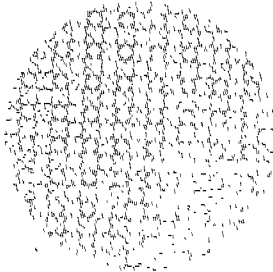


1. 머리말

電線絶縁과 실리콘 고무

Silicone Rubber for Wire and Cable Insulation



鄭 一 男

韓國科學技術院

化學部無機化學研究室長(理博)

전선의 절연은 전류의 흐르는 방향을 잡아주고 전선을 외부로부터 보호하는 역할을 한다. 그러므로 절연재료는 우선 전기저항이 큰 것이어야 하고 외부의 환경이나 그 변화에 잘 견디어야 한다. 제 2차 세계대전 이전에는 전선의 절연에 사용되는 재료들은 극히 한정되어 있어서 요업재료(ceramic)와 같은 무기물이 많이 사용되었으며 유기물로는 천연 고무정도 뿐이었다. 요업재료들은 절연성이나 내열성과 내한성이 우수하나 가공하는데 많은 열을 필요로 하는 등 단점이 많으며 단단하나 깨지기 쉽고 무게가 무겁다. 이에 비하여 천연고무는 가공하기 쉽고 가벼운 반면에 열전도성이 나쁘며 타기쉬운 단점이 있다. 제 2차 세계대전 중에 전선의 수요가 급증하고 전기제품들이 많이 개발됨으로써 전선절연용 재료들에 요구되는 성질도 다양해졌다.

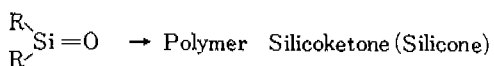
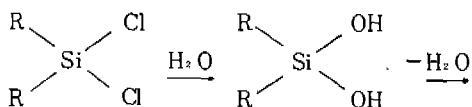
오늘날 사용되고 있는 절연재료들의 대부분은 제 2차 세계대전 중에 개발되었는데 부틸고무, 비스프렌고무, 실리콘고무, 폴리에틸렌고무와 테프론, 폴리설퍼이드, 폴리비닐크로라이드, 에폭시 등의 고분자재료가 그 좋은 예이다. 이와같은 절연재료들은 각기 성능이 다르고 가격, 무게, 수명 등의 차이가 있으므로 전선의 사용목적에 따라 적당한 재료를 선택해야 한다. 공업이 발달해 감에 따라 기계들의 성능이 고도화되고 장기간 사용하게 되므로 그 제품들을 만드는데 사용되는 전선도 성능이 좋고 수명이 길어야 한다. 따라서 절연재료의 선택은 그만큼 어려워졌다. 뿐만아니라 가정에서나 공장에서 누전으로 일어나는 화재로 인하여 재산상, 인명상의 막대한 피해도 적절한 절연재료의 선택과 올바른 전기의 사용으로 방지할 수 있다.

최근에는 빌딩의 고층화와 지하철과 같은 대량수송시설들이 발달하고 원자력발전소들의 건설, 우주항공산업의 발달로 전선의 절연이 잘못되었을 때 야기될 수 있는 피해는 엄청난 것이다. 그러므로 많은 종류의 절연재료들이 개발되었고 그 재료들의 성능에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 본란에서는 고급절연재료로 많이 사용되고 있는 실리콘고무에 대한 간략한 소개를 하고자 한다.

