

PAI 유/무기 하이브리드코일의 곡률변화에 따른 AC 및 DC 절연과괴 특성

Insulation Breakdown Properties of AC and DC according to Curvature Variation of PAI Organic/Inorganic Hybrid Coils

박 재 준*
(Jae-Jun Park)

Abstract - 4-types of coils were prepared by coating with polyamideimide (PAI) organic/inorganic hybrid. One type was made with original PAI vanish and the other 3-types were made of double layers, that was to say, high flexural PAI layer and high anti-corona PAI/nanosilica (15 wt%) layer. Drying temperature (T/D) were 220°C, 240°C, and 260°C, respectively and rectangular type coil for high-voltage rotating machine was used. DC and AC electrical breakdown tests were carried out in order to study the insulation properties according to T/D temperature and coil curvature (5, 15, and 25 mm ϕ). As the curvature increased, electrical breakdown voltage decreased and as T/D temperature decreased, electrical breakdown voltage increased.

Key Words : Rectangle magnet wire, AC and DC insulation breakdown voltage, DC voltage, PAI vanish coil, Nano silica filled vanish coil

1. 서 론

최근에 환경적인 문제가 국제적인 관심으로 나타남으로서, 산업용 전동기분야에서 에너지효율 문제는 더욱더 중요하게 되어져 왔다. 그래서 현재 많은 전동기들은 오늘날 산업용 전동기의 고효율을 전달할 수 있는 적절한 속도를 구동하거나 또는 인버터 할 수 있게 되었다. 그리고 펄스변조기술 PWM (Pulse Width Modulation)을 갖는 인버터 전원공급, 그것은 IGBTs (Insulated gate bipolar transistor)가 고속스위칭 장치로서 사용되어져 왔고 그리고 모터회전의 제어가능성을 향상시키고 그리고 스위칭 손실을 줄일 수 있다[1~2]. 폴리아미드이미드(Polyamideimide : PAI) 에나멜선 들은 양호한 열적 전기적 절연특성을 갖고 있다. 폴리아미드는 양호한 열적저항, 기계적강도 그리고 화학적 저항을 갖는 높은 절연과괴강도를 갖는 일종의 고분자이다. 그러므로 폴리아미드 절연전선들이 거친 환경조건에서 사용되어진다[3~4]. 폴리아미드는 인버터 되먹임 전동기권선과 전력변환 위한 고전압 코일로서 사용되어진다. 최근에 고속스위칭소자, 가령 절연된 게이트 쌍극자 트랜지스터(IGBTs)가 인버터 전원장치로서 개발되어져왔다. 에나멜와이어의 전기적 강도를 평가하기 위해 절연과괴 전압이 여러가지 방법으로 측정 되어져 왔다[5]. 실린더로 밀접하게 접촉 또는 꼬여진 쌍으로 작은 용기 내에 U자형 샘플 그리고 작은 용기 내에 감겨어진 코일 등이 있다. 모든 측정전압은

AC 전압 60Hz 공칭주파수 하에서 수행되어지고 또는 직류 전원 하에서 실험을 실시하였다. 측정전압은 코일의 절연이 파괴될 때까지 일정한 승압속도로 공급하였다.

본 연구에서는 PAI 원형코일을 포함한 4종류의 코일 즉, 나노실리카를 균질 분산시킨 바니시를 제조하였고 도체에 코팅된 바니시의 경화조건 T/D: 220, 240, 260°C 변화에 대한 코일의 교류 및 직류 절연과괴 특성을 연구하였다.

2. 실험

PAI 전선 및 PAI/나노실리카(중진함량 15wt%) 바니시를 직각 형태의 구리전선(이하 각형코일이라 한다)에 코팅하여 Sam Dong Co., Ltd., 에서 제조하였다. 각형코일의 에나멜 절연층 두께는 30~50 μ m이고, 두께와 폭이 각각 0.77~0.83 mm 그리고 1.17~1.23 mm이다. 첫 번째 코일전선은 PAI 원형수지로 코팅되어졌고 그리고 3종류의 코일은 고유연성을 갖는 PAI의 코팅 층과 그리고 코로나억제 PAI (나노실리카 15wt%) 층이 이중층으로 된 코일을 사용하였다. Type_1, Type_2 그리고 Type_3가 각각 T/D : 220oC, 240oC, 260oC로 건조하였다.

