

전선 연결단자의 시험방법 고찰

박정석*, 한규환

*LG산전 전력시험기술센터 신뢰성시험 연구팀

A study for test method of wire connectors

Jeong-Seok Park*, Gyu-Hwan Han*

Abstract - 전기제품에 전선을 연결하는 수단으로써 단말장치를 사용한다. 단말장치는 작업자가 전선을 제품에 편리하게 연결시키도록 하는 전선결합수단이다. 전기제품을 장시간 사용하다보면 외부환경 및 제품의 내구성의 변화로 인해 각종 사고가 발생한다. 그 중에 전선이 제품에 제대로 연결되어야만 제품의 성능이 발휘될 것이고 전선연결부위가 제품 성능에 영향을 주어서는 안된다. 제품에 전선의 결합강도, 전선의 접촉저항에 따른 온도 영향등을 규격에서는 이러한 영향 요소들을 평가/측정하기 위한 시험이 제시되어 있다.

1. 서 론

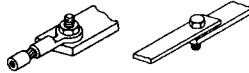
규격에서 요구하는 시험방법은 단자의 형태에 따라 여러 가지 시험방법을 제시하고 있다. 단자의 주기능은 연결강도가 높고 단자에서 전선이 쉽게 이탈이 되지 않아야 한다. 그리고 단자와 전선이 접촉함으로써 발생하는 접촉저항에 따른 온도상승 영향이 적어야 한다. 따라서 규격에 제시되어 있는 단자 시험방법을 분석해보고 실제 시험결과를 토대로 단자가 갖추어야 할 성능에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 본 론

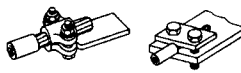
2.1 다양한 단자의 형태

일반적으로 쓰이고 있는 단자들의 형태는 다음과 같다.

안장모양 형태의 단말장치 (Saddle terminal)



손잡이 형태의 단말장치 (Lug terminal)



나사형태의 단말장치 (Screw terminal)



기둥형태의 단말장치 (Pillar terminal)



2.2 규격상의 단자 주요 시험항목

규격상에서 제시되어 있는 주요 시험항목 다음과 같다.

연속적으로 전류를 통전시켜 단자의 온도상승을 측정하는 **Static heating test**, 단자에 결합된 전선을 일정시간 힘을 가하여 회전시켜 결합강도를 측정하는 **Secureness test**, 단자에 결합된 전선을 일정시간 힘을 가하여 인장시켜 이탈여부를 측정하는 **Pull-out test**, 시험전류를 500 cycle동안 on/off하면서 재질의 변화에 따른 단자의 온도변화를 측정하는 **Heating-cycle test** 가 있다.

이 들 시험의 항목을 보면, 소비자의 안전을 고려한 결합강도시험 및 제품에 미치는 온도영향을 알아보는 시험으로 되어 있어, 단순히 전선을 연결하는 기능을 요구하는 것 이외에 안정성 및 원활한 전류 통전성이 중요시 되고 있다.

다음은 각 시험항목에 대해서 시험방법 및 시험에 필요한 조건을 살펴보고자 한다.

2.3 시험의 전제 조건

단자 시험을 실시하기 위해서 기본적으로 전선의 길이 및 스크류의 조임 토크를 고려하여야 한다.

왜냐하면 전선의 길이에 따라 전선의 저항이 변하기 때문에 온도상승에 영향을 미치기 때문이다.

따라서 전선의 굵기에 따른 전선의 길이를 맞추어 시험

Conductor size		Minimum conductor length ^a	
AWG or kcmil	(mm ²)	Inches	(mm)
10-2	(5.05-8.4)	5	(127)
6-3	(13.5-26.7)	12	(305)
2-500	(53.8-258)	18	(457)
Large than 500	(258)	26	(660)

을 해야 한다.