2. 실리콘高分子

(1) 실리콘이란

실리콘(Silicone)은 규소(Silicon)라는 원소와 혼돈하기 쉬운 단어인데 규소라는 영어단어 Silicon에 “e” 자가 하나 더 붙어있는 형태이다. 실리콘이라는 단어의 어원을 살펴보면 이 단어를 처음으로 사용한 사람은 영국의 화학자 Kipping으로서 1900년부터 1947년 사이에 규소화학에 관한 연구논문을 51편이나 발표한 바 있는 규소화학의 개척자였으며 규소화학의 발전에 크게 공헌한 사람이었다. 그는 유기염화실란의 규소와 염소의 결합이 가수분해하면 규소와 수산기의 결합으로 바뀌고 이 수산기는 자동적으로 축합하여 불분자를 내는 것을 발견하였다. 유기화합물에서 탄소원자 하나에 두개의 수산기가 있으면 물을 내고 Ketone(케톤)이라는 화합물을 형성한다. 그러므로 규소를 포함하는 케톤을 형성하는 현상으로 생각하고 Silicoketone이라 하였고 이를 줄여서 Silicone이라 한 것이다. 얼마후에 그 자신이 규소와 산소의 이중결합을 가진 안정한 화합물이 없다는 것을 알았을 정도로 화학적으로는 맞지 않는 단어였다. 그가 얻었던 물질은 케톤과 같은 물질이 아니라 오늘날의 실리콘고분자 물질과 같은 고분자였다.



Kipping의 연구에 자극을 받은 화학자들은 많은 규소화합물들을 합성하고 연구하기에 이르렀고 1940년대에는 실리콘공업이라는 새로운 화학공업을 탄생시켰다. Kipping이 사용한 실리콘이라는 단어의 개념은 잘못된 것이었으나 실리콘공업에 기여한 그의 공로를 기념하고 수천종에 이르는 실리콘 제품과 수백만에 달하는 규소화합물을 대표할 더 좋은 단어가 없으므로 오늘날에는 그대로 사용하고 있다. 그러니까 실리콘은 좁은 의미로 규소를 포함하는 고분자물질들과 그들로 이루어지는 상품을 일컬으며 넓은 의미로는 규소를 함유하는 화합물들도 포함된다. 어원에서 언급한 바와 같이 실리콘고분자의 구

조적인 특징을 보면 무기결합인 규소와 산소의 결합(Si-O)을 주축으로 하고 있으면서 유기결합인 규소와 탄소의 결합(Si-C)을 가지고 있다. 그러므로 규소와 산소의 무기결합만으로 이루어져 있는 규석이나 수정과 같은 고분자는 실리콘의 범주에 속하지 않는다.

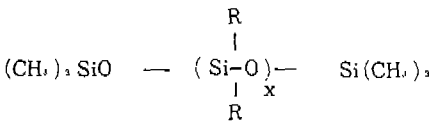
2 실리콘제품의 종류

현재 상품화된 실리콘의 종류는 2000여종에 이른다. 그만큼 제품의 성질도 여러가지여서 상반된 성질을 가진 실리콘 제품들도 많다. 예를들면 이형제로 쓰이는 실리콘이 있는가 하면 접착제로 쓰이는 제품도 있으며 소포제 실리콘과 계면활성제 실리콘이 있다. 따라서 실리콘의 용도가 광범위하여 안쓰이는 공업이 없다고 표현하는 것이 오히려 타당할 것이다. 그 공업제품이 고급이고 기술 수준이 높은 제품일수록 실리콘과 관계가 깊다. 이것은 선진공업국일수록 실리콘공업이 활발하고 공업이 발달할수록 실리콘의 수요가 커지는 것을 보면 알 수 있다. 그러나 실리콘은 어느 단독제품으로 소비자에게 공급되기 보다는 다른 제품의 제조공정에 쓰이거나 부품으로 혹은 첨가제로 쓰이는 경우가 많으며 소량으로도 소기의 목적을 달성할 수 있기 때문에 일반에게는 널리 알려지기가 어렵다.

이와같이 실리콘 제품의 종류가 많은 이유를 몇가지로 구별해보면 첫째로 규소에 결합되어 있는 유기기를 여러가지 종류로 바꾸어 도입할 수 있는데서 오는 것이다. 유기기가 메틸, 페닐, 비닐, 수소기타의 여러가지 관능기를 가진 유기기등 매우 다양하다. 그러나 그 사용량에서는 메틸기가 치환된 메틸염화실란이 대부분이고 다른 유기염화실란들은 특수한 성질을 필요로 할 때 소량으로 쓰인다. 다음 원인으로서는 중합도와 다리결합의 수, 무기결합과 유기결합의 비 등에 의하여 제품의 성질이 달라진다. 실리콘제품들을 분자의 결합형태와 제품의 성상에 따라 실리콘오일, 실리콘수지, 실리콘고무 등으로 구분된다.