그림 1에서는 실험에 사용된 전극은 용기 내 0.4mm 지름을 갖은 산탄을 넣어 측정하고자하는 코일 샘플에 대한 평등전계를 일정하게 유지하였다. 그림 2에서 보여준 것처럼 5회 감겨어진 코일샘플의 지름이 3종류 즉, 5mm ϕ , 15mm ϕ 그리고 25mm ϕ 샘플에 대한 교류 및 직류 절연과괴 내전압 측정을 실시하였다. 50~1000Hz를 갖은 0~30kV까지 교류정현파를 발생하는 고전압

* Corresponding Author : Department of Electrical Electronic Engineering, Joongbu University, Korea
Email: jjpark@joongbu.ac.kr

Received : September 18, 2016; Accepted : September 30, 2016

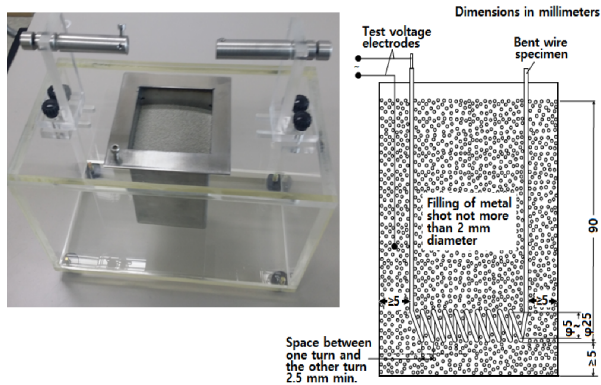


그림 1 코일 절연파괴 측정용 전극구조
 Fig. 1 Electrode structure of coil-wound specimen for the breakdown voltage test

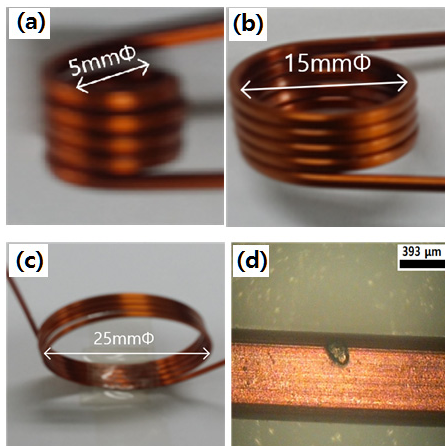


그림 2 코일의 곡률 (a) 5mmφ, (b) 15mmφ, (c) 25mmφ 그리고 (d) 절연파괴 자국
 Fig. 2 Coil curvature specimen for the insulation breakdown voltage test (a) 5mmφ, (b) 15mmφ (c) 25mmφ and (d) photo of insulation breakdown trace in an enamelled wire

표 1 샘플의 종류

Table 1 Type of samples

Sample Types	High Flexible PAI Vanish+Anti Corona Vanish (silica contents: 15wt%)	
PAI original	PAI Original	coil diameter: 5,15,25mmφ
Type_1	T/D:220℃	coil diameter: 5,15,25mmφ
Type_2	T/D:240℃	coil diameter: 5,15,25mmφ
Type_3	T/D:260℃	coil diameter: 5,15,25mmφ

발생장치를 이용하여 직선형 코일이나 꼬여진 코일의 가속주파수를 위해 제작된 내전압 측정용 장치, Model : APCP-30kV, Sky Innotek Co., Ltd.을 사용하였다. 고전압을 인가하기 위해, 에나멜 절연층이 한쪽 전선에 제거되어졌고 그리고 측정샘플이 그림 1에

서 나타난 바와 같이 평등전계를 제공하는 용기 내에 잠기도록 하였다. 코일절연파괴전압이 절연파괴가 일어날 때까지 일정하게 0.5kV/s로 승압하였다.

