

송배전용 COMPOSITE INSULATOR 개발 동향

기술해설-1

Development Trend of Composite Insulator for Distribution and Transmission Lines

강 동 필*
(Dong-Pil Kang)

Key words(중요용어) : Silicone rubber shed(실리콘 고무 shed), Hydrophobicity(발수성), Flashover(섬락)

1. 서 론

기존의 초고압 옥외절연물은 세라믹을 소재로 한 porcelain이었지만 최근 신소재기술의 발달로 내열성, 내후성, 내트래킹성 등이 우수한 고분자재료들이 개발됨에 따라 구미 선진국을 중심으로 이들의 전기절연물분야 적용이 크게 증가하고 있다.

인발(pultrusion)공법으로 glass fiber와 수지를 결합시켜 고강도 무결점의 FRP절연봉이나 tube를 만들 수가 있다. 절연물에서 요구되는 구조재로서의 기계적 특성은 FRP복합재료가 충족시킬 수 있는데 이러한 봉을 core재로 하여 절연물의 표면진기특성을 만족하도록 고무로 된 shed를 씌우고 양쪽 끝에 금구류를 부착하여 composite insulator를 만들 수가 있다. composite insulator는 여러 개의 shed를 한번에 진공사출하거나 shed를 금형에서 찍어 조립하여 제작할 수가 있는데 지금까지 검토되어 온 어떤 고분자 절연물보다 특성이 우수하고 장점이 많기 때문에 상업적 가치를 인정받고 있다.

본고에서는 옥외용 절연물의 절연성능과 섬락사고기구 고기구를 요약하고 고분자신소재 절연물인 composite insulator의 장점, 국내의 개발현황, 평가방법 등을 정리하였다.

2. 옥외용 절연물의 절연성능과 섬락사고기구

절연물의 절연 성능에 영향을 주는 인자들은 절연물의 형상, 오손물질의 종류와 오손도, 절연물의 표면재질, 표면에서 오손액(물)의 퍼짐성(또는 젖음성) 등 다양하다.

절연물의 표면을 통하여 흐르는 누설전류값은 표면이 건조할 때와 젖어 있을 때가 크게 다르므로 사용 중인 절연물의 섬락사고에는 오손물질과 물이 결정적으로 기여를 한다. 오손물질의 종류나 오손정도에 따라 다르지만 오손이 심할 수록 건조상태에서의 누설전류값에 비하여 젖은 상태에서의 누설전류값이 훨씬 크게 증가하므로 표면의 젖음성(wettability)이 매우 중요하다.

절연물 표면에서 물의 형상은 표면의 재질에 따라서 필름형태로 퍼지기도 하고 drop형태로 뭉치기도 한다. 물의 표면에너지는 73 dyne/cm로서 porcelain이나 glass재질의 표면에너지보다는 작고 유기 고분자의 표면에너지보다는 크다. 따라서

porcelain 표면에 있는 물은 얇게 퍼지며 고분자 표면에서의 물은 drop형태로 뭉친다.

젖음성의 정도는 일반적으로 접촉각을 측정하여 나타낸다. 고분자 물질의 표면에너지는 대부분 물보다 낮아 그 표면에 있는 물은 drop 형태로 존재하는데 고분자 물질의 종류에 따라서도 표면에너지값이 다르므로 접촉각도 다르다. 절연물과 관련된 고분자 재료들의 표면에너지를 표 1에 정리하였다.

표 1. 절연물과 관련된 고분자물질들의 surface energy

Table 1. Surface energy of materials related to insulator.

Materials	Surface Energy(dynes/cm)
H ₂ O	73
General polymers	30~60
Epoxy	34~46
EPDM	34
EP rubber	33
PE, PP	32
Teflon	23
Organic liquids	20~40
Silicone(PDMS)	20~23
Silicone fluid	17~19
gases	0~10

오손 물질이 표면에 축적된 후 가랑비나 안개(특히 농무) 등에 의해 습윤 상태로 바뀌면 오손물질 중에서 수용성인 것은 용해되어 도전성 용액을 만들기 때문에 표면누설 전류가 크게 증가하게 된다. 이럴 경우 도체가 유체이므로 절연물 표면의 전계 분포가 일정하지 않으며 전류의 주출열에 의해 표면에 수많은 국부 건조대를 형성한다. 이 때 건조대의 짧은 양단에 큰 전압이 걸리므로 방전이 수반되면서 절연물 표면 재질의 열화와 더불어 절연내력이 점점 저하된다. 방전 크기는 오손정도, 물의 기여 조건, 표면재질 등에도 영향을 받지만 건조대의 크기에 따라 부분방전, 미소불꽃방전, 아크방전 등으로 증가하는데 방전수나 방전크기의 증

