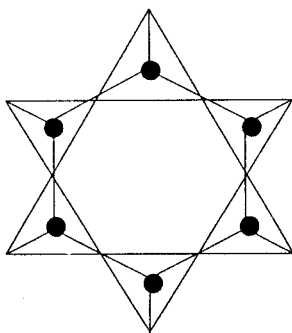


# 폴리실록산 폴리머의 유도와 가교

길 병 인

## 1. 폴리실록산의 일반물성과 기본 Chemistry

실리콘(silicone)은 실리콘원자(Si)와 산소원자(O) 그리고, 유기그룹을 포함하고 있는 화합물로 규정되며 실리콘 원자의 숫자는 물리적 물성에 큰 영향을 미친다. Silicone은 실리카와 유기화합물의 조합으로 구성된 화합물이기 때문에, 실리카와 실리케이트(silicate)가 갖는 열적, 화학적 안정성을 갖고 있으며, 또한 유기 화합물의 전형적인 특성인 반응성, 용해성, 탄성을 갖을 수 있도록 조율될 수 있고 실리케이트나 유기화합물에서 볼 수 없는 실리콘-탄소(Si-C) 결합 때문에 상당히 독특한 chemistry와 특성을 갖는다. 실리카나 실리케이트의 단위 구조는 실리콘원자 주위를 4개의 산소원자가 둘러싸고 있는 정사면체 구조로 되어 있으며 각 산소는 두개의 실리콘원자에 의해 공유되고 있는 코너로써의 위치를 갖는다. 일반적으로 이 정사면체들은 3개 또는 2개 이상의 단위체와 연계되어 한 구조를 형성하고 있다.

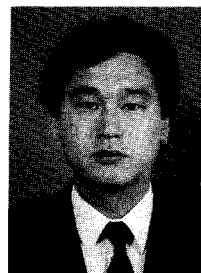


$(Si_6O_{18})^{-12}$

실리콘은 실리카의 구조로부터 일부의 산소원자를 제거하고, 유기그룹으로 대체함으로써 연결된 3차원적 Si-O 형태를 해체시킨 구조로 표현될 수 있다. 다시 말해 유기

그룹들은 닫힌 network를 해체시키고 지그재그 형태의 Si-O주쇄 구조를 이루게 해준다. 또한 이 유기그룹들은 Si-C가 연결된 각도로 회전운동을 가능케 하며, 이 회전운동에 의해 유기그룹에 소속된 수소원자들은 그들이 갖고 있는 공간보다도 더욱 큰 공간을 점유하게 된다. 이 추가적인 공간의 확보는 인접한 분자들과의 거리를 증가시켜 줌으로써 분자간 인력은 작아지게 되며, 각 분자들은 보다 자유로이 움직일 수가 있게 되는 것이다. Si에 결합된 유기그룹의 덩치가 크면 클수록 그 분자의 특성이 점점 유기물에 가까워지게 되는데, 상업적으로 가장 널리 사용되고 있는 유기그룹은 methyl(-CH<sub>3</sub>)기와 phenyl(-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)기이다. 예를 들어 butyl, amyl 등과 같이 결합된 탄소의 길이가 길어지게 되면 산화, 온도에 따른 점도 특성 등의 모든 특성이 보통 유기물과 같은 형태로 점차 근접하게 된다.

실리콘 화합물은 실리콘원자나 산소원자 사이에 연결된 network가 많으나 적으냐에 따라 그 기본적 형상과 특성이 결정되어진다. 즉, 1개의 Si원자당 결합된 유기그룹이 1~1.5개 정도의 상대적으로 낮은 숫자라면 network는 3차원적이며 고밀도로 가교(Si-O의 숫자가 많은 가교)된 형태의 rigid하고 resinous한 실리콘 화합