실리콘오일의 분자구조를 보면 두개의 유기기가 결합되어 있는 규소와 산소와의 결합이 반복되어 있는 직쇄형의 고분자이다. 분자량은 중합도에 따라 다르고 분자량이 증가하면 점도는 따라서 높아진다. 실리콘오일의 점도는 물과 비슷한 0.65센티스톡(cs)

에서 부터 수백만CS에 이르는 다양한 점도를 가질 수 있다. 점도의 범위가 한정되어 있는 다른종류의 오일과는 달리 사용목적에 따라 적당한 점도를 선택할 수 있는 장점이 있다. 실리콘오일의 점도는 온도의 변화에 따라 크게 달라지지 않으며 어는점이 낮아 저온에서도 사용할 수 있고 고온에서도 안정하다. 화학적으로도 활성이 없고 독성도 없으며 무색, 무미, 무취의 오일로 표면장력이 낮아 거품을 제거하는 힘이 크다. 이와같은 좋은 성질을 많이 가지고 있는 실리콘오일은 윤활유유연제, 발수제, 소포제, 이형제, 열교환매개물 등으로 쓰인다.



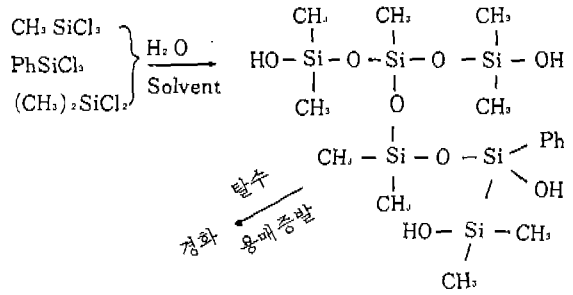
R=H, CH₃, Ph, Vi, CF₃CH₂CH₂-, etc

〈그림-1〉 실리콘오일의 분자구조

실리콘수지는 실리콘오일에서와 같이 직쇄형 결합만으로 된 것이 아니라 상당량의 다리결합을 가지고 있다. 이것은 규소와 염소와의 결합을 두개이상 갖고 있는 유기염화실란들을 중합시킴으로써 가능하다. 그러므로 수지의 성질은 분자안에 함유된 다리결합의 비중에 따라 달라지는데 다리결합이 적고 직쇄결합이 많으면 유연한 고무성질을 띠는 수지가 된다. 반대로 직쇄결합이 적으면 딱딱하고 굳은 수지가 된다. 일반적으로 수지는 오일에서 보다 케닐염화실란들을 많이 사용한다. 케닐기의 도입은 제품의 내열성과 유연성이 향상될 뿐 아니라 가수분해시 반응속도가 느리고 따라서 중합속도도 느리다. 수지의 제조시 중합속도가 빠르지 않아야 여러종류의 원료들이 잘 섞여서 중합되며 분자량의 조절도 쉽다. 그러므로 가수분해시 반드시 유기용매를 사용하며 수지상품의 대부분은 유기용매에 녹아있는 상태로 시판되고 있다. 수지를 사용목적물에 도포하여 유기용매가 날아가면 경화하도록 되었다.

