

저압다심케이블에서 충진물(개재물)이 절연저항에 미치는 영향 분석

고영훈, 박의석
JS전선(주)

The Analysis of change of insulation resistance by filler on low voltage multi core cables.

YoungHoon, KO · EuiSeok, PARK
JS Cable Co., Ltd.

Abstract - The insulation is a important part of cable. In this paper, measured the insulation resistance for analysing of change of insulation resistance by filler on low voltage multicore cables. The insulation resistance is not effected by only insulation material, but also filler material. The insulation resistance is different with measuring before filling and after filling by filler. When develope the new filler or cable, the volume resistance of filler must be considered.

1. 서 론

케이블은 그 용도에 따라 다양한 구조로 제작이 된다. 옥내에서 사용되는 IV(옥내 배선용 비닐 절연) 케이블은 도체와 절연체만으로 구성되는 반면 CV(XLPE 절연 PVC 쉬스), VCT (PVC 절연 PVC 쉬스 코드) 케이블은 도체, 절연체, 충진물, 쉬스(SHEATH) 등으로 구성된다.

IV 케이블과 CV, VCT 케이블의 공통요소는 도체와 절연체이며, 케이블에서 가장 중요한 구성요소 또한 도체와 절연체이다.

전류가 필요한 곳에 적은 손실로 전기를 전달하기 위해서는 절연이 필수적이며, 이러한 절연의 정도를 파악할 수 있는 지표가 절연저항이다.

다심케이블은 단심케이블과 달리 각 선심을 꼬아주는 연합공정이 필요하며, 연합된 케이블이 일정한 형태, 일반적으로 원형을 유지하기 위하여 충진물을 사용한다.

케이블에서 절연저항은 절연체의 체적저항만을 고려하여 제작되지만 다심케이블은 위에서 언급한 충진물로 인하여 절연저항이 영향을 받는다. 본 논문에서는 다심케이블에서 사용되는 충진물이 절연저항에 미치는 영향에 대하여 실험을 통해 분석하였다.

2. 본 론

2.1 저압 다심케이블의 구조 및 제조 공정

저압 다심케이블의 구조는 그림1과 같다.

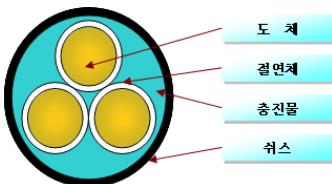


그림 2 저압다심 케이블 구조도

도체는 전류를 흐르게 하는 통로이며, 절연은 전류의 흐름을 방해하거나 차단하는 물질이다. 충진물(개재물)은 다심케이블에서 연합된 선심사이의 틈을 메워 원형을 유지시키는 역할을 한다. 쉬스(sheath)는 케이블의 절연을 외부의 물리적인 충격으로부터 보호하기 위한 층이다. 이러한 구조를 갖기 위하여 케이블은 여러 제조 공정을 통해 제작하게 된다. 도체를 가공하는 신선 공정과 연선 공정, 연선된 도체위에 절연체를 피복하는 절연압출 공정, 다심케이블을 서로 꼬아주는 연합 공정, 연합된 선심을 보호하기 위한 쉬스 압출 공정으로 나뉜다.

2.2 각 제조 공정별 절연저항 값의 변화

절연저항은 절연저항 측정기를 사용하여 측정하는 간단한 방법이 있다. 고체절연물에 직류전압을 인가하면 그 정전용량에 상당하는 충전전류가 순간적으로 흐르고 다시 일정한 누설전류 외에

점차 감소하는 흡수전류도 흐르나, 곧 시간에 대하여 불변하는 누설전류만이 존재하게 된다. 이 때문에 절연저항계에 의한 측정에서는 인가 1분후의 전류치를 잡아 누설전류로 하고 있으므로 절연저항 측정에는 1분 이상의 시간이 필요하다.

그림2는 절연저항을 측정하는 절연저항 측정기(ULTRA MEGO HHM METER, SM-8220)이고, 그림3은 체적저항 측정기(HIGH MEGOHM METER, VMG-1000&TO-9B)이다.

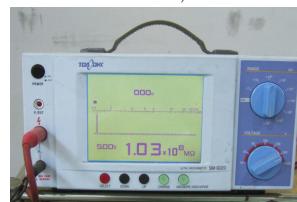


그림 3 절연저항 측정기



그림 4 체적저항 측정기

케이블의 충진물이 케이블 절연저항에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위하여 연합 공정이 완료된 시점과 충진물 압출 공정이 완료된 시점으로 나누어 절연저항을 각 선심별로 측정하였다.