Test conductor size installed in connector	Tightening torque, pound-inches (Nm)			
	Slot width - 0.047 inch (1.2 mm) or less and	Slot width - over 0.047 inch (1.2 mm) or slot	Spindle connectors	Other connectors
30-40	(0.76-5.3)	35 (2.3)	35 (2.3)	78 (5.5)
6	(3.4)	23 (2.0)	40 (4.1)	69 (7.0)
2-4	(1.3-21.2)	55 (4.0)	42 (4.1)	105 (18.5)
3	(26.7)	55 (4.0)	50 (5.4)	275 (21.5)
2	(53.8)	40 (4.0)	50 (5.4)	150 (16.0)
1	(107.4)	-	50 (5.4)	275 (21.5)
15-20	(35.4-67.4)	-	40 (5.4)	305 (26.5)
30-40	(85.0-167.2)	-	50 (5.4)	509 (50.5)
250-300	(127-177)	-	50 (5.4)	858 (73.4)
400	(254)	-	50 (5.4)	1020 (95.2)
500	(254)	-	50 (5.4)	1020 (95.2)
600-700	(304-508)	-	50 (5.4)	1000 (118.0)
800-1700	(408-458)	-	50 (5.4)	1100 (124.2)
1200-2000	(102-458)	-	-	1100 (124.2)

< 전선 굵기에 따른 전선 길이 >

< 전선굵기에 따른 스크류 조임 토크 >

2.3 각 시험항목별 실시방법

다음은 각 시험항목별로 규격에서 요구하고 있는 시험방법에 대해서 알아보려고 한다. 규격상의 시험조건을 만족시키기 위해서는 조건에 맞는 시험설비를 갖추어야 한다.

2.3.1 Static heating test

본 시험은 전선이 체결된 단자에 연속전류를 통전시켜 단자의 온도상승 정도를 확인하는 시험이다. 온도가 포

화될 때까지 전류를 통전시킨 다음 단자의 온도를 측정하여 단자의 온도가 주위온도를 제외한 상승치가 50도이 내이어야 한다.

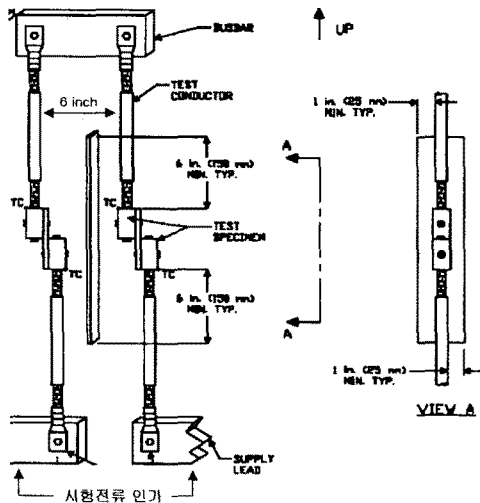
시험에 필요한 전류는 다음과 같다.

Conductor size		Static-heating test current, A
AWG or kcmil	(mm ²)	
30	(10.95)	3
28	(10.49)	3.5
26	(10.13)	4
24	(9.70)	5
22	(9.34)	6
20	(9.519)	12
18	(9.322)	17
16	(11.34)	15
14	(12.69)	20(30)
12	(13.31)	25(40)
10	(15.20)	40(50)
8	(16.37)	70
6	(16.30)	95
4	(21.15)	125
3	(26.67)	145
2	(33.62)	170
1	(42.41)	195
1/2	(53.49)	250
2/5	(67.43)	265
3/5	(85.01)	310
4/5	(107.2)	300
2/0	(127)	405
3/0	(152)	445
3/5	(177)	505

< 도체 굵기에 따른 시험전류 >

그리고 온도측정부위는 열이 가장 높은 부분이 되어야 한다. 예를들면 전선과 단자가 접촉되는 곳이 가장 온도가 높기 때문에 전선에 가까운 단자의 위치에 서모커플 단자를 부착하여 측정하여야 한다.

단자의 연결배열은 다음과 같다. 특히, 각 단자들이 서로 열적으로 영향을 미치지 않게 하기 위하여 열차단막을 설치하여야 한다.