길병인

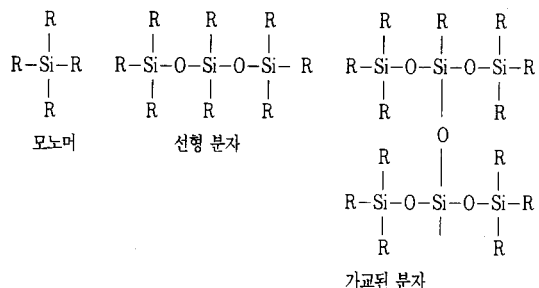
1981~ 성균관대학교 화학공학과  
1987

1988~ 한국다우코닝(주) 기술연구소  
현재 선임연구원

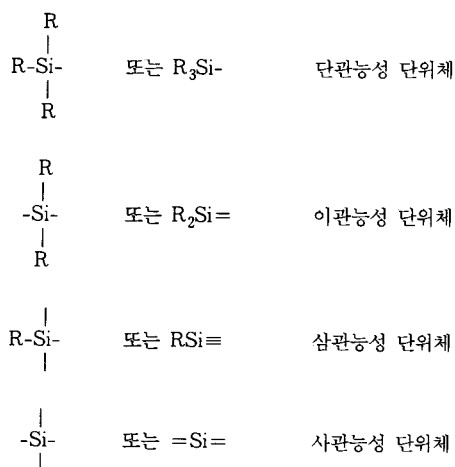
### Derivation/Cross-Linking of Polysiloxanes

한국다우코닝(주) 기술연구소(Byung In Kil, 690-1 Gwanghyewon-Ri, Manseung-Myon, Jinchon-Gun, Choong Chong buk-Do, Korea)

물로 볼 수 있으며, 만일 유기그룹들이 2개 이상으로 결합되어 있다면 실리콘 화합물은 액상 또는 탄성체의 형태를 띄게 되는 것이다. 실리콘 원자 주위가 모두 유기그룹들로 되어 있다면 그 화합물은 모노머가 된다.



따라서, 실리콘 network 화합물을 구성하고 있는 단위체를 기준으로 본다면 다음의 4가지 형태의 단위체가 있음을 기억할 필요가 있다.



형태에 있어서 이관능성과 삼관능성 단위체는 산소원자에 의해서 Si원자와 Si원자가 분리되어 있으며 이러한 구조를 실록산이라고 호칭한다. 두개의 Si원자가 한개의 산소원자에 의해서 분리되어 있으면 그 화합물을 디실록산(disiloxane)이라고 하며 3개의 Si원자가 동일한 방법에 의해서 분리되어 있으면 트리실록산(trisiloxane)이라 하고, 다수의 Si원자가 이 방법에 의해 분리되어 있는 화합물을 총칭하여 폴리실록산(polysiloxane)이라 한다.

실리콘중합에 있어서 반응기가 되는 것은 실리콘원자에 결합된 수산기(Si-OH)이다. 분자가 이 수산기를 전혀 갖고 있지 않다면 중합에는 전혀 참여할 수가 없다. 1개의 반응기만을 갖고 있는 분자가 중합에 사용된다면 최종 중합된 고분자는 반응성이 없는 폴리머의 형태가 될 것이며, 따라서 2개 또는 2개 이상의 반응기를 갖는 분

자는 또 다른 종류의 폴리머를 합성하기 위한 최소의 요구조건이 된다.

## 2. 폴리실록산의 유도

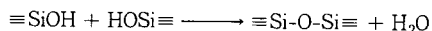
### 2.1 기본적 반응

실리콘 또는 폴리실록산의 합성은 크게 모노머의 합성과 폴리머의 중합이라는 2단계로 대분할 수 있으며, Si-C 결합의 안정성과 Si원자와 또다른 원자와의 반응성이 중요시 고려되어야만 한다. Si-C 결합의 안정성은 모노머 단계에서 특정 유기그룹을 결합시킬 때 이미 존재하는 Si-C 결합이 파괴되지 않고 또 다른 반응을 유도하기 위한 중요한 요소가 된다. Si원자와 또 다른 원자와의 반응성은 중합이라는 차원의 자체합성을 가능케 한다. 모노머는 chlorosilane이 일반적이나 때에 따라서는 methoxysilane, ethoxysilane과 같은 다른 반응성 silane일 수도 있다.

Si-Cl 결합은 물과 알콜에 대한 반응성이 대단히 높으며, -Cl은 다른 관능성 그룹으로 빠르게 대체된다.



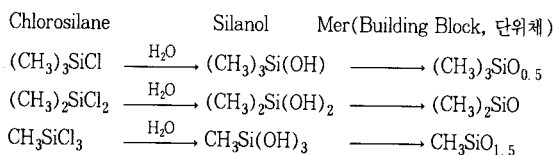
대부분의 경우 -OH 그룹은 그대로 남지 않고 다른 -OH 그룹들과 반응하게 된다.



이것이 폴리실록산 합성의 기본적 반응이다.

### 2.2 실란을 단위체의 유도

폴리실록산 구조내의 mono-, di-, trifunctional 단위체들은 methylchlorosilane 또는 alkyl/arylsilane으로부터 가수분해되어 얻어진다.



