하였던 초기하중은 실제 포설에서는 무시할 수 있을 정도의 작은 값으로 나타났다.

120m 지점에서 동케이블을 포설한 경우에 측정된 실제 포설장력 그래프를 보면, 그림 8과 같이 견인 작업 시간 동안 매초 단위로 장력값이 기록되어 있다. 견인 작업 시간이 경과함에 따라 포설 거리가 늘어나면서 장력이 증가하는 것을 알 수 있으며, 비정상적으로 높은 장력을 나타내는 경우는 케이블과 견인선을 연결하는 인망이 분기소켓과 분배관 이음부를 통과하면서 저항을 받았을 것으로 판단된다.

포설장력이 케이블의 허용인장력을 초과하는지 여부에 실질적으로 영향을 미치는 것은 케이블 견인 작업 시간 동안 발생한 장력 중에서 최대값이다. 따라서 Test bed를 이용하여 각 포설 조건 별로 측정한 데이터에서 최대값을 추출하여 해당 조건의 포설장력으로 한다.

각 분기 지점에서 동케이블을 단독으로 포설한 경우와, 모든 분기 지점에서 동케이블이 포설된 상태에서 추가적으로 세경광케이블을 포설한 경우에 대한 최대 포설장력은 표 2와 같다. 30m 분기 지점까지의 포설장력 값은 극히

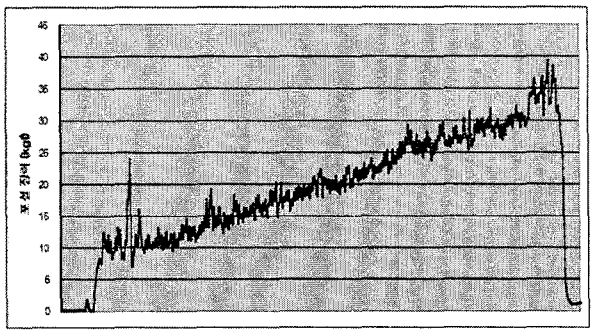

그림 8. 포설장력 그래프 (120m 지점에서 동케이블 포설)

미미하여 무시하였고, 40m 분기 지점부터 포설장력을 측정하였다.

표 2. 분기 지점 별 최대 포설장력

분기점 (m)	동케이블 포설	동케이블 포설 후 세경광케이블 포설	비 고
40	17.7	1.4	
50	15.7	5.5	
60	22.6	7.6	
70	14.7	7.8	
80	22.2	10.5	
90	17.7	6.5	
100	28.7	10.9	
110	33.4	14.4	
120	39.4	11.7	

V. 포설장력 특성 비교

Test bed에 구축한 관로에서 실제 케이블을 포설하여 측정한 포설장력과, Test bed와 동일 조건의 관로를 대상으로 계산식으로 산출한 포설장력의 차이를 비교하여 정리한 것이 표 3 및 그림 9와 그림 10이다.

앞서 언급한 바와 같이 30m 이하의 분기 지점에서 측정한 포설장력 값은 의미가 없어 제외하였으며, 계산식에서 초기하중의 기본값은 10kgf로 하였다. 다만, 초기하중 변화에 따른 포설장력 계산값과 실제 측정값을 비교하기 위해, 동케이블은 5kgf, 세경광케이블은 2kgf의 초기하중에 대해서도 포설장력 계산값을 산출하였다.

표 3. 계산값과 측정값의 포설장력 비교

분기점 (m)	동케이블 포설			동케이블 포설 후 세경광케이블 포설			비 고
	계산값		측정값	계산값		측정값	
	10kgf	5kgf		10kgf	2kgf		
40	32.2	18.1	17.7	29.1	6.5	1.4	
50	41.8	23.1	15.7	38.5	8.5	5.5	
60	48.9	27.3	22.6	44.6	9.9	7.6	
70	50.6	29.0	14.7	45.0	10.3	7.8	
80	52.3	30.7	22.2	45.3	10.7	10.5	
90	54.0	32.4	17.7	45.7	11.0	6.5	
100	55.8	34.1	28.7	46.1	11.4	10.9	
110	57.5	35.9	33.4	46.5	11.8	14.4	
120	59.2	37.6	39.4	46.9	12.2	11.7	

위 표와 그림을 통해 실제 관로에서 측정한 포설장력이 계산에 의해 산출된 포설장력보다 작다는 것을 알 수 있다. 이는 계산식에서 가정한 초기하중보다 실제 포설에서의 초기하중이 작게 작용했음을 의미한다고 볼 수 있다.

