

에폭시 성형 점화코일의 인가전압에 따른 부분 방전 온도 의존성

신종열¹, 홍진웅^{2,a}

¹ 삼육대학교 카메카트로닉스학과

² 광운대학교 전기공학과

Temperature Dependence on the Partial Discharge of Epoxy Molding Ignition Coil According to Applied Voltage

Jong-Yeol Shin¹ and Jin-Woong Hong^{2,a}

¹ Department of Car-Mechatronics, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea

² Department of Electric Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

(Received December 18, 2014; Revised December 29, 2014; Accepted December 31, 2014)

Abstract: A gasoline engine automobile uses high voltage generation of the ignition coil, igniting and burning mixed fuel in the combustion chamber, which drives the engine. When the electronic control unit intermits a current supplied to the power transistor, counter electromotive force with a low voltage is generated by self induction action in the ignition primary coil and a high voltage is induced by mutual induction action with the primary ignition coil in the second ignition coil. The high voltage is supplied to the ignition plug in the combustion chamber, causing a spark, igniting the compressed mixed fuel. If a very small defect occurs inside the insulating material when a voltage is applied in said ignition coil, the performance of the insulation material will get worse and breakdown by a partial discharge of corona discharge. Thus, in this experiment, we are to contribute to improve the performance and ensure the reliability of the ignition coil by investigating partial discharge characteristics according to the change of voltage and temperature when a voltage is applied to the specimen of the epoxy molding ignition coil.

Keywords: Epoxy molding ignition coil, Partial discharge, Electronic control unit, Temperature dependence

1. 서 론

현대사회에서 자동차는 산업활동과 일상생활에 필수품으로 자리매김하여 사용되고 있으며, 에너지 및 환경 문제로 발전과 변화가 급속히 진행되고 있다.

그러나 아직도 화석 에너지를 사용하는 자동차가 주류를 이루고 있으며 사용 중에 부품 고장이 발생하기도 한다. 특히 자동차의 전장시스템은 열악한 환경과 부하의 증가로 피로현상과 과전류가 흘러 전기적인 고장을 유발할 수도 있다 [1,2]. 심장이 인체에서 매우 중요한 것처럼 자동차에서의 점화장치는 자동차 전장시스템의 핵심이 되는 중요한 변성장치이다 [3].

인체에서 심장이 멈추면 생명을 잃는 것처럼 가솔린 엔진 자동차의 점화장치는 엔진 작동에 매우 중요한 역할을 담당하며 엔진의 에너지 공급원이라 할 수 있

a. Corresponding author; calab@kw.ac.kr

다 [4]. 점화장치는 층간 절연 확보를 위하여 합성수지인 에폭시를 사용하며 요구되는 고전압으로 변성하여 사용되고 있다 [3,5]. 이러한 자동차의 점화코일을 구성하는 절연재료의 성능은 전기적 안정성에 크게 영향을 주므로 매우 중요하다. 따라서 절연재료에 대하여 분석 및 연구함으로써 열화 등으로 인한 절연 성능의 저하를 최소화하고 전기장치의 신뢰성 확보를 위한 관심 높아지고 있다 [6-8].

본 논문에서는 환경적인 문제점을 해결하고 크기를 소형화하며 기계적으로도 견고하고 안전하게 할 수 있는 에폭시 몰딩 점화코일을 시료로 선택하여 인가전압의 변화에 따른 온도 의존성에 의한 전기적 특성인 부분 방전을 고찰하고 부분 방전전류의 측정 온도별 전압 의존성을 확인하였다.

그 결과로 자동차의 점화코일은 주위의 영향을 받기 쉽고 열악한 환경에서 사용되어 시간과 더불어 노화되어 고장이 발생될 수 있으므로 부분 방전 특성 실험 데이터가 점화장치의 전기적 성능 진단에 활용되고, 나아가 데이터베이스화로 교환 또는 수리 시기를 예지하여 운행 중에 예상치 못한 고장을 피할 수 있고, 점화장치에서 발생 가능한 전기적 고장을 미연에 방지하여 안전 운행을 할 수 있다 [9-11]. 그리고 자동차 점화장치의 환경은 열악하기 때문에 본 논문에서는 광범위한 온도 변화에 따른 부분 방전 특성에 대하여 연구하였다. 따라서 점화코일의 절연성 확보를 위한 연구로 자동차 점화장치 중에서도 핵심이 되는 점화코일의 성능 향상과 신뢰성 확보에 중요한 역할이 기대된다.