\*주 : 각 산소원자는 2개의 Si원자에 의해 공유되기 때문에 2분화되어 표기된다.

특히 (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Si(OH)<sub>2</sub>의 축합은 대부분의 silicone fluid와 elastomer의 주요 형성요소가 되기 때문에 중요한 반응이다. 가수분해와 함께 축합반응은 조건에 따라 2가지 반응물, 즉 cyclic과 linear로 빠르게 진행된다.

### 2.3 폴리실록산의 중합

선형 폴리머의 중합법은 크게 두가지로 분류될 수 있

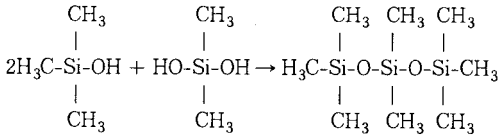
다. 첫번째는 이관능성 올리고머의 축중합이고, 두번째는 환형올리고실록산의 개환중합이다.

### 2.3.1 이관능성 Silane의 축중합

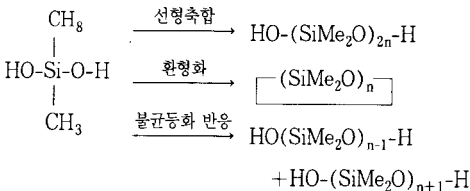
앞에서 언급된 바와 같이 dichlorodimethyl silane의 가수분해를 통해 silanediol이 생성된 후 축중합에 의해 폴리머가 형성된다. 이 2단계의 반응은 한개의 반응조에서 일어나게 되며, 산 또는 염기의 존재하에 가열에 의해 진행된다.

#### 2.3.1.1 동일 관능기를 갖는 Silanediol간의 축중합

물을 형성시키는 silanol의 축합은 평형반응이다. 실록산의 가수에 의한 가열반응은 축합된 폴리머의 분자량에 큰 영향을 미치기 때문에 형성된 물은 반드시 제거되어야 하며 고온에서 물을 함유하고 있는 경우 polydimethylsiloxane은 분해되는 문제를 갖게 된다. Silanol 축합반응의 평형은 triorganosilanol(일관능성 silanol)에 의해서 이루어진다. 이때 약간의 발열반응이 있게 된다(폴리머 끝의 silanol 그룹의 축중합 반응은 모노머 상태에서의 silanol 축합반응과 그 양상이 다르다).



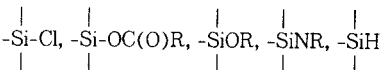
Oligodimethylsiloxane- $\alpha,\omega$ -diol은 모노머보다 안정하다. 이러한 올리고머들은 산의 존재하에서 진행되는 축중합에서 다음의 세가지 반응물을 만들어 낸다.



이 이후의 진행은 여러가지의 반응조건에 의해서 좌우된다. 예로서, 강산의 존재하에서는 환형태화가 광범위하게 일어나며 이는 분자간의 축합과 경쟁적으로 일어난다.

#### 2.3.1.2 Silanol 관능기와 다른 종류의 관능기간의 축중합

Silanol 그룹은 Si원자에 결합된 다른 종류의 관능기와 축중합을 통해 결합될 수 있으며 선형의 폴리실록산이나 선형올리고머, 환형올리고머를 만드는데 적용할 수 있다.



관능기들이 이에 해당되며 R은 alkyl이나 aryl 그룹들이다. 이 반응은 동종의 관능기간의 반응과는 달리 pendant 그룹이나 반복 연속적인 코폴리머의 합성을 위해 사용되며 항상 촉매의 사용을 동반한다.

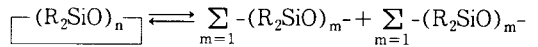
### 2.3.2 Cyclic Polysiloxane의 개환중합

이 반응은 상당히 큰 분자량을 갖는 폴리머의 합성까지도 가능하게 하기 때문에 상업적으로 널리 사용되고 있는 합성법이다.

이 반응은 D4(octamethyl cyclotetrasiloxane)을 사용하는 열역학(음이온 중합)과 반응속도론 D3(hexamethyl cyclotrisiloxane)을 사용하는(양이온 중합)으로 분류된다.

#### 2.3.2.1 평형과 반응속도론에 의해 조절되는 중합과정

반응이 평형상태에 도달할 때 중합은 열적으로 조절된다. 평형상태에서의 폴리실록산은 적어도 두 가지 이상의 형태 즉 cyclic과 open chain으로 구성되기 때문에 복잡한 성분 구성형태를 띤다.