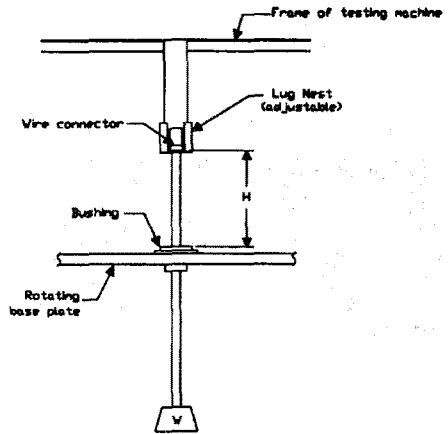
< 시료의 배치도 >

2.3.2 Secureness test

본 시험은 단자에 연결된 전선에 뒤틀림의 힘을 인가하여 전선의 이탈여부를 측정하기 위한 것이다.

시험방법은 그림과 같은 설비를 구비하고 전선의 끝단에 일정한 무게를 인가한 다음 30분간 전선을 회전시킨다. 전선을 회전시켜주는 부싱은 대략 9 rpm의 회전수를 갖는 모터에 의해 구동되어야 하고 부싱의 회전지름은

76.2 mm이어야 한다.



< Secureness의 설비 구성도 >

다음은 전선의 굵기에 따른 부싱홀의 크기와 단자와 부싱홀간의 거리, 전선 끝단에 가하는 무게를 맞추어야 한다

Size of conductor AWG or kcmil	Diameter of bushing hole (mm) ²	Diameter of bushing hole		Height		Weight	
		Inches	(mm)	Inches	(mm)	Pounds	(kg)
18 - 30	4.82 - 1.15	1.4	(35.4)	10.14	(260)	2	(9.0)
14	(3.5)	1.8	(45.5)	11	(279)	3	(13.6)
12 - 15	(3.5 - 5.3)	3.4	(85.5)	11	(279)	5	(22.3)
4	(8.4)	3.2	(81.5)	11	(279)	8	(36.1)
6	(13.3)	3.5	(88.7)	11.34	(290)	10	(45.2)
8	(17.1)	3.7	(93.7)	11.34	(290)	20	(90.7)
1 - 2	(28.7 - 33.6)	6.15	(156.3)	12.12	(308)	30	(135.6)
1 - 1/2	(42.4 - 53.5)	6.5	(165.1)	13.12	(333)	50	(227.7)
2/0	(67.4)	3.4	(85.7)	14.12	(358)	100	(453.7)
3/0 - 4/0	(93.6 - 107.2)	3.4	(85.7)	14.12	(358)	150	(680.7)
2/0	(67.4)	7.5	(190.2)	16	(406)	80	(363.2)
3/0	(93.6)	7.5	(190.2)	16	(406)	80	(363.2)
3/4 - 4/0	(177 - 207)	1	(25.4)	17	(432)	80	(363.2)
5/4 - 6/3	(253 - 304)	1.18	(29.9)	18.14	(461)	80	(363.2)
7/0	(324)	1.14	(29.0)	18.12	(459)	80	(363.2)
7/5	(330)	1.14	(29.0)	18.12	(459)	80	(363.2)
8/0 - 9/0	(406 - 456)	1.38	(35.0)	21.14	(534)	100	(453.7)
10/3	(509)	1.12	(28.1)	22.12	(562)	100	(453.7)
12/0	(552)	1.34	(34.0)	20	(454)	150	(680.7)
17/0	(556)	2	(50.8)	28	(711)	200	(907.2)
20/0	(776)	2.18	(55.4)	30	(762)	200	(907.2)

< 전선의 굵기에 따른 부싱홀 크기,거리,무게 >

여기서 주의할 것은 부싱홀을 편평하는 전선과 부싱홀의 면과의 마찰이다. 따라서 마찰로 인해 전선의 피복에 손상이 가는 것을 막기 위해서 부싱홀과 전선의 접촉면에 윤활제를 도포해야 한다.

2.3.3 Pull out test

인장시험은 Secureness test이후에 바로 시행해야 한다. 규정된 힘의 값을 1분동안 가하여야 하고 단자는 전선과 분리되어서는 안된다.