가로 절연물 표면의 절연내력이 양극간의 전위차를 견디지 못할 때 섬락(flashover)으로 이어진다. 건조대에 의한 방전의 발생은 전계 강도, 절연물 형상, 오손 상태(오손 조건, 오손물질 종류) 등에 의존하지만 누설전류의 증가로부터 시작되는 일련의 과정은 절연물의 재료특성에 더욱 많이 의존하는 것으로 볼 수가 있다. composite insulator shed 소재의 열화는 그림 1과 같이 여러 단계를 거쳐서 진행되는 것으로 본다.

절연물에서 요구되는 절연내력을 만족시키기 위해서는 기본적으로 충분한 누설거리가 필요하지만, 현장에서 사용 중에 열화와 오손으로 인하여 절연물의 절연내력이 크게 떨어지기 때문에 절연물의 설계와 전체적인 크기의 결정은 쉬운 일이 아니며, 실제통에서 이와 관련된 절연물의 사고는 빈번히 일어나고 있다.

같은 누설거리를 가진 porcelain과 실리콘 고무 composite insulator를 인공오손시킨 뒤 fog density에 따라 파괴까지의 절연내력을 측정할 결과에 의하면 실리콘 고무 insulator가 훨씬 낮은 표면누설값을 보이며, 2배나 높은 절연내력을 가지는 것으로 보고된 바 있다.1) 특히 오손된 절연물 표면이 습윤되어 누설전류가 증가하여 사고로 진행되는 옥외절연물의 문제점에 있어서 composite insulator는 porcelain보다 단연 우수하다.

3. composite insulator의 장점

절연물의 소재가 세라믹에서 고분자 복합재료로 바뀌면서 재료특성에서 생기는 장점은 아래와 같다.

- a. 기계적 강도 우수(인장강도는 자기철의 2배, 충격강도는 5배)
- b. 무게가 porcelain의 15 % 정도에 불과하므로 생산, 보관, 운반, 설치 등이 용이함. 선진국이 될 수록 경과지가 산악 및 해안 지역이 될 수밖에 없고 인건비가 높아지므로 철탑 하나에 수 ton의 절연물이 설치되는 것을 감안하면 매우 큰 장점이다. 충격강도가 우수하여 운반 및 설치시 취급이 용이한 것은 더욱 유리한 인자가 된다.
- c. 고분자 성형용 기계설비가 발전하여 2일 정도에 완제품 제조가 가능하며, 우수한 생산성과 생산시 에너지 소모가 적어 가격이 저렴하다. 특히 송전급의 대형절연물은 제조상의 장점 때문에 porcelain에 비해 훨씬 싸다.
- d. 설계 가변성이 우수하다. 내용격성이 좋은 고무와 고강도 FRP rod를 사용함으로써 shed는 얇고 core는 가늘게 제작이 가능하여 소형이면서 누설거리가 큰 절연물 제작이 가능하다.
- e. 재질의 특성상 폭발하지 않으므로 절연물 사고시 파편의 비산으로 인한 전력설비의 2차 사고를 유발시키지도 않는다.
- f. shed재질의 발수성으로 인하여 오손환경에서도 절연특성이 우수하다.

composite insulator에 있어서 우려되는 대표적

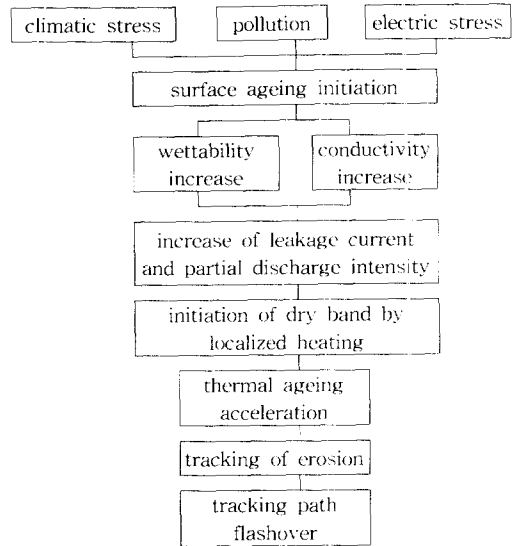


그림 1. composite insulator shed의 열화진행과정
Fig. 1. Aging processes of composite insulator shed.