3. 결과 및 검토고찰

3.1 코일의 직류(DC) 절연파괴 내전압 특성

3.1.1 PAI 원형코일

그림 3, 표 2에서는 PAI 원형코일이 감긴 권수를 5회로 하였고 그림 2에서 나타난 바처럼 코일곡률 크기를 3종류(5,15,25 mmφ)로 하였다. 한 쪽 코일단자의 절연층을 제거하였고 나머지 감겨진 코일 전체가 0.4mm 구슬입자가 가득찬 챔버에 잠긴 상태에서 100kV DC 고전압 발생장치로 부터 0.5kV/s 일정한 속

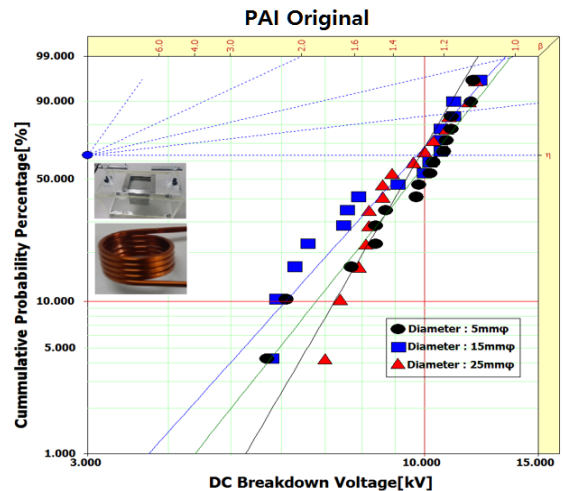


그림 3 여러종류의 곡률을 갖는 PAI 원형코일지름에 대한 절연 파괴 내전압의 와이블 통계분석 (60Hz)

Fig. 3 Weibull statistical analysis for insulation breakdown endurance voltage of PAI original wires with various curvature at 60 Hz.

표 2 그림 3에 대한 와이블 플롯된 특성파라미터 값

Table 2 Properties Parameter Value for Weibull Plotted of Fig. 3

PAI original coil diameter	shape parameter	scale parameter (kV)	B10 Life (kV)	
DC	5mmφ	5.41	10.29	6.79
	15mmφ	4.80	9.72	6.09
	25mmφ	7.39	9.83	7.28
AC	5mmφ	7.92	7.30	6.50
	15mmφ	12.42	6.58	5.48
	25mmφ	10.27	5.95	4.78

도로 승압하여 코일의 절연층을 파괴하였다. 측정된 결과를 그림 3에서 와이בל플롯으로 나타내었다. 3가지 파라미터 여기서, 스케일파라미터는 누적확률이 실패(fail)에 기대되는 값으로 63.2%에 의해 결정되는 확률 %를 나타내었고 그리고 형상파라미터는 데이터 분포를 의미하는 기울기로부터 얻어질 수 있는 누적확률 %를 나타낸 것이다. 와이בל 플롯에서 기울기가 크면 균질성이 크고, 작으면 균질성이 작은 경우를 의미한다. 또한 B10값은 누적확률 10% 측정조건하에서 Fail이 일어날 수 있는 전기적 failure을 언급하는 것이다[5].

PAI 원형 코일의 DC 절연파괴 내전압은 코일곡률이 작을수록 절연파괴 내전압이 높았고 그리고 이와는 반대로 감긴 코일곡률이 클수록 절연파괴 내전압이 낮은 결과를 얻었다. 교류 절연파괴 내전압을 비교 검토하여 볼 때, 코일곡률이 5mmφ 샘플에서, 직류절연파괴 내전압은 10.29kV 이었고 그리고 교류 절연파괴 내전압은 7.30kV 이었다. 절연파괴 내전압의 비율이 140.96%로서 DC가 AC보다 절연파괴 내전압이 높은 결과를 얻었다. 코일곡률이 15mmφ인 경우 직류절연파괴 내전압은 9.72kV이었고 그리고 교류절연파괴 내전압은 6.58kV이었다. 교류에 대한 직류절연파괴 내전압의 비율은 147.7%로서 DC가 AC보다 47.7% 절연파괴 내전압이 높은 결과를 얻었다. 또한 25mmφ인 경우 직류절연파괴 내전압은 9.83kV이었고 그리고 교류절연파괴 내전압은 5.95kV 이었다. 그 결과 교류에 비하여 직류절연파괴 내전압은 165.2%로서 DC가 AC보다 65.2% 절연파괴 내전압이 높은 결과를 얻었다. 교류의 피크 전압값 V_{max} 를 직류의 크기 V_{rms} 로 표현하면 즉, 교류의 실효값 $V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{max}$ 로 표현된다.