2. 실험 방법

2.1 시료

시료는 전기적 특성이 우수한 에폭시로 K사 비스페놀 A형을 성형한 점화코일을 사용하였으며, 이 점화코일의 저항은 0.45Ω , 인덕턴스가 약 3.5 mH , 직경 0.65 mm 의 에나멜 구리선을 보빙에 감은 1차 코일에 저항이 약 $12.1 \text{ k}\Omega$, 인덕턴스가 약 36 H , 직경 0.05 mm 의 얇고 가는 에나멜 구리선을 수지 보빙에 감은 2차코일 안쪽에 넣은 후 규소강판 철심을 1차코일의 중앙을 지나게 하고 절연 특성이 우수한 에폭시로 제작한 점화코일을 시료로 사용하였다. 그림 1(a)는 에폭시 성형 점화코일이며, 그림 1(b)는 에폭시 성형하기 전의 점화 1차코일이고, 그림 1(c)는 성형 전 점화 2차코일이다.

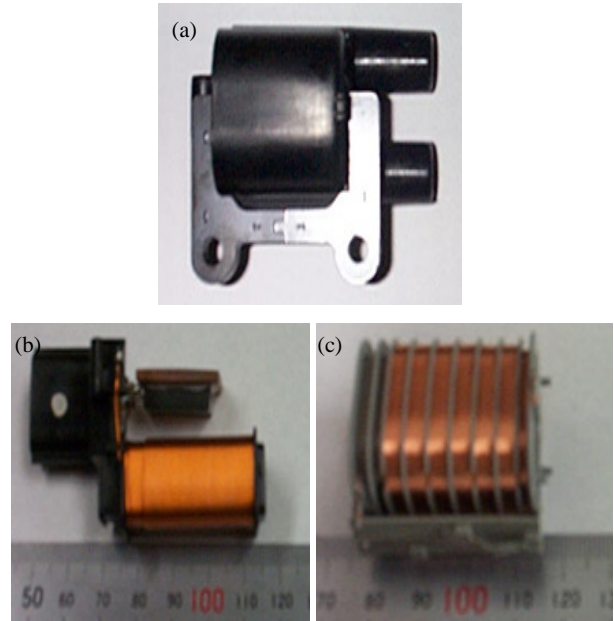


Fig. 1. Ignition coil. (a) epoxy molding ignition coil, (b) the 1st coil, and (c) 2nd coil.

2.2 실험

에폭시 성형 점화코일 시료의 부분 방전 특성인 $\Phi - q - n$ 분포를 고찰하기 위해 부분 방전 측정 장치에 AC 60 [Hz] 전압을 인가하여 방전 전하량을 측정하였다. 시료를 전극에 연결하고 전압인가 후 부분 방전 측정장치로 데이터를 즉시 acquisition하여 약 10초 동안 발생한 방전 전하량과 발생 빈도수를 위상별로 검출하고 데이터를 3차원 그래프로 작성하여 얻은 정보를 Matlab으로 프로그래밍하여 정확하고 정량적인 방전 전하량과 발생 빈도수를 얻었고, 부분 방전 전류를 측정하였다 [12].

3. 결과 및 고찰

에폭시 성형 점화코일의 전기적 특성의 온도 의존성을 연구하기 위하여 시료를 실리콘유에 함침하고 일정 시간 경과 후 상온에서 150°C 온도 범위까지 전압 $3 \text{ kV} \sim 8 \text{ kV}$ 를 인가하면서 부분 방전 특성을 실험하고 부분 방전 전류를 측정 온도별로 전압 의존성도 조사하였다.