인 단점 중에 하나는 고무로 된 shed소재의 화학적 안정성에 관한 문제이다. 탄소를 근간으로 하고 있는 유기계고무는 300℃ 근처에서 열분해되기 시작하며 분자구조에 따라 내성이 크게 다르기는 하지만 자외선에 의해서 광분해도 일어난다. 그런가 하면 옥외절연물은 사용 중에 표면이 오손되기 마련인데 적절한 수분조건이 되면 표면으로 누설전류가 증가하여 방전과 함께 tracking이 발생한다. 이와 같은 복합적인 원인에 의해 표면의 재질변화가 수반되면 절연물의 절연능력이 떨어지게 되는데 20~30년 이후의 절연성능저하가 어느 정도 될 것인가에 대한 확신이 적었기 때문에 그 동안 사용에 소극적인 것도 사실이었다. shed용 소재인 고무는 여러 가지 보강제나 첨가제를 혼합하여 기본수지의 단점을 크게 보완할 수 있지만 현재 상업화된 많은 고무 중 화학적 안정성에서 옥외절연물 shed용 소재로 믿을 만한 것은 흔하지 않다. 그동안 안정성면에서 기대되는 EPDM(EPR)이나 silicone 고무가 대상소재로 거론되고 평가되어 왔다.2)

실리콘 고무의 발수성 연구는 장시간 필드 열화 및 단시간 강제 열화 조건하에서 광범위하게 연구되어 왔다. 주로 전기적 방전에 의해 약간의 재질변화와 발수성 저하가 관찰되었지만 다른 고분자와는 달리 실리콘 고무 표면의 발수성은 장시간 열화 및 오손된 상태에서도 잘 유지되었다. 이와 같은 현상은 분자량이 작은 실리콘 고분자(oil, fluid, lubricant)가 재질 내부로부터 표면으로 이동하여 나와서(이것을 diffusion 또는 migration 이라고 하며 실리콘 고무보다 표면에너지가 낮은 실리콘

큰 fluid가 표면에너지가 더 낮은 공기와 접하는 계면으로 이동하는 자발적 현상) 표면의 오염물질을 embedding(wetting 또는 encapsulation)하므로 물에 직접 노출되는 표면의 오염물질이 실리콘 fluid(실리콘 고무보다 표면에너지가 더 낮음: 18 dyne/cm)로 젖어 있기 때문에 겉보기로 오손되어 있어도 접촉각은 더 큰 값을 보인다. 즉 실리콘 고무는 발수성의 동적 회복능력(dynamic recovery ability)이 우수하다고 말할 수 있다.3~5) 실제로 9년 동안 필드에 설치해 두었던 제품을 수거하여 24, 48, 144 시간 동안 강제로 코로나 방전을 시킨 뒤 경과시간에 따른 접촉각 변화를 측정한 실험 결과에 의하면, 방전시간에 따라 상당한 접촉각 감소가 관찰되었으나 자연 방치한 시간과 더불어 접촉각이 증가하여 수십 시간 이후에는 거의 초기의 접촉각까지 회복하는 특성을 보였다.

옥외 고전압 절연물은 전기적 stress가 늘 가해지고 있는 상태이고 오손물질의 누적과 자연세정이 반복되고 있는가 하면, 비나 안개의 형태로 물이 부정기적으로 표면을 적시는 환경에 놓여 있다. 특히 오손물질이 수용성 염(NaCl, CaCl₂ 등)이거나 바닷물에 직접 노출되는 환경이면 트래킹이 전혀 일어나지 않을 수는 없다. 이러한 상황에서 실리콘 고무가 우수한 발수성을 보이고 저하된 발수성을 쉽게 회복하며 오손환경에서도 수십년간 우수한 발수성을 유지하는 것은 실리콘 고분자의 사슬이 유연하여 저분자성 실리콘 fluid가 유동성을 가지며 (실리콘 fluid의 분자량은 수백에서 수천정도임) 상온은 물론 고온에서도 쉽게 휘발되지 않는 특성을 가지고 있기 때문이다. 즉 실리콘 고무가 절연 재료로서의 우수한 특성을 잘 유지한다는 것은 실리콘 고무의 특이한 여러 가지 물성이 절연물의 열악한 사용 환경에 대한 내성으로 잘 조화를 이루고 있기 때문이다. 실리콘고무로 된 composite insulator는 장기특성과 관련된 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

a. 오염 표면에 물이 존재하면 누설전류가 급격히 증가하는데 이 때 방전으로 발생된 열에 의해 표면의 소재가 열화된다. 실리콘 고무는 낮은 표면에너지 때문에 발수성이 좋아 같은 오손환경에서도 누설전류값이 낮으므로 방전이 적게 일어난다.