그렇다면, 5mmφ인 경우 $V_{rms} = \frac{10.29kV}{\sqrt{2}} = 7.27kV$, 15mmφ인 경우 $V_{rms} = \frac{9.72kV}{\sqrt{2}} = 6.87kV$, 그리고 25mmφ일 때, $V_{rms} = \frac{9.83kV}{\sqrt{2}} = 6.95kV$ 의 이론적인 결과이다. 그러나 5mmφ, 15mmφ 그리고 25mmφ의 경우 이론과 거의 근사치의 값을 나타내었다.

3.1.2 Type_1 코일

그림 4, 표 3에서는 Type_1의 코일로서, PAI 수치층 과 15wt% 나노실리카를 분산시킨 바니시를 이중층으로 코팅한 코일 샘플로서, T/D : 220℃의 온도조건에서 열처리한 코일의 DC 절연파괴특성을 나타낸 것이다. 코일곡률이 작을수록 파괴전압이 높고 반대로 곡률이 클수록 절연파괴전압이 낮아지는 특성결과는 PAI원형코일과 같은 경향을 갖고 있었다. 감코일곡률이 5mmφ의 경우, 직류절연파괴 내전압이 11.48kV 이었고 그리고 교류절연파괴 내전압은 7.09kV 이었다. 교류에 비하여 직류절연파괴 내전압이 161.9% 높은 결과이다. 또한 15mmφ의 경우 직류절연파괴 내전압은 10.71kV 그리고 교류 절연파괴의 경우 6.44kV로서 교류보다 직류절연파괴 내전압이 66.3% 높은 결과를 얻었다.

코일곡률이 25mmφ의 경우 직류절연파괴 내전압 결과 10.46 kV이며, 교류절연파괴 내전압의 경우 5.77kV 결과로서 교류보다 직류의 절연파괴 내전압이 181.29%가 높은 결과이다. 이는 DC가

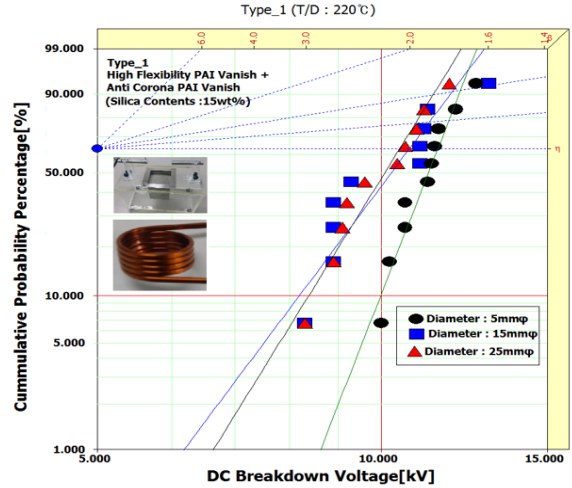


그림 4 여러 종류 코일곡률을 갖는 Type_1 곡률에 대한 절연파괴 내전압 와이בל 통계분석 (60Hz)

Fig. 4 Weibull statistical analysis for insulation breakdown endurance voltage of Type_1 wires with various curvature coil at 60 Hz

표 3 그림 4에 대한 와이בל 플롯된 특성파라미터 값

Table 3 Properties Parameter Value for Weibull Plotted of Fig 4

Type_1 coil diameter	shape parameter	scale parameter (kV)	B10 Life (kV)
DC	5mmφ	16.07	9.98
	15mmφ	8.36	8.18
	25mmφ	10.11	8.18
AC	5mmφ	14.06	6.05
	15mmφ	9.81	5.13
	25mmφ	9.98	4.61

AC보다 81.29% 높은 절연파괴 내전압이 높은 결과이다.

PAI 원형코일처럼 DC의 경우 교류 최대값으로 볼 때 AC를 실효치로 나타내면, 5mmφ에서는 8.11kV가 되어야 하며, 15mmφ인 경우는 7.57kV, 그리고 25mmφ인 경우 7.39kV가 되어야 한다. 그러나 실제 측정결과는 이론적 교류 실효치에 비하여 각각 1.02kV, 1.13kV 그리고 1.62kV 순서로 코일곡률이 클수록 오히려 이론값에 비하여 높은 실효값의 결과를 얻었다. 이는 내코로 나성의 강화를 위하여 충전된 나노실리카의 영향으로, 공간전하 억제효과에 기인한 것으로 사료된다.