3.1 상온의 전압 의존성

그림 2는 상온에서 에폭시 성형 점화코일의 전기적 특성을 조사하기 위하여 전압을 6 kV, 6.5 kV, 7 kV, 8 kV를 각각 인가하고 부분 방전 특성을 얻었다. 인가전압 5.5 kV 이하에서는 부분 방전이 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 그림 2(a)는 상온에서 인가전압 6 kV일 때의 Φ -q-n 특성으로 정극성 영역에서 위상 50° 부근에서 방전 전하량 765 pC, 방전 발생 빈도수 39를 얻었고, 부극성 영역에서는 위상 $220^\circ \sim 280^\circ$ 범위에서 방전 전하량 1,547 pC, 방전 발생 빈도수가 49를 얻었는데, 이는 시료에서 발생하는 부분 방전이 미약함을 나타낸다. 그림 2(b)는 같은 조건에서 인가전압 6.5 kV일 때의 Φ -q-n 특성으로 정극성에서는 $20^\circ \sim 75^\circ$ 와 105° 부근에서 2개의 부분 방전 특성이 나타나고 방전 전하량은 13,148 pC을 얻었다.

또한, 부극성에서도 2개의 영역 $210^\circ \sim 250^\circ$ 와 $275^\circ \sim 300^\circ$ 에서 방전 전하량 33,140 pC을 얻었다. 정극성의 최대 발생 빈도수는 작지만 총 발생 빈도수 412를 나타내며, 부극성은 최대 발생 빈도수도 크고 총 발생 빈도수가 960이므로 부극성의 방전 전하량이 정극성보다 2.3배 정도 큰데, 이것은 에폭시의 절연성이 우수하여 방전 전하량은 매우 적게 나타난 것으로 사료된다. 그림 2(c)는 인가전압 7 kV일 때의 부분 방전 특성으로 정극성에서는 방전 전하량의 분포 위상이 $0^\circ \sim 75^\circ$ 와 105° 부근으로 인가전압 6.5 kV일 때보다 분포가 넓어지며 부극성에서도 위상이 $180^\circ \sim 260^\circ$ 와 $275^\circ \sim 300^\circ$ 의 범위로 더 넓어진다. 그리고 방전 전하량은 정극성에서는 90,743 pC, 부극성에서는 152,880 pC을 각각 얻었다. 이것은 인가전압의 상승으로 위상 영역이 넓어졌기 때문으로 사료된다. 그림 2(d)는 인가전압 8 kV일 때의 부분 방전 특성을 나타낸 것으로 최대 발생 빈도수는 정극성이 부극성보다 많이 커 보이지만 전체 빈도수는 부극성이 더 크며 정극성에서의 방전 전하량은 437,630 pC이고, 부극성에서는 593,260 pC으로 부극성에서의 방전 전하량이 정극성에서 보다 35% 정도 커짐을 확인할 수 있다. 이것은 부극성에서 전자주입의 기여로 사료된다. 따라서 상온에서 에폭시 성형 점화코일의 부분 방전 특성을 조사한 결과, 같은 조건에서 인가전압이 높아지면 방전 전하량이 증가하고 위상각의 범위도 넓어짐을 확인하였다.

표 1은 상온에서의 에폭시 성형 점화코일의 부분 방전 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. PD characteristics at room temperature.

V [kV]	n		q [pC]	
	(+)	(-)	+q _{total}	-q _{total}
6.0	39	49	765	1,547
6.5	412	960	13,148	33,140
7.0	2,175	3,122	90,743	152,880
8.0	7,227	8,600	437,630	593,260