b. 방전이 수반되어 열이 발생되어도 실리콘 고무는 주사슬이 무기결합이므로 내열성이 우수하여 유기계의 고무보다는 재질열화가 아주 적게 일어난다.

c. 열화가 진행되어 화학결합의 분해가 수반된다 하여도 생성된 부산물은 절연성이 우수한 SiO₂이므로 절연성능의 저하는 크게 일어나지 않으며 tracking도 잘 일어나지 않는다.

d. 사용 중의 절연물 표면이 오염이 되든지 열화 부산물인 SiO₂가 표면에 노출되어도 실리콘 fluid에 의해 오염물질이 encapsulation된 상태로 존재하기 때문에 항상 좋은 발수성이 유지된다. 즉 부분방전이나 flashover로 표면이 hydrophilic하게 되

어도 곧 발수성 회복이 일어나며 이와 같은 발수성 회복의 동적 특성은 수십년간 잘 유지된다.

장기간 사용 중 오염과 열화가 수반되는 상황에서 발수성이 어떻게 변할 것인가 하는 것은 절연물의 장기적인 신뢰성과 밀접한 관계가 있다. 많은 고분자들 중에서 실리콘고무만이 심한 오손상태에서도 표면발수성을 잘 유지하여 현재까지 알려진 가장 우수한 shed용 소재로 인정되고 있다.

4. 국내외 composite insulator의 개발현황

유럽은 1970년 그리고 미국은 1975년부터 composite insulator를 상업화하기 시작하여 20년 이상 field에서 사용하고 있으며 장기신뢰성이 좋게 평가되고 있어 사용량이 꾸준히 증가하고 있다. 신소재 composite insulator의 사용은 현재 선진국이 주도해 가고 있는데 추후 전망은 다음과 같다.

a. 배전급은 composite insulator로 거의 대체되어 갈 것으로 예상된다.

b. 송전전압의 승압에 따른 절연물의 대형화는 필연적일 수밖에 없는데 제작의 용이성, 우수한 특

표 2. 국외 옥외 절연물 제조회사
Table 2. Foreign companies producing outdoor composite insulator.

회사명	소재지	shed 소재 / 절연물	비고
Lapp Co	Le Roy, New York, U.S.A.	EDPM, 실리콘 고무 / 고분자 arrestor, 송배전용 절연물	1976년 생산 시작
Ohio Brass	Masusfield, Ohio U.S.A.	EP 고무, 실리콘 고무 / 고분자 arrestor, 송배전용 절연물	1976년 생산 시작 1976년 시설 증설
Sediver Inc.	York, South Carolina, U.S.A./ France	EPDM/송배전용 절연물	1976년 생산 시작
Reliable	Chicago, U.S.A.	EPDM, 실리콘 고무 / 송배전용 절연물	1976년 생산 시작 1976년 시설 증설
NGK	Baltimore, Maryland, U.S.A.	EPDM/송배전용 절연물	1980년 생산 시작
A.B.Chance	U.S.A	송배전용 절연물	
Salisbury	U.S.A	송배전용 절연물	
Ceram Tech.	Germany	송배전용 절연물	
Furukawa Electric composite insulator	Hungary Budapest, Kesmark u. 24-28	송배전용 절연물	1986년 생산

성, 저렴한 가격 등이 잘 일치하여 송전급의 사용도 점진적으로 증가될 것이다.

c. 다양한 형태의 composite arrester도 선진국을 중심으로 활발히 개발되고 있다.

d. 초고압 bushing도 composite로 제조하면 장점이 많기 때문에 1990년을 기점으로 적용이 늘고 있다.

특히, 우리나라는 배전전압이 높고 해안공단이 많아 내오손성이 좋은 composite insulator를 사용하는 것이 좋다. 이러한 특성을 지닌 composite

insulator를 만드는 국내외회사들을 표 2와 표 3에 나타내었다.

절연물용 고분자소재 중 옥외용일 경우 여러 가지 경화성수지들을 사용하여 polymer concrete 절연물을 만들 수가 있다. 그러나 옥외용일 경우 거의 composite insulator이며 shed소재의 장기특성에 대한 논란은 지금도 계속되고 있지만 최근 실리콘 고무소재가 우수한 것으로 판명되고 있어 신규시설은 거의 실리콘 고무 composite insulator 제조용으로 투자되고 있다.