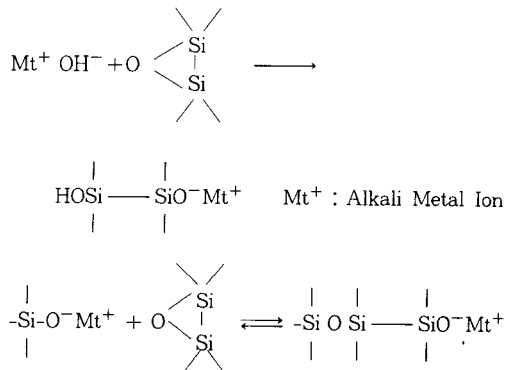


폴리머의 분자량은 전적으로 열역학에 의해 조절되며 이는 사용된 개시제와는 독립적이다. Open chain과 cyclic과의 평형은 폴리머 수율을 결정한다.

#### 2.3.2.2 Cyclic Siloxane의 음이온 중합

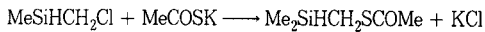
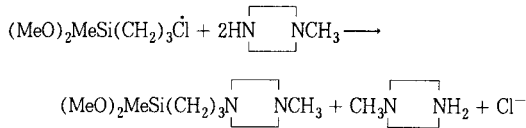
음이온을 활용한 cyclic siloxane의 개환중합은 실리콘 기술에 있어서 중요한 위치를 차지한다. 실리콘 고무원료 제조를 위한 선형고분자 폴리실록산은 흔히 이 방법에 의존한다. 또한 이는 현존하는 실록산 중합 합성법 가운데 독특한 반응방법이다. 이는 규칙적인 블록 코폴리머의 합성, 실록산 주체로부터의 grafting, 규칙적인 siloxane network을 위해 사용되며, 또한 좁은 분자량 분포의 폴리머 합성에 자주 적용된다.

이 반응은 다음과 같은 연쇄반응에 의해 진행된다.



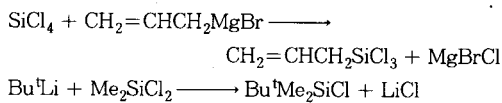


Chloroalkyl 관능성 실란은 앞에서 언급된 hydrosilylation공정과 같이 실리콘 수소화합물로부터 얻을 수 있다. Allyl chloride와 methallyl chloride들은 이 반응을 위해 자주 이용된다. Chloride ion의 연속적 친핵적인 대체는 관능성 실란의 다양화를 가능케 한다. 다음은 그 예이다.



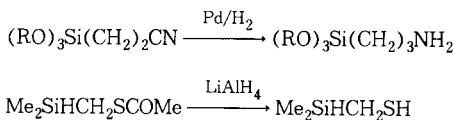
### 3.1.1.3 유기금속 시약

Grignard 시약이나 alkali 금속 유기유도체가 널리 사용되며 그 예는 아래와 같다.

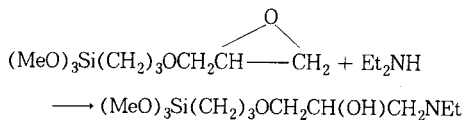


### 3.1.1.4 2차적인 유기그룹의 유도

위에서 언급된 방법 중의 한가지 반응을 거친 후, 일반적인 유기화학의 개념에 의해서 추가의 반응성 그룹 유도체를 도입할 수 있다. 예를 들면 amine과 thiol은 cyano와 thioalcetoxy-S-methylsilane의 제거로 얻을 수 있다.

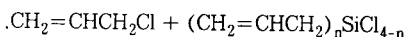


또한 삼차아민과 수산기 그룹을 함유하는 실란은 에폭시 그룹과 dialkylamine과의 반응으로부터 얻을 수 있다.



### 3.1.1.5 직접합성

이는 polydimethylsiloxane을 중합하기 위해 필요한 methyl chlorosilane을 제조하기 위한 주된 반응법이다. 즉 alkyl chloride와 금속실리콘이 구리촉매와 250~300 °C에서 반응하는 합성법이며, allyl 그룹을 함유하는 실란의 제조시에도 동일한 방법이 적용된다.



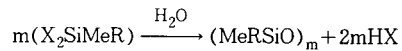
### 3.1.2 유기관능성 실록산의 합성

유기관능성 실록산의 합성법은 앞에서 언급된 유기관능성 실란을 얻는 방법과 유사하며 유기관능성 실란으로부터 만들어진 유기실리콘 모노머를 통해서 또는 반응성 실록산 프리폴리머를 통해서 형성될 수 있다.