Secureness test 및 Pull out test를 실시함에 있어서 단자의 스크류의 형태에 따라 전선과의 체결력에 상당한 영향을 끼친다. 전선과 접촉되는 스크류의 면에 따라 전선을 지지하는 힘이 다르다. 또한 전선과 접촉되는 단자의 면에 따라서도 체결력에 영향을 준다.

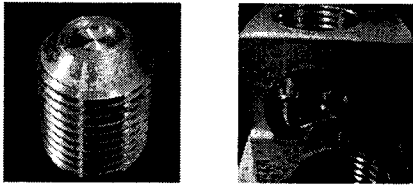


다음은 스크류의 형태의 예를 보인 것이다.

끝이 편평한 상태, 뾰족한 상태, 홈이 있는 스크류 상태로 가공함으로써 편평한 상태보다는 홈을 형성

하여 전선과 접촉할 때 전선을 파고 들어가 체결력을 높일 수가 있다.

좀 더 체결력을 높이기 위해서는 스크류의 끝에 홈을 만들되 스크류의 끝 부분이 마모되는 것을 방지하기 위하여 각 진 홈을 만드는 것이다. 또한, 단자의 밀부분에 홈을 형성시킴으로써 스크류의 누르는 힘에 의해 전선이 단자의 홈으로 파고 들어가 체결력을 한층 더 높게 할 수 있다.

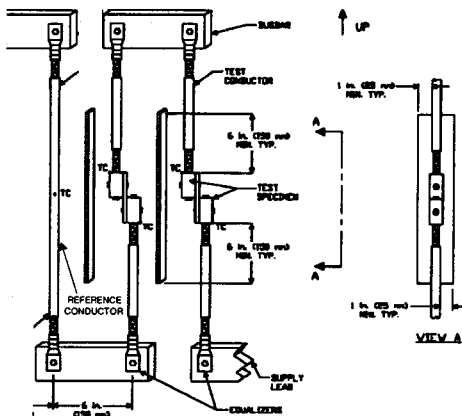


<스크류 끝의 각진 홈> <단자 밀부분의 홈>

2.3.4 Heat cycling test

본 시험은 규정된 전류를 정해진 시간으로 on/off를 500 cycle동안 수행하는 시험이다. 이 시험은 장시간 전류를 통전, 무통전시키는 것을 반복함으로써 발생할 수 있는 단자의 재질 변화를 알아보는 시험이다. 재질이 변화하면 저항값이 변하기 때문에 온도가 상승하거나 온도의 변화가 발생할 수 있다. 본 시험에서는 온도의 상승 정도 및 온도의 변화를 측정하여 제품에 영향을 끼치는 지를 판단하는 시험이다.

시험의 배열은 Static heating test와 유사하다. 다른 점은 reference 전선을 추가한다는 것이다. 그 이유는 단자의 온도와 reference 전선과의 온도 차의 변화를 알아보기 위한 것이다. 장시간 전류를 on/off를 수행하면 당연히 발생하는 열에 의해서 전선 및 단자의 재질이 변화를 일으켜 저항값이 상승하게 되어 있다. 따라서 초기치와 최종치를 측정하여 온도의 차가 어느정도 일정한가를 알아보는 것이다.



< Heat cycling test의 시험 배치도 >

시험 결과의 판정기준은 두가지로 요약된다. 단자의 온도가 주위온도를 제외하고 125도를 초과해서는 안되고, 단자와 reference 전선에 측정된 온도값으로 계산된 안정도(Si)가 ±10을 초과해서는 안된다는 것이다.

안정도(Si)는 다음과 같이 구한다. 먼저 500 cycle중에서

11개(25,50,75,100,125,175,225,275,350,425,500cycle)의 온도 측정값을 구한다.

$$D = [(d1+d2+d3+ \dots +d11)/11]$$

$$Si = di - D$$

여기서, di = (단자온도)i - (reference전선)이다.