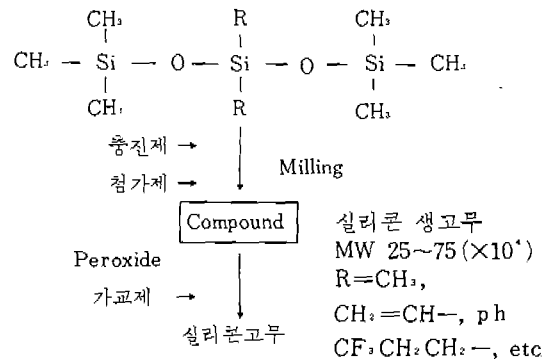
(3) 실리콘고무

실리콘고무는 실리콘생고무에 강도와 탄성을 증진시키기 위하여 충전제(주로Silica)와 기타 첨가제를 넣은후 가황제로 가교반응을 일으켜서 만든다. 가교되기 전의 실리콘생고무는 실리콘오일과 같은 분자구조로서 두개의 유기기가 결합되어 있는 규소



〈그림-2〉 실리콘 수지의 생성

와 산소와의 결합이 반복된 직쇄형 고분자이며 생고무의 제조공정은 실리콘오일을 만드는 공정과 비슷하다. 차이가 있다면 실리콘오일 보다 중합도가 훨씬 높은 고점도의 오일이다. 유기계통의 고무가 유황을 넣고 고온처리해야 가교반응이 일어나나 실리콘고무의 가교는 황을 쓰지않고 유기과산화물을 사용하거나 특수 관능기를 도입시켜 열을 가하지않고도 경화시킬 수 있다. 상온에서 경화되는 실리콘고무를 상온가황고무라 하고 열을 가하여 가교반응을 일으키는 고무를 고온가황실리콘고무라 한다. 이와같이 경화되기전 점도가 낮았을 때 시공함으로써 고무가 사용되는 곳의 모양과 형태의 제한이 별로 없는 점이 유기계통의 고무에서는 볼 수 없는 장점이다.



〈그림-3〉 실리콘 고무의 제조공정도

3. 실리콘고무의 特性과 絶緣

실리콘의 개발은 전기의 절연과 밀접한 관련을 가지고 있다. 1940년 전후에 전기제품들이 많이 개발되자 절연재료에 대하여 요구되는 성질이 다양해졌다. 당시 사용되던 무기물이나 천연고무로서는이

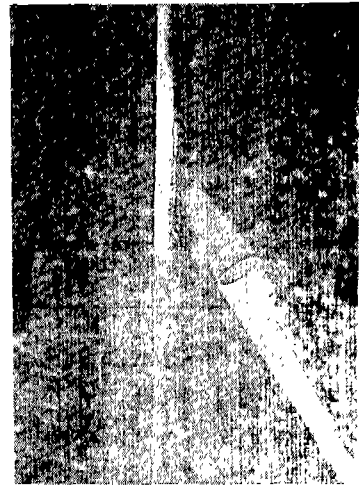
와같은 요구를 충족시키기에 미흡했으므로 무기물의 장점과 유기물의 장점을 가지면서 단점들을 보완하는 무기고분자재료의 절연재료 개발에 대한 흥미가 일기시작하였다. 때마침 미국에서 규소화합물에 대한 학문적인 관심이 발전하여 공업에 활용해보려는 움직임이 있었는데 이것이 절연재료 개발노력과 잘 어울리게 된 것이다. 제일 먼저 절연용 유리섬유를 만들던 Corning Glass Works회사와 전기제철을 만들던 General Electric회사가 유기규소화합물을 고분자화하여 절연물질을 개발하려는 연구에 본격적으로 착수하였었다. 유기고분자 화합물이나 플라스틱은 고온에 불안정하여 100°C 이상의 온도에서는 사용하기 어려웠으므로 많은 절연목적에 맞지 않았다. 그러므로 고온에서도 사용할 수 있는 절연재료를 개발하면 전기제품이 과열되었을 때 파손되는 일을 줄일 수 있으며 전기제품의 무게나 부피를 줄이는데 크게 도움이 될 수 있기 때문이었다. 오늘날에도 실리콘 제품들이 전기와 전자관련 목적에 사용되는 양이 전 실리콘의 과반수를 넘고 있는 것은 결코 우연한 것이 아니다.