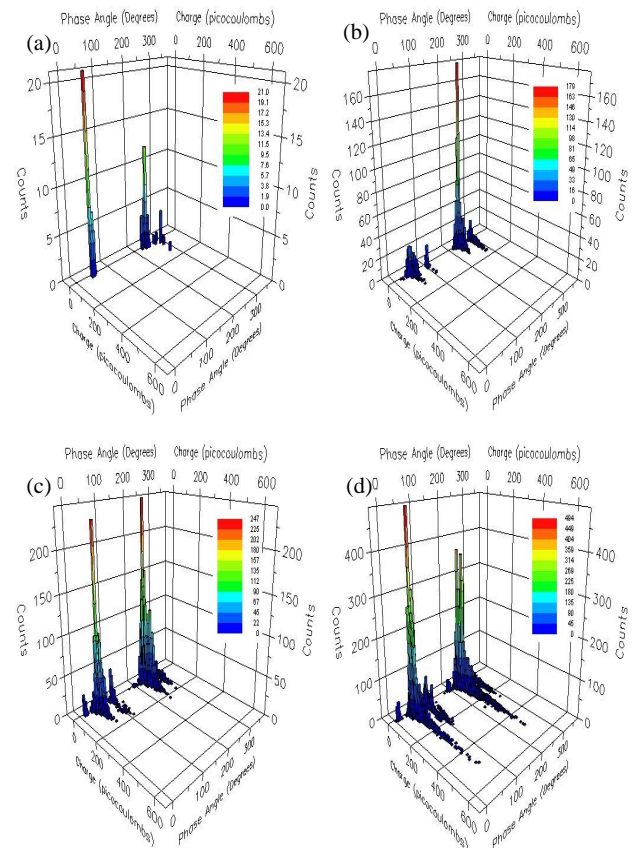


Fig. 2. Voltage dependence at room temperature. (a) 6.0 [kV], (b) 6.5 [kV], (c) 7 [kV], and (d) 8 [kV].

3.2 50°C의 전압 의존성

그림 3은 같은 조건으로 측정 온도 50°C에서 얻은 Φ -q-n의 분포도로, 인가전압 5 kV 미만에서는 부분 방전이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 그림 3(a)는 인가전압 5 kV에서의 Φ -q-n 특성으로 정극성에서는 위상각 $50^\circ \sim 80^\circ$ 와 105° 부근에서 방전 전하량 848 pC이 나타났고, 부극성에서는 $225^\circ \sim 250^\circ$

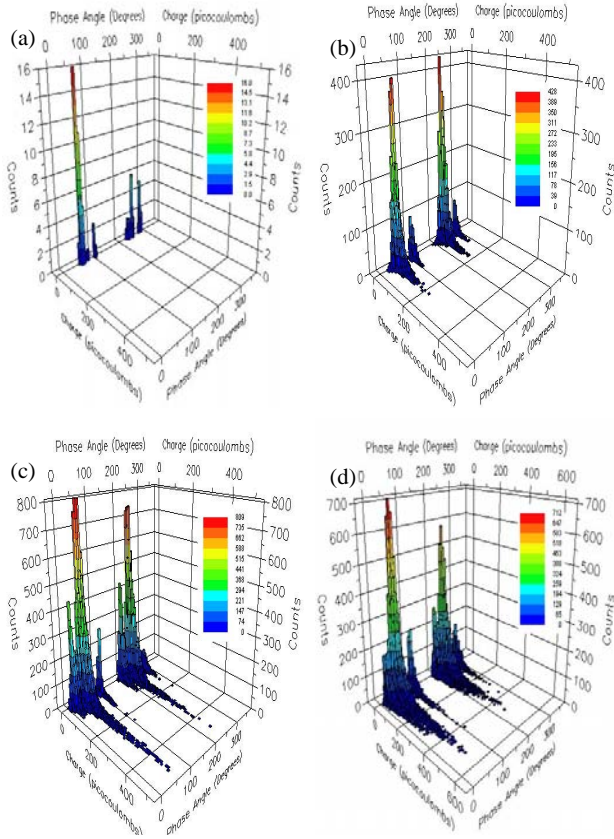


Fig. 3. Voltage dependence at 50°C. (a) 5 [kV], (b) 6 [kV], (c) 7 [kV], and (d) 8 [kV].

Table 2. PD characteristics at 50°C.