3.1.3 Type_2 코일

그림 5, 표 4에서는 Type_2의 코일로서, PAI 수치층 과 15wt% 나노실리카를 분산시킨 바니시를 이중층으로 코팅한코일 샘플로서, T/D:240℃의 온도조건에서 열처리한 코일의 직류 절연파괴특성을 나타낸 것이다. 이는 Type_1에 비하여 20℃ 더 높

은 온도조건에서 열처리한 코일을 실험한 경우이다. Type_1의 경우처럼, 코일곡률이 작을수록 파괴전압이 높고, 반대로 곡률이 클수록 절연파괴전압이 낮아지는 같은 경향의 특성을 얻었다. 곡률이 5mmφ의 경우, 직류절연파괴의 경우 11.05kV, 교류절연파괴의 경우 6.13kV로서, 교류보다 직류 절연파괴 내전압이 180.27% 높은 결과이다. 이는 DC가 AC보다 80.27% 높은 내전압을 갖고 있음을 의미한 것이다. 곡률이 15mmφ의 경우, 직류 절연파괴 결과는 10.50kV, 교류절연파괴 경우 5.42kV로서 교류보다 직류절연파괴 내전압이 193.7% 높은 결과를 얻었다. 이는 DC가 AC보다 내전압이 93.7% 높은 결과를 의미한 것이다. 그리고 25mmφ의 경우 직류절연파괴 내전압이 9.73kV이며, 교류절연파괴 경우 5.69kV의 결과로서 직류가 교류보다 171.01%가 높은 내전압을 갖고 있음을 의미한 것이다.

DC를 교류 최대값으로 볼 때 AC를 실효치로 나타내면, 5mmφ에서는 7.81kV가 되어야하며, 15mmφ인 경우는 7.42kV 그리고 25mmφ인 경우 6.88kV가 되어야 한다. 그러나 실제 측정결과

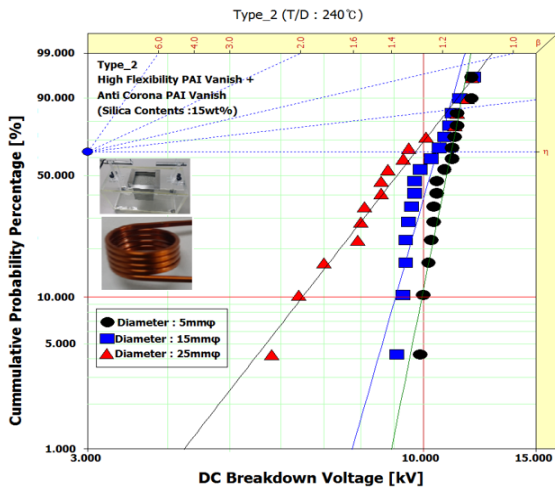


그림 5 여러 종류 코일 곡률을 갖는 Type_2 코일에 대한 절연 파괴 내전압의 와이블 통계분석 (60Hz)

Fig. 5 Weibull statistical analysis for insulation breakdown endurance voltage of Type_2 wires with various curvature coil at 60 Hz.

표 4 그림 5에 대한 와이블 플롯된 특성파라미터 값

Table 4 Properties Parameter Value for Weibull Plotted of Fig 5

Type_2 coil diameter	shape parameter	scale parameter (kV)	B10 Life (kV)
DC	5mmφ	21.46	11.05
	15mmφ	15.14	10.50
	25mmφ	5.53	9.73
AC	5mmφ	8.86	6.13
	15mmφ	10.74	5.42
	25mmφ	14.15	5.69

이론적 교류 실효값에 비하여 각각 1.68kV, 2.00kV 그리고 1.19kV로서 실제 측정된 교류 실효값이 이론값에 비하여 높은 결과를 나타내었다.