차폐층이 없는 저압 다심케이블에서 절연저항은 각 선심과 차폐층간의 절연저항을 측정한다. 차폐층이 있는 저압 다심케이블은 각 선심과 차폐층간의 절연저항을 측정한다. 단심케이블의 경우 물이 담긴 수조에 케이블을 침수시킨 후 선심과 물(접지) 사이의 절연을 측정한다. 고압케이블은 케이블의 구조상 각 선심마다 차폐층이 존재하므로 도체와 차폐층사이의 절연저항을 측정한다.

본 실험에 사용된 케이블은 차폐층이 없는 제품으로써 각 선심끼리의 절연 저항을 측정해야한다. 이번 연구에서는 50MCM ~400 MCM의 도체를 갖는 케이블 24종을 실험하였으며, 그 중 도체의 크기가 200MCM이며 세 개의 선심으로 된 제품을 선정하여 절연저항 값을 공정별로 정리하였다.

절연체는 유리사실리콘테이프를 사용하였고 측정시 온도는 20°C~26°C이며 측정시의 온도에 대해 온도보정계수를 적용하여 환산한 절연저항 값을 표에 나타내었다. 유리사실리콘테이프의 체적저항은 $2.53 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 이며 6겹으로 taping 하여 절연하였다.

2.2.1 선심연합 후 절연저항 측정

절연된 3개의 선심을 연합한 후 절연저항을 측정한 값은 표1과 같다.

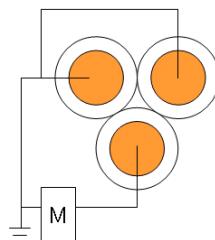


그림 5 연합 후 절연 저항 측정

	절연저항($M\Omega \cdot \text{km}$)
선심1	684
선심2	640
선심3	650

표 1 연합 후 절연저항 값

2.2.2 충진 후 절연저항 측정

충진물에 따른 절연저항의 변화를 분석하기 위하여 체적저항이

다른 두 가지 충진물로 충진 한 후 절연저항을 측정하였다.

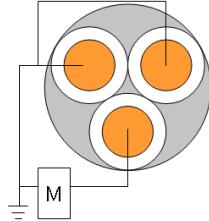


그림 6 충진 후 절연 저항 측정

연합된 선심을 원형으로 만들기 위하여 충진물①로 압출한 후(CASE1) 측정한 절연저항 값은 표2에 나타내었고 충진물②로 압출한 후(CASE2) 측정한 절연저항 값은 표3에 나타내었다. 충진물①의 체적저항은 $5.07 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 이고 충진물②의 체적저항은 $7.95 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다.

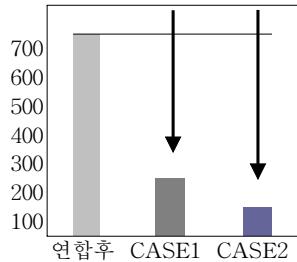
CASE1	절연저항($\text{M}\Omega \cdot \text{km}$)
선심1	211
선심2	204
선심3	150

표 2 충진 후 절연저항1

CASE2	절연저항($\text{M}\Omega \cdot \text{km}$)
선심1	32
선심2	32
선심3	29

표 3 충진 후 절연저항2

표2와 표3의 결과에서 충진물이 절연저항에 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있다. 또한 충진물①의 체적저항은 충진물② 체적저항의 약10배이며 충진 후의 절연저항도 이에 비례하여 낮아짐을 확인할 수 있다.



그래프1 연합 후와 충진 후의 절연저항

연합공정과 충진 공정이 끝난 후 측정한 각각의 절연저항 값을 그림1에 나타내었다. 충진물①과 충진물②를 사용하여 충진한 케이블은 모두 충진 전의 절연저항보다 충진 후의 절연저항이 줄어들었음을 알 수 있다. 이러한 현상은 실험을 진행한 24종의 케이블에서도 동일하게 나타났다.

2.2.3 압출절연방식 케이블의 절연저항 변화

본 실험에 사용된 케이블은 taping 절연방식의 제품이다. 이런 현상이 일반적인 압출 절연 방식과는 다른 taping 절연방식에 기인한 현상인지를 알아보기 위하여 압출 절연 케이블로 비교실험을 실시하였다.

이번 실험에 사용된 케이블은 PP Yarn을 사용하여 충진한 케이블이며 충진이 끝난 뒤 절연저항을 측정하고(CASE3) 동일제품을 2시간 동안 물이든 수조에 넣은 후 절연저항을 측정하였다(CASE4).