표 3. 국내 composite insulator 및 concrete insulator를 개발 중이거나 생산하고 있는 회사

Table 3. Domestic companies which are manufacturing or on delvelopment.

Insulators	Materials	Related Co.	Remarks	
Outdoor Composite Insulator	Silicone rubber	LG Cable Co. Bo Sung Electric Co. Che Ryong Industrial Co. Shin-A Electric Ind. Co. Kun Hwa Electric Ind. Co. Kyung Dong Electric Co.	on development	
		EPDM rubber	Pyung Il Industrial Co.	on development
		Cycloaliphatic epoxy	Tong Yang Nylon Co. Morgan Korea Ltd.	on development
Indoor Post Insulator	Epoxy compound	Hanil Electric Sources Ind. Co. Kyung Dong Electric Co.	manufacturing	
	UPE compound	Kwang Myung Electric Ind. Co.	manufacturing	
Indoor Bushing	Epoxy compound	Hanil Electric Sources Ind. Co.	manufacturing	
	UPE compound	Kwang Myung Electric Ind. Co.	manufacturing	
Cable head	Silicone rubber	Kyung Dong Electric Co. LG Cable Co.	manufacturing	
	EPDM rubber	Pyung Il Industrial Co.	manufacturing	

5. 옥외용 composite insulator의 평가

모든 중전기 제품은 시험규격에 준하여 성능시험을 받아야만 된다. composite insulator와 관련된 시험규격은 1989년 제정된 ANSI C29.11-1989와 1992년 제정된 IEC 1109 등의 국제규격이 있고 한편의 구매사양도 제정되어 있는데 시험항목을 정리하면 표 4와 같다.

5.1 단기시험

표 4에서 알 수 있는 바와 같이 composite insulator의 평가를 위한 시험들이 대부분 단기시험이며 소재의 절연특성이 우수하여 composite insulator는 이들 시험을 대체로 잘 만족시킨다.

5.2 장기시험

제품의 신뢰성과 관련된 장기특성은 shed재질의 표면열화에 기인한 절연특성저하나 기계적 failure에 지배된다. 고무소재의 종류와 복합화 기술에 따라 크게 다르기는 하지만, shed의 화학적 안정성과 내트래킹성이 완벽할 수가 없을 뿐만 아니라 성형 기술과 제조방법에 지배되는 이종소재간의 계면상태에 따라서도 장기특성은 상당히 차이가 날 수 있다. 그러므로 자연 환경과 전기적 스트레스하에서 고분자의 열화 mechanism의 이해와 함께 단기간에 제품의 장기수명을 예측할수 있는 가속열화 평가시험법의 개발이 필요하다. 평가를 위한 시험기간이 6개월이상을 초과해도 비현실적이고 열화조건이 지나치면 현장에서 30년이 지나도 일어나지 않을 변화를 유발시킬 수가 있기 때문에 세심한 주의를 필요로 한다.

시간이 흐른 뒤에 나타나는 경년열화 특성을 초기의 규격 시험으로 규정하여 평가하는 것은 쉬운 일이 아니다. 통상적으로 재료에 대한 경년열화 특성은 모의(simulation)를 통해 그 평가방법을 찾고 있는데 평가에 허용된 단기간에 신뢰성 있는 예측 결과를 얻을 수 있는 평가 방법이 요구되고 있다.

사용 중에 성능저하에 영향을 주는 인자로는 자외선, 비(염수), 열, 과전, 하중 등이 있는데 이들 인자를 인위적으로 조작하여 빠른 시간에 열화가 일어나도록 해야 한다. 대개 하중과 과전은 항상 가해져 있고 자외선, 염수, 건조, 온도 등은 주기적으로 반복되도록 하고 있다. 세계적으로 미국의

표 4. Composite insulator 시험항목 및 규격
Table 4. Test item and standard for the estimation of composite insulator.