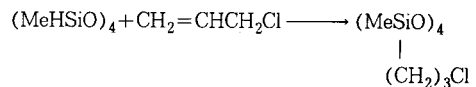
방법의 선택은 합성물의 순도 향상의 용이성과 실록산 모노머나 폴리머의 민감성에 의해 좌우된다.

#### 3.1.2.1 유기관능성 실록산 모노머로부터의 합성

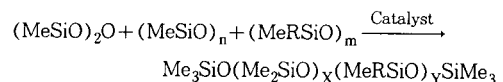
이 반응은 적절한 유기관능성 모노머의, dimethylcyclosiloxane 그리고 최종합성물의 분자량을 조절하기 위한 chain terminator가 존재하는 상황에서의 개환공중합 반응이다. 유기관능성 모노머는 가수분해에 의해서 관능성 cyclic형태로 일단 변환되게 된다.



X는 가수분해될 수 있는 그룹이며, 대부분 alkoxy가 주종을 이루고 있으며, R은 유기관능성 그룹이다. 이 결과로 형성되는 가수분해물은 cyclic과 저분자 선형 올리고머의 혼합물이다. 또 다른 방법은 반응성 단위체의 변형을 통해서 얻는 또 다른 관능성 단위체다.



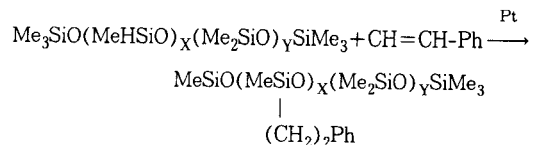
이어지는 공중합은 cyclic siloxane을 개환시키고 실록산 결합을 재 배열할 수 있는 강산 또는 강염기 촉매를 사용한다.



경우에 따라서 앞의 반응과 이 공중합은 같은 반응조건에서 진행된다.

#### 3.1.2.2 ≡SiH를 함유하는 실록산 폴리머로부터의 합성

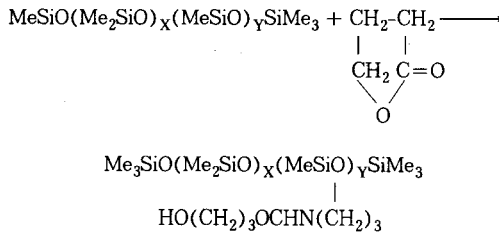
Si-H를 함유하는 실록산 코폴리머들을 원료로 하여 사용할 경우 구하기 용이하며 공정 또한 조절하기가 상대적으로 쉽다. 이 hydrosilylation 반응을 통해서 많은 종류의 유기관능성 실록산을 합성할 수 있다. 다음은 반응성 그룹이 폴리실록산에 가지화되어 결합되는 예를 보여 준다.



≡SiH를 이용한 합성의 단점은 효율이 낮고, 금속 촉매에 대한 비용이 크다는 것이다.

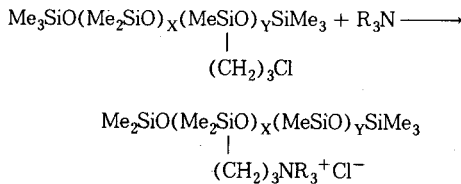
### 3.1.2.3 관능성 실록산의 2차적 유기 변형

반응성 유기그룹이 실록산 폴리머에 도입되면, 일반적인 유기화학의 원리에 의해 유도체가 가능해진다. 단, 실록산 구조를 분해시키는 강산과 강알카리는 사용되어서는 안된다. Amido 관능성 실록산들은 amino 관능성 실록산과 carboxylic acid 또는 lacton과의 반응에 의해 얻을 수 있다.



### 3.1.2.4 Chloroalkyl 관능성 실록산으로부터의 합성

친핵체에 의해서 chloroalkyl 관능성 실록산의 chloride이온을 다양한 관능성 그룹으로 대체가 가능하다. 예로서 3차 amine과의 반응은 ammonium salt를 낳게 된다.



### 3.1.2.5 Hexamethylcyclotrisiloxane 으로부터의 합성

양 말단에 서로 다른 종류의 관능성 그룹 또는 한쪽 말단에만 유기 관능성기를 갖는 새로운 폴리실록산과 좁은 분자량분포를 갖는 분자들은 비평형법, 즉 hexamethylcyclotrisiloxane의 개환중합에 의해 얻을 수 있다.