3.1.4 Type_3 코일

그림 6, 표 5에서는 Type_3의 코일로서, PAI 수치층 과 15wt% 나노실리카를 분산시킨 바니시를 이중층으로 코팅한 코일 샘플로서, T/D : 260℃의 온도조건에서 열처리한 코일의 직류 절연파괴특성을 나타낸 것이다. 코일곡률이 작을수록 파괴전압이 높고 반대로 곡률이 클수록 절연파괴전압이 낮아지는 특성을 얻었다. 곡률이 5mmφ인 경우, 직류 절연파괴 내전압이 9.75kV, 교류의 절연파괴 내전압 5.93kV로서 직류가 교류의 내전압에 비하여 164.42% 높은 결과이다. 15mmφ의 경우 직류절연파괴 내전압은 8.54kV, 교류내전압의 경우 5.44kV로서 직류가 교류의 절연파괴 내전압에 비하여 156.99% 높은 결과이다. 그리고 25mmφ

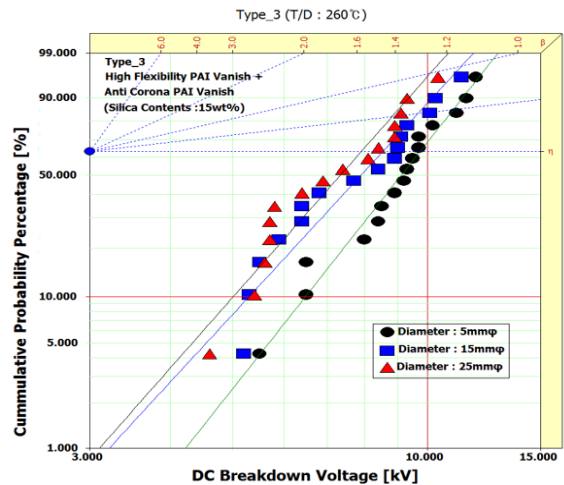


그림 6 여러 가지 코일곡률을 갖는 Type_3 코일지름에 대한 절연 파괴 내전압의 와이블 통계분석 (60Hz)

Fig. 6 Weibull statistical analysis for insulation breakdown endurance voltage of Type_3 wires with various curvature coil at 60 Hz.

표 5 그림 6에 대한 와이블 플롯된 특성파라미터 값

Table 5 Properties Parameter Value for Weibull Plotted of Fig 6

Type_3 coil diameter	shape parameter	scale parameter (kV)	B10 Life (kV)
DC	5mmφ	5.50	9.75
	15mmφ	4.71	8.54
	25mmφ	4.92	7.90
AC	5mmφ	14.82	5.93
	15mmφ	3.67	5.44
	25mmφ	6.98	5.13

의 경우는 직류절연과과 내전압의 결과 7.90kV이며, 교류 절연과과 내전압의 경우 5.13kV의 결과로서 역시 직류가 교류보다 절연과과 내전압이 154%가 높은 결과이다. 5mmφ에서는 앞서 나타낸바와 같이 DC를 교류 최대값으로, AC실효값이 6.89kV가 되어야하며, 15mmφ인 경우는 6.03kV, 그리고 25mmφ인 경우 5.58kV가 되어야 한다. 그러나 실제 측정결과는 이론적 교류 실효치에 비하여 각각 0.96kV, 0.59kV 그리고 0.45kV로서 오히려 이론값에 비하여 높은 실효값의 결과를 얻었다.

이상의 결과를 분석하여 볼 때, 첫째, 코일 곡률이 클수록 AC, DC의 경우 낮은 절연과과 전압의 결과를 얻었다.

실험에 사용하는 전극은 0.4mmφ를 갖는 금속입자가 가득차게 챔버에 주입되어 있고, 챔버를 접지로 연결된 측정전극이 이용되어졌다[5]. 코일샘플의 형상 및 굽기는 각형코일로서 절연층의 두께는 30~50 μm 그리고 각형코일의 두께와 폭이 각각 0.77~0.83 mm 그리고 1.17~1.23 mm 코일이 사용되어졌다. 그림 2에서 나타낸 바처럼, 5회 감긴 코일상태의 지름이 5 mmφ, 15 mm φ, 25mmφ이었다. 그런 코일곡률 부분에 금속입자가 가득찬 챔버에 감긴 상태에 코일 한쪽단자는 절연피복을 벗겨서 전압을 인가하였다. AC와 DC 인가전압은 0.5kV/s로 일정하게 승압하였다. 이는 전극으로 서스봉(sus rod) 도체에 코일을 감은 상태로서, 자체인덕턴스는 감긴 코일의 길이와 권수이다. 그리고 투자율은 일정한 상수로 볼 수 있다. 그러나 감긴 코일의 곡률이 서스(sus)의 굽기와 같은 단면적에 비례하는 인덕턴스를 갖게 된다. 지름이 굽으면 인덕턴스가 크고 그리고 작으면 인덕턴스가 작게 된다. 인가전압이 일정하게 상승하게 됨으로, 일정한 전류변화를 가져와 결국은 코일의 단면적(감긴어진 코일곡률)이 크면 파괴전압이 낮게 되고 단면적이 작으면 오히려 파괴전압이 더 높은 결과를 가져오는 것으로 사료된다.