시 험 항 목	시 험 규 격	비 고
인장 내하중시험	ESB 131 8.1.1	단기시험
기계적 하중 시간시험	IEC 1109 6.4	단기시험
비틀림내하중 시험	ANSI C29.1 5.1.1, 5.1.4.2	단기시험
용액침투 시험	ANSI C29.1 6.1.14	
인장 파괴하중 시험	ESB 131 8.2.1	단기시험
전파장해 전압시험	ESB 131 6.13	단기시험
상용수파진소실라 전압시험	ESB 131 6.1	단기시험
상용수파주수소실라 전압시험	ESB 131 6.2	단기시험
비중적 침략 전압 시험	ESB 131 6.6	단기시험
X선 투과 시험	한국 전력 구매 사양서	단기시험
접착력 시험	한국 전력 구매 사양서	단기시험
수분침투시험 급속파시험	CEA LWIWG-01 5.1	단기시험
염색용액 침투시험	ANSI C29.11-7.4.1	단기시험
수분 확산시험	ANSI C29.11 7.4.2	단기시험
내 아르 시험	CEA LWIWG-01 5.5	단기시험
내드래깅 시험	CEA LWIWG-01 5.6	장기열화 시험
난연성 시험	IEC 707 FV방법	단기시험
내후성 시험	CEA LWIWG-01 5.2	장기열화 시험
도금 시험	ESB 131-12.1, 12.2 KSD 8309	단기시험
경년 변화시험	CEA LWIWG-01 5.9	기계적 피로시험

EPRI와 스웨덴의 STRI가 이와 같은 복합가속열화 설비를 갖추고 있는데 엄청난 시설비가 요구된다. 실제로 문제가 되는 shed소재 열화와 기계적 파괴의 환경조건이 거의 무관하므로 별도로 특성평가 하는 방법을 택하고 있다.

소재자체의 열화 중 자외선 및 산소(수분)에 기인한 열화는 weather ometer를 사용하고, 흡수된 오존조건에서의 전기적 스트레스에 기인한 열화는 드래깅 방법을 사용한다. 규격화된 드래깅 방법은 IEC 112 와 IEC 587(경사평면법)이 있는데, 전자는 열화조건이 약하여 주로 옥내용 전연분평가에 사용되며, 후자는 옥외용 전연재료의 열화시험법으로 많이 이용되고 있다. 그 외에도 옥외용 전연재료의 열화시험법으로 RWDT(rotating wheel dip tester; 일명 MGR이라고도 함)가 장기특성을 예측할 수 있는 우수한 방법인 것으로 인정받고 있다.

기계적인 문제는 이종재질간의 접합기술과 기계적·열적 피로에 의한 열화에 기인된다. 장기특성

도 전자에 크게 기인할 것으로 보이며 소재의 특성을 이해하고 제작시 접합방법이나 기술에 많은 배려가 있어야 할 것이다. 기계적 스트레스가 가해진 상태에서 온도 cycle 시험을 하면 장기특성에측이 가능하므로 주로 사용되고 있는 평가방법이다.

5.3 장기야외시험

야외시험장에 다수의 composite insulator를 설치하여 제품의 design 및 shed소재, 설치시간, 계절, 기후 등의 조건에 따라 누설전류값이 어떻게 변하는가를 추적하며 필요하면 염수분무시험을 갖추어 분무조건에 따른 누설전류값의 영향을 추적하기도 한다. 보통 2년이상을 시험기간으로 하며 이렇게 열화된 composite insulator의 성능저하 정도를 평가하기 위해 섬락시험을 행하는 경우도 있다.

5.4 섬락시험

가속으로 열화시켰거나 현장에서 열화된 제품을 선행오존 또는 염수분무환경에서 섬락시험을 행하면 제품의 장단기특성을 평가할 수가 있다.

참 고 문 헌

1. R. Matsuoka, H. Shinokubo, "Investigation Results of Silicone Rubber Insulators Under Wet and Contaminated Conditions", 4th ICPADM, Paper No. 5116, 1994.
2. R. S. Gorur, "Surface Dielectric Behavior of Polymeric Insulation under HV Outdoor Conditions", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol. 26, 1064(1991)
3. A. E. Valstos and E. Sherif, "Experience from Insulators with RTV Silicon Rubber Sheds and Shed Coatings", IEEE, 89 WM 120-7 PWRD
4. R. S. Gorur, J. W. Chang and O. G. Amburgey, "Surface Hydrophobicity of Polymers Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 5, 1923(1990)
5. A. E. Valstos and S. M. Gubanski, "Surface Structural Changes of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6, 888 (1991)

저자소개



강동필

1955년 11월 15일생, 1980년 2월 경성대학교 사범대 과학교육학과(화학) 졸업, 1982년 2월 부산대학교 대학원 화학과(고분자화학) 학위 수여, 1983년 부산대학교 대학원 고분자 공학과 박사과정, 1989년 8월 부산대학교 대학원 고분자 공학과 박사, 1996년 현재 한국전기연구원 소전연재료연구팀 책임연구원(팀장)으로 근무.