이 공정은 lithium vinylsiloxane 개시제와 적절한 chain terminator를 이용한다.

Monovinyl, monomethacrylate를 말단으로 하는 siloxane macromonomer는 siloxane-acrylate 코폴리머 합성을 위해 사용될 수 있다.

## 4. 폴리실록산의 가교

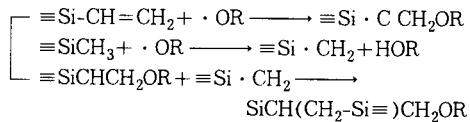
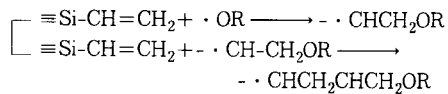
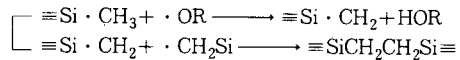
실록산 주쇄구조에 유기메틸 그룹들이 실리콘원자에 결합되어 있는 상태를 폴리디메틸실록산이라 함은 언급

된바 있으며, 이러한 원자의 배열은 낮은 유리전이온도를 부여함으로써 폭넓은 범위의 온도에서 사용을 가능할 수 있게 하였고, 우수한 열적 안정성과 내산화성, 화학적 안정성을 갖는다. 이 부정형의 고분자를 상업적으로 유용하게 이용하기 위하여, 즉 고무, 코팅의 용도로 사용하기 위하여는 분자들간의 가교가 필요로 된다. 가교반응을 통해 3차원적인 네트워크를 형성하기 위해서는 사용되는 분자들 중 적어도 한개 이상의 삼관능성이 되어야만 한다. 폴리실록산의 가교문제를 해결하기 위해서는 전통적인 유기화학 원리가 사용되어지며 따라서 폴리실록산에 유기관능 그룹이 부여된다. 유기관능성 그룹이 희망하는 반응이 일어나야 하는 것은 필수적이며, 가교의 결과가 실록산이 갖고 있는 특성을 완전히 지배하여 감소시켜서는 안된다.

실록산 가교로 널리 사용되고 있는 반응의 종류는 다음과 같다.

- Peroxide를 사용한 free radical 반응.
- 축합반응
- Hydrosilylation 부가반응
- Hydrosiloxane/Silanol 반응

### 4.1 Peroxide를 사용한 Free Radical 반응 가교



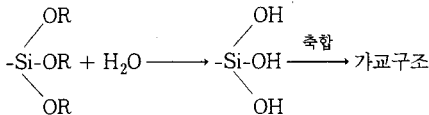
실록산의 free radical 가교기술은 dimethylsiloxane의 methyl 그룹들 중 일부를 vinyl 그룹으로 대체함에 의해서 소량의 aryloxy peroxide만으로도 경화를 가능케 하고 있다. Peroxide에 대한 많은 연구와 개발이 있음에도 불구하고 아직 모든 용도에 공통적으로 쓸 수 있는 peroxide는 나타나지 않았으며, 실리콘고무 기술자들은 일정범위의 실록산 폴리머와 제한된 범위의 peroxide 즉, 2,4-dichlorobenzoylperoxide, dicumylperoxide, di-*t*-butylperoxide를 사용하고 있다. 2,4-dichlorobenzoylperoxide를 공기 중에서 고온경화방법, dicumyl 또는 di-*t*-butylperoxide는 두꺼운 형태나 carbon black을 함유하는 고무의 제조에 주로 사용된다. Vinyl기를 함유하고 있는 고무의 경화는 2차경화 공정이 불필요하며 더욱 우수한 compression set 특성을 갖게 한다.

### 4.2. 축합반응을 사용한 가교반응



이 silanol 그룹의 축합반응은 실리콘화학에 있어서 상당히 중요한 위치를 차지하고 있다. 만일 분자내에 1개 이상의 silanol 그룹이 존재한다면 3차원적 가교가 가능해지며 가교도의 정도에 따라 경도와 물성변화가 가능하다.

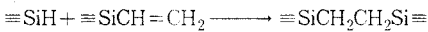
Alkoxy, acyloxy, oxime과 같은 가수분해 가능 그룹이 원자에 결합되어 있는 상태라면 수분과 함께 상온에서도 가교가 가능하다.



$\alpha,\omega$ -silanol기를 갖는 polydimethylsiloxane이 tetra, 또는 trifunctional silane과 같이 존재할 경우, 3차원적으로 가교된 구조를 얻게 된다. 따라서 이러한 반응형식은 1액형, 2액형 제품을 가능케 한다. 이 가교를 위해서 사용되는 촉매는 tin 또는 titanate계 화합물들이다.