V [kV]	n		q [pC]	
	(+)	(-)	+Q _{total}	-Q _{total}
5.0	47	24	848	424
6.0	6,315	6,109	203,432	183,560
7.0	20,537	21,193	891,032	961,040
8.0	26,253	26,025	1,451,300	1,432,200

범위와 280° 부근에서 방전 전하량 424 pC이 나타났으나, 에폭시의 절연성이 우수하여 부분 방전은 미약하게 나타남을 확인할 수 있었다. 그림 3(b)는 같은 조건에서 인가전압 6 kV일 때 부분 방전으로 정극성은 20°~80°와 105°의 위상 범위 부근에서 2개의 영역에서 나타나며 방전 전하량은 203,432 pC을 얻었다. 부극성에서도 190°~260°와 265°~300°의 2개의 영역에서 방전 전하량 183,560 pC을 얻었는데 이것은 측정 온도가 50°C로 높아지므로 최대 발생 빈도수는 부극성이 약간 높게 나타나지만, 총 발생 빈도수는 정극성에서

6,315이고, 부극성에서는 6,109이므로 방전 전하량은 정극성에서 다소 높게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 인가전압 7 kV일 때의 부분 방전 특성을 나타낸 것으로 최대 발생 빈도수는 정극성이 부극성보다 약간 크지만 총 발생 빈도수는 부극성이 약간 크고 방전 전하량도 부극성이 정극성보다 7% 정도 큰 것을 확인할 수 있다. 그림 3(d)는 인가전압 8 kV에서의 부분 방전 특성으로 최대 발생 빈도수는 정극성과 부극성이 비슷하고 방전 전하량도 정극성과 부극성이 거의 같게 나타나고 있다. 따라서 측정 온도 50°C에서 에폭시 성형 점화코일의 부분 방전 특성을 조사한 결과, 같은 조건에서 인가전압이 높아지면 방전 전하량은 증가하며 부분 방전의 위상 범위도 넓어짐을 확인할 수 있다.

표 2는 50°C에서의 인가전압에 따른 부분 방전 특성을 정리한 것이다.

3.3 120°C의 전압 의존성

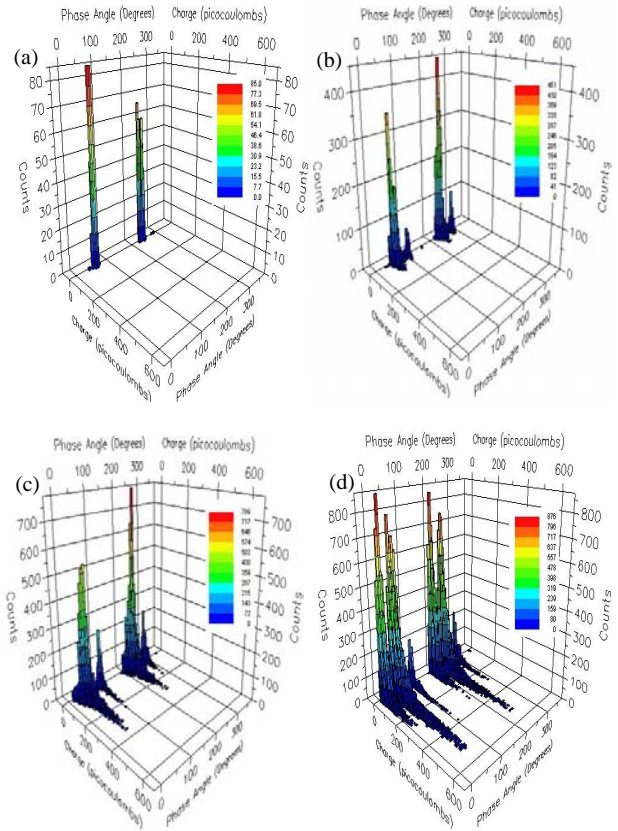


Fig. 4. Voltage dependence at 120°C. (a) 4 [kV], (b) 5 [kV], (c) 6 [kV], and (d) 8 [kV].

Table 3. PD characteristics at 120°C.