(1) 실리콘고무의 특성

실리콘고무는 전선을 절연시키는데 사용할 수 있는 여러가지의 우수한 특성이 있다. 가장 좋은 특성은 내열성으로서 많은 전기적 응용에서 온도가 높아도 확실하고 만족하게 사용할 수 있다. 실리콘 고무로 절연한 전선은 150°C의 온도에서 매우 장시간 사용할 수 있으며 UL(Underwriters Laboratories)규격은 200°C에서도 사용할 수 있다고 인정하고 있다. 단기간동안은 600°F(316°C)의 온도까지는 유연성을 잃지 않으며 사용할 수 있다. 최근에 많은 전기적 응용에 있어서 사용온도의 상한선이 높아지고 있는 추세에 있으므로 실리콘고무로 전선을 절연하면 과전류가 흘렀을 때 발생하는 열에 잘 견디므로 보통 유기재료로 절연시켰을 때보다 90%까지 용량을 증가시켰을 경우에도 잘 감당한다. 열전도성이 유기재료 보다 좋아 발생된 열을 의기에 쉽게 발산시키므로 전선 뿐만 아니라 그 사용 부품에도 열적 무리를 주지 않는다.

다음 특성으로는 내한성으로 낮은 온도에서도 유연성을 유지하는 성질이다. 많은 유기 고분자 들이 온도가 낮아지면 딱딱해져서 유연성이 전혀 없어지

므로 작은 기계적 충격에도 견디지 못하나 실리콘 고무로 절연하면 -100°C까지 사용이 가능하다. 전기적 저항은 상온에서 유기재료에 비하여 같거나 우수하며 유기재료의 사용범위를 넘어선 온도에서도 그 특성이 유지된다. 절연상수는 극히 낮은 온도에서 부터 250°C까지 온도의 변화에도 별로 달라지지 않고 절연성이 약화되지 않는다. 절연표면에 탄화된 물질이 형성되지 않으므로 아크(arc)에 잘 견디며 코로나(corona)에 대한 저항성이 유기제철의 절연재료에 비하여 매우 좋다. 화재나 방전에 의하여 절연재료가 분해되었을 때 유기재료는 휘발성 물질로 되어 날아가 버리나 실리콘 고무는 본래의 중량에 비하여 90% 가량의 비전도성 산화규소의 잔재를 남기므로 비상시에도 전선으로서의 작용을 계속 할 수 있다(그림 4).



〈그림-4〉 실리콘고무로 절연된 전선이 되면 산화규소의 잔재가 남는다.

실리콘고무는 다른 고무와 마찬가지로 많은 용매와 약품에 작용을 받으면 부풀어나는 현상이 있으나 다시 그것들이 날아가면 본래의 특성이 약화되지 않는점이 유기고무와 다르다. 특히 물에는 발수성이 강하므로 수분의 침투로 인하여 작업을 중단할 사태가 발생하지 않는다. 고압전류에 의하여 산소가 오존으로 변하므로 오존에 대한 저항이 높아야 절연재료의 수명이 오래 가는데 유기물질 보다 오존에 대한 저항성이 높은 특성이 있다. 전선의 절연에 사용되는 유기재료와 실리콘고무의 특성을 비교해 보면 표 1에 나와있는 바와 같다. 표 1에서 볼

수 있는 바와 같이 유기재료에 비하여 실리콘 고무에 절연재료로서 가져야 할 모든 특성이 결코 나쁘지 않으며 내열성과 내한성으로 인하여 사용환경에 급격한 변화가 있어도 무리가 가지 않은 관계로 실리콘고무로 절연한 전선의 활용은 갈수록 확대되고 있으며 그 사용량도 따라서 증가하고 있다.