#### 4.3. Hydrosilylation 반응을 사용하는 가교

Si-H 결합을 갖는 실록산과 불포화 탄화수소 결합을 갖는 실록산과의 부가반응이며 흔히 백금 촉매를 사용한다.

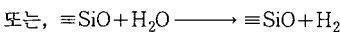


이러한 백금 촉매는 상온에서 활성이 없으며 120~150 °C에서 활성화된다.

Vinyl그룹은 실록산의 말단 또는 pendant 형태로 존재할 수 있다.

#### 4.4 Hydrosilane/Silanol 반응을 사용하는 가교

이 반응은 축합 또는 hydrosilylation 반응을 병행한다고 볼 수 있으며 1단계 반응 또는 2단계 반응으로 표현할 수 있다.



이 반응은 조건에 따라 동시에 일어날 수 있으며 실리콘 foam을 생산할 수 있는 이점으로 인해 산업적으로 활용되고 있다.

#### 4.5 Radiation을 사용하는 가교

대부분의 폴리머에서 처럼 polymethylsiloxane에도 이온화 방사(ionizing radiation)의 효과에 대한 깊은 관심과 연구가 있어 왔으며, 방사선을 사용하는 가교를 가능

케 하였다. 이에는 일반적으로 2가지 가교형태가 있다.

첫째, 높은 방사선 에너지를 생성시켜 polymethylsiloxane에 조사됨으로써 결합되어 있는 유기그룹들이 분해되어 라디칼을 형성함에 의해 반응되는 가교와 둘째, 혼합된 개시제의 활성화에 의존하게 되는 광개시 반응을 통한 가교가 있다.

실록산의 광개시 반응을 얻기 위해서는 잘 알려진 유기물의 광개시 반응이 그대로 적용되어지며, 따라서 polydimethylsiloxane 폴리머에도 유기관능성 그룹들이 pendant 형태로 존재해야 한다.

이 광개시 반응은 잘 알려진 aromatic ketone을 광개시제로 사용하는 thiol/ene 반응과, 광개시제의 존재하에 진행되는 hydridsilane/ene 반응이 바로 그들이다.

또한, diaryliodonium salt의 광분해에 의해서 생성되는 Brönsted acid에 의해서 epoxy 또는 vinyl-ether의 양이온 중합방법이 있다.

## 5. 폴리실록산의 상업적 응용

지금까지 언급한 폴리실록산들은 독특한 분자구조에 기인한 우수한 내열성/내후성, 낮은 표면장력, 전기절연성, 무색특성 등을 갖게 되며 이 폴리실록산들을 현재 상업적으로 응용되고 있는 분류방법에 의해 살펴보면 다음과 같다.

### 5.1 실리콘오일

가교가 되지 않은 폴리머 상태로서 0.65~2500000cst까지의 다양한 점도를 갖고 있으며 용도에 따라서 각종 유기관능성 그룹을 포함한 오일이 사용되거나 산화안정제와 같은 보조제를 첨가하여 응용된다.

첫째는, 대상물질 표면에 얇은 막을 형성하여 이형성, 미끄럼성, 광택성을 부여하는 방법으로서, 금형이형제, 자동차/가구 광택제, 건축/섬유 발수제들이 이에 속한다.

둘째는, 대상물질에 첨가하여 사용하는 방법인데 극소량의 첨가로도 상당한 효과를 나타내어 도료의 부유 방지, 흐름성 증진, 광택성 증진, 미끄럼성 증진의 용도로 사용된다.

세째는, 오일 그 자체로 사용되는데 각종 계기 및 유압기의 충전액, 열 매체유, 변압기액, 소포제 등으로 사용되고 있다.

### 5.2 실리콘 에멀전

물을 기초로한 공정에서는 물과 실리콘오일이 서로 분리되므로 첨가 효과를 충분히 나타내지 못하며 소량을 끌고루 분산시키고 퍼짐성이 좋게 하기 위해서는 오일의 형태로는 제한을 받는 경우가 있다. 이를 위해 화학/기계적인 방법으로 실리콘오일을 물에 끌고루 분산시켜 놓은 것이 에멀전이며, 이때 각종 유화제, 증점제, pH조절제 등

이 사용된다.