V [kV]	n		q [pC]	
	(+)	(-)	+q _{total}	-q _{total}
4.0	273	380	6,333	7,816
5.0	2,853	3,726	98,071	114,440
6.0	12,086	14,990	621,870	719,340
8.0	37,212	37,620	2,499,400	2,348,700

그림 4는 같은 조건에서 같은 방법으로 측정 온도 120°C에서 인가전압에 의한 부분 방전을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 인가전압 4 kV에서 부분 방전 특성을 나타낸 것으로 정극성에서는 위상각 40°~75° 범위에서 6,333 pC의 방전 전하량을 얻었고, 부극성에서는 225°~250° 범위에서 7,816 pC의 매우 적은 방전 전하량을 얻었다. 이것은 에폭시의 절연 성능이 우수하기 때문에 사료된다. 또한 그림 4(b)는 인가전압 5 kV일 때 부분 방전 특성으로 정극성은 위상각 25°~115° 범위와 아주 극히 미세하지만, 160° 부근에서 $\phi-q-n$ 의 분포를 보이고 있으며 방전 전하량은 98,071 pC, 발생 빈도수 2,853을 얻었고, 부극성에서도 2개의 영역으로 범위가 넓어지고 방전 전하량 114,440 pC, 발생 빈도수 3,726을 나타내고 있다.

따라서 부극성이 최대 발생 빈도수도 높을 뿐만 아니라 총 발생 빈도수도 크게 나타나고 방전 전하량도 부극성이 정극성보다 16% 증가됨을 확인하였다. 그림 4(c)는 인가전압 6 kV때의 부분 방전 특성으로 방전 전하량은 5 kV에 비하여 매우 커지고 위상도 넓게 분포하며 최대 발생 빈도수는 부극성이 정극성보다 크다. 또한 그림 4(d)는 인가전압 8 kV에서의 부분 방전 특성인 $\phi-q-n$ 분포도로서 정극성에서는 방전 전하량은 거의 비슷하게 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 측정 온도 120°C에서는 에폭시 성형 정확코일의 $\phi-q-n$ 분포에서 인가전압이 높아지면 방전 전하량과 발생 빈도수는 선형적으로 증가하고 위상 범위도 넓어짐을 확인하였고, 이상을 정리하면 표 3과 같다.

3.4 150°C의 전압 의존성

그림 5는 측정 온도 150°C에서 인가전압 4 kV~8 kV의 $\phi-q-n$ 분포도이다. 측정 온도 150°C에서는 120°C 이하에서와 다른 양상을 보인다. 이것은 유리전이온도(Tg)가 120°C이므로 측정 온도가 유리전이온도 이상이 됨으로써 새로운 물성 변화가 일어나고, 2차

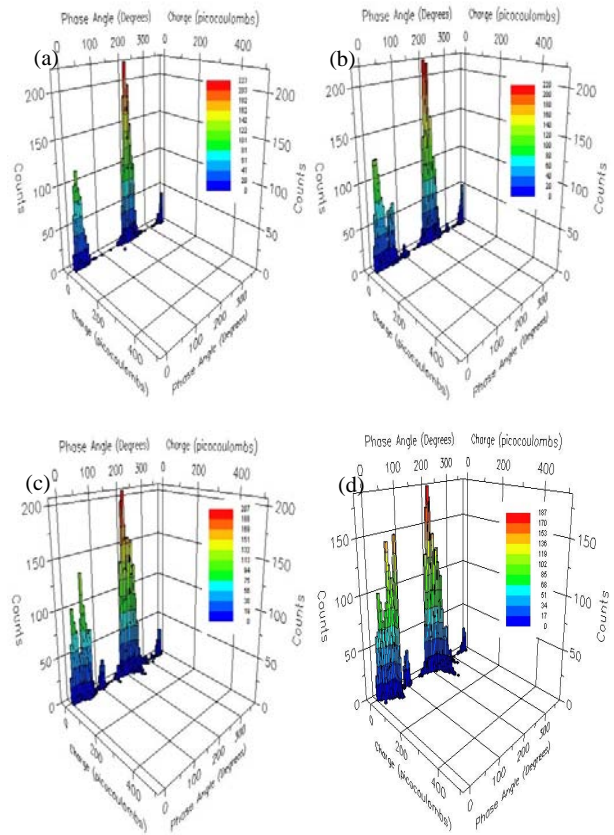


Fig. 5. Voltage dependence at 150°C. (a) 4 [kV], (b) 5 [kV], (c) 6 [kV], and (d) 8 [kV].