또한, 동케이블을 단독으로 포설할 경우에 120m 분기 지점의 포설장력이 허용인장력의 57%로 측정되었고, 동케이블이 이미 포설되어 있는 관로에 세경광케이블을 추가 포설하는 경우에는 허용인장력의 15%이하로 측정되어, 포설장력에 따른 문제는 없는 것으로 확인되었다.

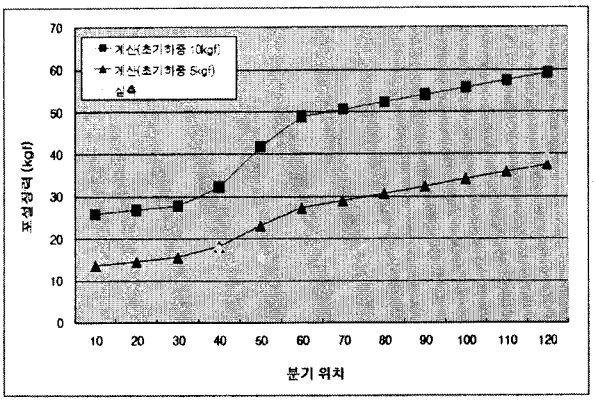

그림 9. 동케이블 단독 포설시 포설장력

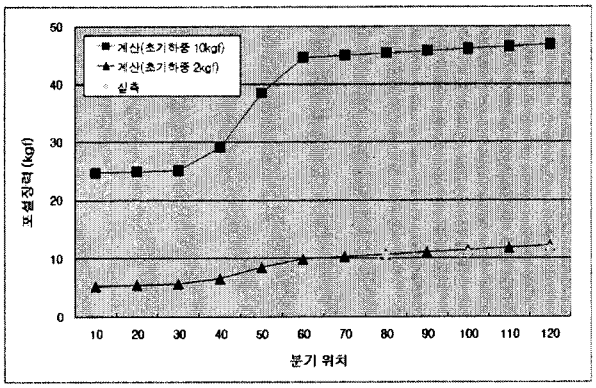

그림 10. 동케이블 포설 후 세경광케이블 포설시 포설장력

VI. 결 론

동일 조건으로 구성된 자유분기 방식 관로에서 케이블을 포설할 경우, 계산식과 Test bed 관로에서 실제 측정한 케이블 포설장력에 대한 특성을 비교함으로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- ○ 분기소켓은 분배관과 연결되는 부위에서 케이블과의 마찰 저항을 최소화 할 수 있는 형태의 구조를 가져야 한다.
- ○ 포설장력을 감소시키기 위해서 케이블은 가입자 쪽에서 맨홀 쪽으로 포설하여야 한다.
- ○ 포설장력에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 초기하중이므로, 이를 최소화 할 수 있는 방안을 마련해야 한다.
- ○ 관로는 가급적 곡선부가 없는 형상이어야 하며, 부득이한 경우 곡선 구간의 곡률반경을 크게 한다.
- ○ 기타 포설장력을 줄이기 위한 방법으로 케이블 포설시 윤활제 등을 사용한다.

실험 및 계산 결과를 통해 케이블 포설장력은 초기하중의 크기에 가장 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 케이블 포설장력을 허용인장력 이하로 유지하여 안정적인 통신 품질을 확보하기 위해서는 케이블 포설 작업시 초기하중을 최소화 할 수 있는 방안이 필요한 것으로 사료된다.

김 동 훈

1994년 경북대학교 농공학과(농학석사)

1991년~현재 KT 네트워크연구소

<관심분야> 통신 관로, 맨홀, 콘크리트

<e-mail> kdh1314@kt.com

한 진 우

1989년 부산대학교 토목공학과(공학석사)

1990년~현재 KT 네트워크연구소

<관심분야> 통신 기초시설

<e-mail> jinuhan001@kt.com