다음 표는 전선 굵기에 따른 시험전류 및 통전시간을 나타내고 있다.

Heat cycling 전류는 Static heating 전류보다 높기 때문에 열이 많이 난다. 따라서 주위온도가 일정한 범위내에서 열이 발산할 수 있는 공간이 필요하다. 그렇다고 단자의 온도에 영향을 끼치는 강제 통풍이 있어서는 안된다.

Conductor size, AWG or local (mm²)	Assigned maximum current rating ^a	Heat cycling temperature ratings ^b		Assigned maximum current rating ^a	Static heating ^{c,d}	Heat cycling temperature ratings ^b		On (and off) time for heat cycling (min)
		75°C±0.9	90°C±0.8			75°C±0.9	90°C±0.8	
30 (0.05)	-	2	3.5	4	-	-	-	1
28 (0.08)	-	2.5	4	5	-	-	-	1
26 (0.13)	-	3.5	6	8	-	-	-	1
24 (0.20)	-	5	8	13	-	-	-	1
22 (0.32)	-	6	12	15	-	-	-	1
20 (0.52)	-	12	18	17	-	-	-	1
18 (0.82)	-	17	19	24	-	-	-	1
16 (1.31)	-	18	20	31	-	-	-	1
14 (2.08)	15	18(30)	22(33)	37(40)	-	-	-	1
12 (3.31)	20	27(35)	38(50)	49(54)	15	20(30)	20(32)	1(5)±3
10 (5.26)	30	34(50)	48(60)	59(74)	25	30(40)	34(48)	1(8)±5
8 (8.02)	50	39	50	62	45	45	50	7(1)
6 (13.30)	65	55	70	80	75	51	58	1(2)
4 (21.15)	85	75	100	115	100	110	120	1(3)
3 (36.77)	100	140	180	205	75	115	125	1(5)
2 (58.42)	115	170	190	240	100	135	150	1(5)
1 (94.41)	150	195	220	275	100	155	175	2(5)
1/0 (151.49)	190	230	250	320	120	180	200	2(5)
2/0 (197.45)	175	240	300	370	150	210	230	1
3/0 (260.21)	300	310	345	430	150	240	270	1
4/0 (330.7)	320	360	400	500	200	310	340	1(1)
250 (127)	285	300	485	500	200	315	350	4(2)
300 (152)	295	405	500	520	250	350	380	1(1)
350 (177)	310	505	550	570	250	360	430	1(1)
400 (203)	335	540	600	720	370	425	470	1(1)
500 (253)	360	620	690	870	510	485	540	5(2)
600 (304)	420	680	770	980	540	500	580	2
700 (355)	490	750	850	1050	570	560	670	2
750 (380)	475	780	890	1100	580	570	700	2
800 (405)	490	810	920	1140	590	580	720	2
900 (456)	520	870	990	1270	620	750	780	2
1000 (507)	545	920	1040	1400	650	760	800	2
1250 (635)	560	1085	1185	1480	680	870	1100	3
1500 (760)	625	1170	1300	1645	800	950	1200	3
1750 (887)	650	1290	1420	1780	840	1050	1470	3
2000 (1015)	680	1385	1540	1940	940	1150	1610	1

< 전선 굵기에 따른 시험전류 및 통전시간 >

3. 결 론

이상과 같이 단자 시험에 대한 주요 시험을 알아보았다. 제품에 대한 시험도 중요하지만 제품이 성능을 발휘할 수 있도록 제품에 필요한 전류를 제공하는 부분은 기본적으로 중요하다. 전선 체결부분이 이상이 없도록 고정함으로써 제품에 최적 상태를 유지시켜 주고, 작업자 및 소비자의 안전성을 고려해볼 때 중요하다고 생각된다. 제품의 성능 못지 않게 전선 체결문제도 신중히 고려하여 제품 출고시 단자부분에 대해서도 안전성을 중요시하는 설계가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] UI 486, Wire connectors for use with copper conductors, 2000
- [2] IEC 60947-1, Low-voltage switchgear and controlgear-Generl rules, 2001