Table 4. PD characteristics at 150°C.

V [kV]	n		q [pC]	
	(+)	(-)	+q _{total}	-q _{total}
4.0	668	1,613	10,515	25,660
5.0	1,209	1,927	21,968	33,008
6.0	1,620	2,704	31,491	54,412
8.0	9,724	9,236	363,220	346,380

경화온도인 140°C를 초과하면서 시료 내의 미가교 부분의 가교로 인하여 가교밀도의 증가로 고무상이 유리상으로 변화되어 전기 절연성이 우수해지면서 전자의 이동을 방해하므로 비교적 안정되고 낮은 방전 전하량을 얻는 것으로 사료된다. 또한 인가전압이 높아지면 위상 범위도 전반적으로 더 넓어지는 경향을 확인할 수 있다. 그림 5(a)는 인가전압 4 kV일 때 부분 방전 특성이 위상 범위 전체 영역에서 비교적 낮게 나타난

다. 정극성의 방전 전하량은 10,515 pC, 부극성은 25,666 pC을 나타내고 있으므로 부극성이 정극성보다 144% 정도 증가됨을 확인할 수 있다. 그림 5(b)는 인가전압 5 kV일 때의 부분 방전 특성으로 전체 영역에서 검출되고 있다. 정극성에서는 발생 빈도수 1,209와 방전 전하량 21,968 pC을 나타내고, 부극성에서는 발생 빈도수 1,927와 방전 전하량 33,008 pC을 나타내므로 부극성에서의 방전 전하량이 정극성에서 보다 약간 크게 나타난다. 그림 5(c)는 인가전압 6 kV일 경우의 부분 방전 특성으로 역시 전 영역에서 검출되고 있으며, 인가전압 상승에 의한 전자의 기여로 5 kV에 비하여 발생 빈도수는 약 38%, 방전 전하량은 56% 커짐을 확인하였다. 그리고 그림 5(d)는 인가전압 8 kV일 때 부분 방전을 나타낸 것으로 방전 전하량은 넓은 영역에서 검출되고 있으며, 발생 빈도수는 상온의 특성보다 약 20% 크지만, 방전 전하량은 상온의 69%이다. 이것은 최대 방전 전하량이 상온에 비하여 매우 적기 때문으로 사료되며, 이상을 정리하면 표 4와 같다.

3.5 부분 방전전류의 전압 의존성

그림 6은 상온에서 150°C 범위까지 에폭시 성형 점화코일의 부분 방전전류의 측정 온도별 전압 의존성을 나타낸 것으로 인가전압 4 kV 미만에서는 부분 방전전류가 흐르지 않았다.

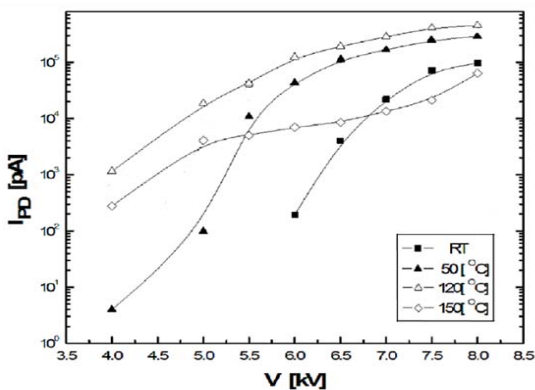


Fig. 6. Voltage dependence of PD current by measuring temperature.