둘째, DC 절연과과의 경우를 비교하여 볼 때, DC를 V_{max} 교류 최대값으로 그리고 AC 절연과과를 V_{rms} 실효값으로 평가할 때, 실제 교류절연과과 값과 이론적인 값 $V_{rms}=V_{max}/\sqrt{2}$ 과의 차이가 PAI 원형코일에서는 실제와 이론이 거의 근사한 값을 나타내었다. 그러나, PAI의 유연성이 좋은 절연층과 나노입자 15wt% 충전된 바니시가 코팅된 코일의 절연층은 코로나 억제용으로 구성된 이중층으로 높은 절연과과 결과를 얻었다. 직류 절연과과 경우 나노실리카의 충전함량이 15wt%로서 PAI원형보다 공간전하의 억제로서 역할을 하는 것으로 사료되며 또한 교류절연과과의 경우 PAI원형보다 약간 낮은 절연과과 결과는 PAI(나노실리카 15wt% 충전)가 전기적 절연으로의 큰 역할을 하지 못한 경우로 사료 된다.

Hideyuki Kikuchi[6] 연구자들도 고전적 코일의 경우 도체에 폴리에스터-이미드층을 코팅하고 폴리에스터-이미드를 포함한 금속산화물을 이용하여 부분방전 저항층을 코팅 그리고 최외각에 폴리아미드-이미드 층으로 구성되었다. 그러나 최근의 경우 부분방전 저항성층의 경우 폴리에스터-이미드/실리카 나노복합재료 폴리에스터-이미드 코일을 개발하였다. 본 연구의 경우에서도 부분방전 저항성 층을 코로나억제를 위한 층으로 표현하였지만 같은 연구 맥락으로 볼 때, DC 및 AC 절연과과에서, 부분방전의 경우는 절연수명평가에서 인버터서지와 같은 전원이 인가될 때,

코일과 코일사이 미소한 간극에서 절연코팅된 표면의 침식이 일어나게 된다. 이유는 파센의 법칙에 따라 방전이 일어나기 유리한 미소 갭의 한 점에서 일어난다[7]. 침식의 패턴은 파형의 상승시간차이에 기여하게 되고, 인버터서지 전압 하에서 방전은 가파른 상승에지를 갖고 있기 때문이다. 침식은 제한된 범위 내에서 집중되어 발생하게 된다. 반면에 sine wave은 덜 가파르기 때문에 방전발생 포인트가 이동되면서 방전이 반복적 되어 진다. 그리고 침식은 넓은 영역을 걸쳐 퍼진다. 유/무기 하이브리드 콤포지트의 경우 무기재료입자 근방에 대전입자가 그들을 피하는 것처럼 다닌다. 그리고 유기재료와 결국은 충돌하게 된다. 이런 방식으로 연면거리가 늘어나고 그리고 대전입자의 충돌에너지도 반사와 분산을 통하여 상당히 낮아지게 되어 결국은 침식이 억제되는 결과를 가져온다.

셋째, T/D 온도조건 변화에 따른 AC, DC 절연과과 특성: 제조공정과정의 T/D: 220℃>240℃>260℃ 온도가 낮을수록 DC: 곡률의 크기 5mmφ: 11.48 ← 11.05 ← 9.75kV 그리고 15mm φ: 10.71 ← 10.5 ← 8.54kV 그리고 25mmφ: 10.46 ← 9.73 ← 7.9kV 로서 교류의 경우도 거의 같은 경향을 나타내었다. 결국, 곡률이 작을수록 AC, DC 절연과과 내전압이 증가됨을 알 수 있었다.