(2) 실리콘고무로 절연한 전선의 응용

(표 - 1) 절연재료들의 특성 비교

Property	Silicone rubber	Polytetrafluoroethylene	SBR	Butyl	P. V. C.	P. E
Temp. rating(°C)	150~250	250	75	90	60~105	75
Insulation resis. (Megohm const)	30,000	50,000	2,000	30,000	2,000	50,000
Dielecteric const. dielectric strength	3.0 우수	2.1 우수	5.0 양호	3.5 양호	5~8 우수	2.3 우수
Tensile STR (kg/cm ²)	84	140	56	56	105	105
Elongation(%)	400+	150	350	400	200	400
Ozone, corona Resistance	우수	양호	불량	양호	우수	양호
Weathering	우수	우수	양호	우수	양호	Must be pigmented
Chemical resistance	양호	우수	보통	보통	우수	양호
Flammability	Burns to non conducting ash	Self extinguish	Burn	Burn	Self extin-Guish	Burn

용 재료의 사용량이 적어지고 구리값도 적어진다. 그외에 전선의 무게가 감소하고 전선이 차지하는 공간이 적어지는데서 오는 이익을 합한다면 실리콘고무의 가격이 높으면서 오는 초기투자의 증가는 보상하고도 남는다. 따라서 군용함정에서 뿐만 아니라 일반상선이나 기타 선박에서도 실리콘고무로 절연한 전선의 수요가 증가하고 있는 실정이다.

2) 항공용 전선

비행기나 미사일에 사용되는 전선은 사용가능 온도의 범위가 매우 넓어야 한다. 온도가 매우 낮은 고공에서 사용되는 반면에 고속으로 운행하는 데서 오는 마찰이나 기계로 부터 발생하는 열이 매우 높기 때문이다. 이와같이 매우 넓은 온도 범위에서 사용할 수 있는 전선의 절연재료는 실리콘고무에 견줄 재료가 없다. 특히 항공기에서는 군함에서 보다 중량이나 화재에 대해서는 더욱 민감하므로 실리콘고무를 사용함으로써 가져오는 이익은 아무리 강조해도 지나치지 않는다.

1) 군함용 전선

MIL-C-2194규격에 의하면 군함에 사용되는 전선은, 온도는 135°C에서 전압은 600V 정도에서 사용할 수 있어야 한다. 실리콘고무로 전선을 절연시킴으로써 이 규격을 만족시키면서도 종래의 전선굵기를 줄이는 것이 가능하여졌다. 물론 실리콘고무의 가격이 다른 유기재료에 비하여 고가이므로 초기의 투자가 높으나 전선의 크기가 줄어들므로 전선피막

3) 원자력 발전소용 전선

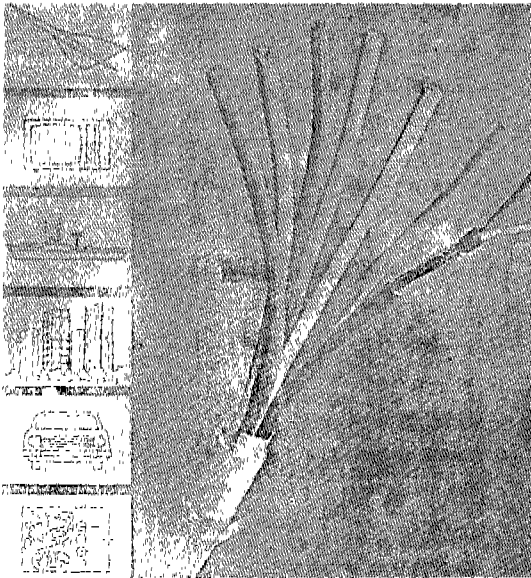
원자력을 이용한 발전은 세계 여러나라에서 실용화되고 있으며 우리나라에서도 10여기의 원자력 발전소가 건설되었거나 공사중에 있다. 방사능 누출로 인한 사고의 예가 전혀 없었던 것은 아니지만 원자력 발전소의 증가 추세는 계속되리라 생각된다. 원자력 발전소에 사용되는 전선의 절연은 매우 혹독한 열이나 방사능에도 잘 견디어야 한다. 이러한 목적에는 유기계통의 고무 보다는 실리콘고무가 월등하게 좋다. 처음에는 원자력 추진 잠수함에서 실리콘고무로 절연한 고무를 사용했는데 이의 결과가 매우 만족스러워 원자력 발전소에 사용되어 현재는 이 목적에 필수적으로 사용되도록 되어 있다.