상온에서 방전 개시전압은 6.0 kV로 방전 전하량은 매우 적으며, 측정 온도가 50°C 이상이 되면 방전 개시

전압은 4 kV 이상으로 확인되었고 측정 온도가 120°C로 높아지면 부분 방전전류는 증가하나 측정 온도가 150°C로 높아지면 2차 경화온도 이상이 되어 가교로 밀도가 증가하므로 부분 방전전류는 약 290 pA로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

특히, 방전전류의 전압 의존성은 방전개시 후 급하게 증가하다가 포화되는 특성을 나타내고, 150°C에서는 부분 방전전류가 매우 완만하게 증가함을 확인할 수 있었다. 이것은 성형 에폭시의 절연성이 매우 우수하여 낮은 전압에서는 부분 방전이 발생하지 않고 유리전이온도 이하 영역에서 온도가 높아지면 온도 상승에 따른 도전성의 증가로 방전전류가 커지는 것으로 사료된다.

4. 결론

에폭시 성형 점화코일의 인가전압에 따른 부분 방전의 온도 의존성을 조사하기 위하여 부분 방전 특성을 연구한 결과 측정 온도 50 °C 이하 영역에서 부분 방전 특성은 인가전압이 높아지면 방전 전하량이 증가하고 위상각 범위도 넓어짐을 확인하였다.

또한 측정 온도 120°C에서는 에폭시 성형 점화코일의 $\phi-q-n$ 분포가 인가전압이 높아지면 방전 전하량과 발생 빈도수는 선형적으로 증가하고 위상 범위도 넓어짐을 확인하였다. 그리고 측정 온도 150°C에서는 유리전이온도(Tg) 120°C 이상이 됨으로써 새로운 물성 변화가 일어나고, 2차 경화온도인 140°C를 초과하면서 시료 내의 미가교 부분의 가교로 인하여 가교밀도의 증가로 고무상이 유리상으로 변화되어 우수한 전기 절연성이 나타나면서 전자의 이동을 방해하므로 비교적 안정된 낮은 방전 전하량을 얻었다. 부분 방전전류는 상온에서 6.0 kV, 50°C 이상에서는 약 4.0 kV에서 방전이 개시된 후 급증하다가 포화됨을 확인할 수 있고, 150°C에서는 성형 에폭시의 절연성이 매우 우수하여 부분 방전전류가 매우 완만하게 증가함을 확인하였으며, 유리전이온도 이하 영역에서는 온도 상승에 따른 도전성의 증가로 부분 방전전류가 커짐을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] S. Isobe, *Japanese Standards Association* (1989) p.

- 191.
- [2] W. S. Yoo and M. S. Bae, *KSAE*, **I**, 569 (1996).
- [3] J. D. Halderman, C. D. Mitchell, and Jr., C. W. Glassman, *Advanced Engine Performance Diagnosis* (Pearson Education, Inc., 2002) p. 160.
- [4] B. Hollembeak, *Automotive Electricity, Electronics & Computer Controls* (Delmar Publishers, 1999) p. 331.
- [5] H. Decker, *Gasoline-engine Management* (Robert Bosch GmbH, 1999) p. 554.
- [6] J. Y. Shin, H. D. Park, K. J. Choi, K. W. Lee, J. Y. Lee, and J. W. Hong, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **10**, 97 (2009).
- [7] Y. Ehara, M. Yamamori, H. Kishida, and T. Ito, *Proc. of ICMEP-ACEID, IEEE*, 148 (2003).
- [8] Y. Tian, P. L. Lewin, and A. E. Davies, *Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (Boston, MA USA, 2002) p. 119.
- [9] E. Gulski, *IEE Proc. of Sci. Meas. Technol.*, **142**, 51 (1995).
- [10] M. Mukai, T. Okano, M. Kawakami, S. Nishimoto, I. Kitani, and K. Aril, *Proc. of the 4th International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials* (Brisbane Australia, 1994) p. 614.
- [11] H. I. Chikawa, F. Komon, M. Hikita, T. Mizutani, and K. Uchida, *7th International Symposium on High Voltage Engineering*, 60 (1993).
- [12] J. Y. Shin, B. C. Ahn, and J. W. Hong, *J. KIEEME*, **1**, 28 (2015).