그 대표적 응용분야로는 고무/플라스틱의 이형제, 섬유  
의 유연성을 향상시켜주는 유연처리제, 섬유발수제, 수계  
공정에서의 거품을 제거시켜주는 소포제, 모발에 광택·유  
연성을 부여하는 모발정발제 등이 이에 속한다.

### 5.3 실리콘 그리스

일반 그리스로는 사용하기 힘든 초저온 및 초고온의 상  
황에서 윤활제로의 기능을 발휘할 수 있으며, 미세 카본  
블랙이나 특수 지방산 금속염 또는 고융점 유기고체를 첨  
가하여 사용된다.

### 5.4 실리콘 수지

3방향 가교의 밀도를 최대화하여 경도 높은 경화된 피  
막을 형성시킬 수 있는 고체형태의 실록산으로써 고온용  
도료, 주방기구의 코팅, 내후성 건축용 도료, 발수코팅,  
플라스틱 및 금속의 보호코팅용으로 응용, 사용되고 있  
다.

### 5.5 실리콘 분산제품

실리콘 오일, 수지, 실란들을 사용하여 각종 대상 물질  
에 코팅할 경우 막막을 만들기 위한 방법으로 유기용제에  
용해된 상태의 형태를 말하며, 스티커 및 접착테이프의  
상업화를 가능케 하는 종이이형제, 건축용 발수제, 섬유  
의 방수코팅, 전기전자 부품의 코팅에 활용되고 있다.

### 5.6 실리콘 고무

앞장에서 언급된 폴리실록산의 가교기술을 활용하여  
탄성체를 형성시킴으로써, 팽창과 수축, 탄력성과 반발  
성, 유연성있는 고무형태를 얻게 해준다. 일반 유기고무  
는 상온에서 실리콘 고무보다 우수한 물성을 갖고 있으나  
이러한 인장, 신율, 강도, 내마모성 등의 우수성은 고온,  
저온 또는 약품에 의해 쉽게 파괴되는 반면 실리콘 고무  
는 대기 조건하에서 일반 고무보다 낮은 물성을 보이지만  
훨씬 더 넓은 온도 범위에서도 변화 폭이 작기 때문에 상  
업적으로 유용하게 사용된다. 그리고, 실리콘 고무는 2  
가지로 분류된다.

#### 5.6.1 상온 경화형 고무

제품에 가교제가 첨가되어있어 사용 후 대기 중의 수분  
과 반응하여 가교반응이 진행되는 1액형과 경화제가 별  
도의 용기로 공급되는 2액형으로 양분되어 있으며, 실록  
산폴리머, 보강제, 가교제, 촉매를 주성분으로 구성되어  
있다. 2액형은 금형제작과 전기설비의 봉합제, 건축물의  
공간 충전제로 사용되고, 1액형은 자동차, 전기, 항공기,  
건축물의 씰링 및 접착제로 사용되고 있다.

#### 5.6.2 고온 경화형 실리콘 고무

고온경화형 고무는 가공에 있어서 일반고무와 비슷한  
공정을 거치므로 타 실리콘 제품에 비해 친숙한 물질이지  
만 그 특성에 있어서 천연 및 합성고무에 비하여 우수한  
특성이 많기 때문에 그 재료의 하나가 되었다. 일반적인  
조성은 실록산 폴리머, 보강제, 가교제들이 여러 조합의  
형태를 갖고 있으며, 압축, 사출, 이송, 도포, 압출, 발포  
성형의 방법으로 가공되어진다. 주용도로써 전선피복, 리  
모콘 등의 키패드, 도전성 고무, 주방용품의 가스켓, 고  
온용 호스, 자동차 부품의 부츠/튜브 등이다.

폴리실록산에 대한 학문적 산업적 연구/응용은 그 범  
위의 제한이 없으며, 지금 이 순간에도 많은 종류의 논문  
과 특허, 제품들이 연구소, 기업체들로부터 생산되고 있  
으며, 앞으로도 더욱더 많은 연구와 발전의 깊이가 깊어  
지고 범위가 넓혀지게 될, 한 종류의 독립적인 학문 분야  
가 될 것이라고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. S. J. Clarson and J. A. Semlyen, "Siloxane Polymer",  
Prentice Hall, New Jersey, 1993.
2. R. Reti, "Introduction to Silicone", TIS Report, Dow  
Corning, 1969.
3. J. M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon, "Silicone-Based  
Polymer Science", The American Chemical Society,  
Makaha, Oahu, Hawaii, 1987.
4. W. Noll, "Chemistry & Technology of Silicones", Aca-  
demic Press, Orlando, Florida, 1968.