4) 열선용 전선

실리콘고무는 고온에 잘 견디고 수분흡수가 적으며 열전도도가 높으므로 "Nichrome"열선을 절연시키는데 적합하다. 이 열선들의 응용을 보면 냉장고나 냉동기의 서리 방지용 열선, 파이프나 비행기날

개 표면의 얼음을 녹이기 위한 가열용전선, 지붕이나 활주로의 얼음을 녹이는 열선의 절연에 이용되고 있다.

위에서 열거한 목적외에도 실리콘고무로 절연한 전선의 활용은 많으며 계속해서 새로운 응용이 개발되고 있는 실정이다. 몇가지의 예를 들면 라디오나 통신장비 및 전열기의 접속 코드에는 실리콘 고무를 사용함으로써 고온에 잘 견디고 잡음이 없도록 하는데 효과를 보고 있다. 특히 군용 수송 장비나 고급승용차에는 실리콘고무로 절연한 전선의 사용이 증가되고 있다. 고층건물에 사용되는 전선을 화재에 대비하여 실리콘고무로 대체하고 있는 것도



〈그림-5〉 실리콘고무로 절연한 전선과 그 응용분야

그 좋은 예의 하나이다. 실리콘고무로 절연한 전선과 그 대표적인 응용을 그림으로 표시해 보면 그림 5에 있는 바와 같다.

4. 맺는말

본란에서 살펴본 전선을 절연하는 용도는 실리콘고무의 활용 중에서 극히 일부에 지나지 않는다. 실리콘고무가 일반 고무에 비하여 좋은 특성을 가지고 있기 때문에 여러가지 분야에 광범위하게 활용되고 있으며 공업이 발달해감에 따라 그 사용량은 점점 확대되고 있는 추세이다. 이것은 기존 유기계통의 고무를 사용하는데 한계를 보이는 목적에 실리콘고무를 대신 사용해서 뿐만아니라 실리콘고무의 새로운 응용이 계속 개발되기 때문이기도 하다. 새로운 응용의 개발은 규모에 새로운 유기기를 도입하여 특수한 성질을 낼 수 있는 원료를 합성하는 것이 일반고무의 원료를 개조하는 작업 보다 훨씬 수월하기 때문이다. 더구나 실리콘고무는 충전제의 선택이나 가황방법에 따라 제품의 성질이 크게 달라지는 것이 일반고무와 다른 점이다. 예를들면 카본블랙이나 전도성이 높은 금속을 충전제로 사용하여 전기전도성이 있는 실리콘고무를 만들어 전자시계나 전자계산기 제조에 많이 사용되고 있는 것이다. 그러므로 실리콘고무의 개발이 끝난 것이 아니고 현재도 계속 개발되고 있으며 응용가능성이 많은 재료의 하나로 미래의 산업에서도 그 위치를 점점 굳혀가고 있다. 전기분야에 종사하시는 분들이 실리콘고무에 대한 관심을 가지고 제품의 고급화에 많이 활용할 수 있기를 바란다. *

※ 表紙사진글

景福宮 敬天寺 10層石塔

길고 음침한 겨울이 가고 어디선가 노고지리의 소리가 들리는듯 하면 이땅에는 올해도 어김없이 봄이 찾아온다. 봄은 화려하게 치장한 女人과도 같다.古宮뜰에는 분홍치마를 입은 계집애가 쪼그리고 앉아있는듯 한무더기의 진달래가 피었다. 그 연연한 꽃 입술들은 보드랍게 봄을 토하고 있다.

〈世〉