CASE3 케이블의 경우 충진물이 PP YARN과 공기이며 CASE4 케이블은 충진물이 PP YARN과 물이라고 할 수 있다. 측정한 절연저항 값을 표4와 표5에 나타내었다.

실험에 사용된 케이블은 2.5SQMM의 도체크기와 세 개의 선심으로 구성된 제품이며 절연재질은 EPR(ethylene-propylene rubber)이다. EPR의 체적저항은 $1.0 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다.

CASE3	절연저항($\text{M}\Omega \cdot \text{km}$)
선심1	5,313
선심2	5,588
선심3	5,700

표 5 공기중 연합물 절연저항

CASE4	절연저항($\text{M}\Omega \cdot \text{km}$)
선심1	378
선심2	346
선심3	365

표 6 침수후 연합물 절연저항

3. 고찰

누설전류는 절연체 표면에 흐르는 표면누설전류와 절연체 내부로 흐르는 내부 누설전류로 구분되며 절연저항은 누설전류와 전압의 비이다. 일반적으로 표면누설전류가 내부누설전류보다 큰 값을 나타내지만 케이블은 구조상 표면누설전류가 흐르는 통로는 좁고 내부누설전류가 흐르는 통로가 넓어 내부누설전류가 표면누설전류보다 크다. 따라서 케이블의 누설전류는 절연체 내부로 흐르는 내부누설전류에 의해 영향을 받게 된다.

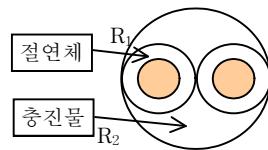


그림 7 다심케이블 구조도

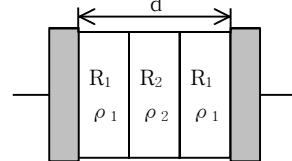


그림 8 등가회로개념도

충진한 다심케이블에서 그림7과 같이 충진물을 절연저항 R_2 를 갖는 제2절연체로 인식하면 그림8과 같은 복합절연체로 나타낼 수 있다. R_1 은 절연체의 절연저항이며, R_2 는 충진물의 절연저항이다.

$$R = \rho \times \frac{d}{S} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 고유저항(저항률) d 는 양극간의 간격 S 는 절연체가 전극과 접촉하고 있는 면적

식(1)은 절연저항을 나타낸 식이며 절연저항이 ρ 값에 비례한다. 위의 CASE1과 CASE2에서 충진물①의 체적저항을 ρ'_1 으로 놓고 충진물②의 체적저항을 ρ''_2 로 놓으면 두 케이블의 절연저항 R_1 은 같은 절연체가 사용되어 동일하지만 절연선심 사이에 놓이는 충진물의 절연저항 R_2 는 ρ'_1 과 ρ''_2 의 값에 의해 R'_2 과 R''_2 이 된다. 절연저항은 고유저항에 비례하므로 $\rho'_1 > \rho''_2$ 에 의해 $R'_2 > R''_2$ 가 되어 완제품에서 측정되는 절연저항 값의 차이가 난다.

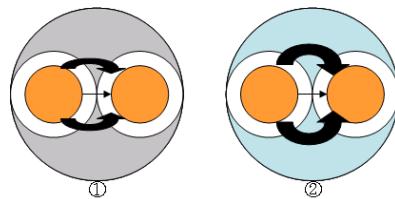


그림 9 다심 케이블내의 누설전류 흐름

그림9는 충진물①과 충진물②로 충진한 케이블 내에서 내부누설전류의 흐름을 나타내었다. 그림9-①과 그림9-②에서 절연체가 맞닿은 지점에서의 내부누설전류의 양은 같지만 그 지점을 제외한 다른 지점에서의 내부 누설전류의 양은 충진물의 체적저항 차이로 인하여 달라진다. 따라서 내부누설전류의 양이 많은 그림9-②의 케이블의 절연저항이 그림9-①의 케이블보다 낮게 측정된다.

4. 결론

본 연구에서는 절연체 외에, 케이블의 절연저항에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위하여, 각 제조 공정별로 절연저항을 측정하여 제시하였다. 다른 체적저항을 가진 충진물로 충진하여 제작한 케이블의 절연저항을 각각 측정함으로써 충진물의 체적저항이 케이블 절연저항에 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다.

케이블 충진물을 새로 개발할 때 본 실험결과를 참고하여 충진물의 체적저항을 중요하게 고려해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 김기우 외, 전기설비기술관리, 1995
- [2] 박창업, 전기물성공학, 2004
- [3] William H. Hayt, Jr, Engineering Electromagnetics, 2001
- [4] IEC 60092-351, 2004
- [5] Lothar Heinhold, Power Cables and their Application, 1990