이유는 고온에서 바니시가 건조되면서 동도체의 열팽창계수와 유연성이 좋은 PAI 수지 및 PAI+나노실리카(15wt%) 충전 분산된 바니시가 이중층으로 코팅된 코일의 경우, 고온에서 유기용매와 같은 이물질이 빠져나가고 그리고 경화과정에서 열팽창계수 차이로 인한 계면결함이 발생된다. 그 결과 절연과과전압이 낮아지는 원인으로 작용될 것으로 사료된다. 몇몇 연구자[7]들은 인버터 회전기기에 대한 나노입자가 충전된 에나멜선의 바니시 여러 특성 중 PDIV (partial discharge inception voltage)화 되지는 않는다고 보고하였다. 마이크로크기 입자가 충전된 바니시 경우 최악의 결과 즉, PDIV는 낮아지고 그리고 절연수명은 매우 낮게 증가하고 그리고 결합력은 크게 감소하였다. Demura[8]의 경우, 전착시스템(electro-deposition)을 통한 각형코일의 절연에 폴리아미드를 적용한 결과, 높은 열적저항성과 전기적 절연과과 특성 향상은 층상절연두께 균일성 때문으로 보고하였다.

4. 결 론

고유연성을 갖는 PAI 바니시와 나노실리카15wt% 충전 분산된 바니시 각각을 도체에 이중층으로 절연코팅된 각형코일의 온도환경 조건에 따른 magnet wire 샘플이 제조되었고 그리고 제조된 각형코일 샘플에 대한 교류 및 직류절연과과 특성을 연구하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정전극은 평등전계를 가질 수 있는 IEEE규정에 의한 전극을 제조하였고, 각형코일의 절연과과 전압을 측정하기 위해 5회 코일을 감은 서스전극 지름의 변화 5, 15, 25mmφ에 따라 교류 및 직류 절연과과 전압을 측정하였다. 코일지름이 증가할수록 파괴전압은 낮고 반대로 코일지름이 감소할수록 높은 파괴전압을 나타내었다.

- 2. PAI원형 코일에서는 직류의 경우 교류 V_{max} 로 그러나 교류 V_{rms} 로 표현할 때, 이론과 실측이 거의 일치하였다. 그러나 나노실리카의 충전 분산 결과 직류의 경우 상대적으로 절연파괴 내전압이 증가된 결과를 얻었다.
- 3. T/D온도 조건 220°C, 240°C, 260°C 코일의 온도변화에 따른 절연파괴 온도특성에서 온도가 낮은 220°C에서 상대적으로 코일의 절연파괴 내전압이 증가됨을 알 수 있었다.

- [8] T. Demura; M. Fujii; Y. Miyashita; Win Maw Soe;S. Nakajima; T. Goshima, "Development of electro-deposition insulation for high heat-resistant magnet wire", Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, 2005. (ISEIM 2005). Volume: 3, Pages: 628~632, 2005

감사의 글

본 연구는 2014년 산업통상자원부 (MOTIE)의 지원 (20131020000130)에 의해 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

저 자 소 개

박 재 준 (Jae-Jun Park)

전기학회 논문지 62권 12호 참조

References

- [1] Hitoshi Okubo; Naoki Hayakawa; Gian Carlo Montanari, "Technical Development on Partial Discharge Measurement and Electrical Insulation Techniques for Low Voltage Motors Driven by Voltage Inverters", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume: 14, Issue: 6 Pages: 1516~1530, 2007
- [2] Hideyuki Kikuchi; Hidehito Hanawa, "Inverter surge resistant enameled wire with nanocomposite insulating material", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume: 19, Issue: 1, Pages: 99~106, 2012
- [3] E. Ildstad and S. R. Chalise, Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, p.85 (2009)
- [4] G. C. Stone, I. Culbert, E. A. Boulter and H. Dhirani, "Electrical Insulation for Rotating Machines. Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair" IEEE Press Series on Power Engineering (2004).
- [5] Indian Standard Winding Wires-Test Methods Part 5 Electrical Properties (First Revision) ICS 29.060.10 (2012).
- [6] Hideyuki Kikuchi; Hidehito Hanawa, "Inverter surge resistant enameled wire with nanocomposite insulating material", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume: 19, Issue: 1, Pages: 99~106, 2012
- [7] M. Q. Nguyen; D. Malec; D. Mary; P. Werynski; B. Gornicka; L. Therese; Ph. Guillot, "Investigations on dielectric properties of enameled wires with nanofilled varnish for rotating machines fed by inverters", 2009 IEEE Electrical Insulation Conference, Pages: 377~381, 2009