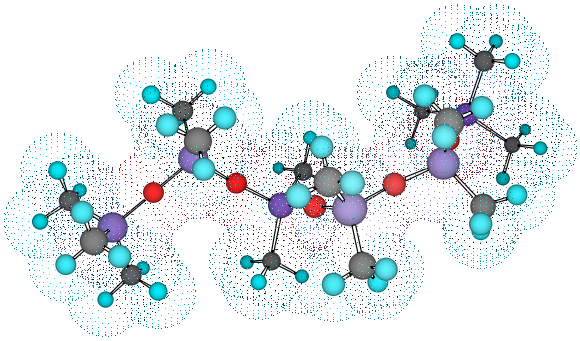
제 2 장 실리콘 일반

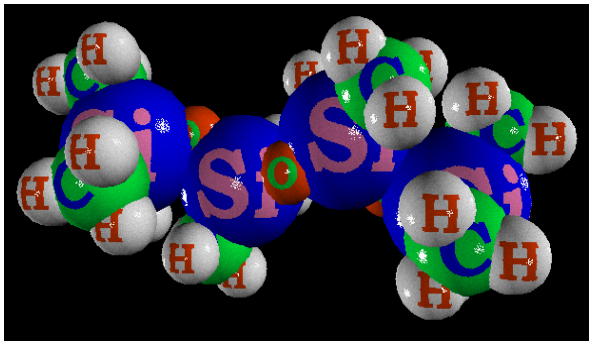
1. 실리콘 개요

현재 산업적으로 사용되고 있는 재료는 크게, 무기 재료, 금속 재료 그리고 고분자 재료의 세 가지 형태이다. 이 중 고분자 재료는 그 제품의 종류가 가 장 다양하며 새로운 합성 기술로 신제품이 끊임없이 개발되어지고 있다. 그 중에 실리콘 재료는 그 역사가 상대적으로 그리 길지는 않다. 1960년대에는 꿈의 재료로 널리 알려지기 시작했다. 현재에는 거의 모든 산업에서 비중 있는 역할을 하는 재료로 사용되고 있다. 아직은 그 사용 규모나, 응용분야에 있어서 많은 발전을 계속할 수 있는 재료라 할 수 있다. 지구상에서 두 번째로 풍부하게 존재하는 원료인 SiO2를 이용한 실리콘 재료는 최근 환경 문제가 대두되고 있는 시점에서 많은 유기 고분자 재료를 대체하고 있어 그 환경 친화성을 증명해 주고 있다.

실리콘의 역사에 대해 정리를 하면 다음과 같다.

- 1824년: J.Berzelius가 Quartz으로부터 Si추출, Chlorine과 반응시켜 SiCl4합성.
- 1863년: Friedel & Crafts가 Si-C결합을 최초로 합성.
- 1899-1944년: F.Kipping이 Silicone에 대해 체계적으로 연구,발표.“Silicone”이라 최초 명명.
- 1930년: F.Hyde (Corning Glass Co)는 Silicone을 상업적으로 연구.
- 1943년: 최초의 실리콘 회사, Dow Corning Corp., 가 설립됨.
- 1944년: GE Silicone 설립됨.
- 최초의 Silicone 제품은 DC-4 Grease이며, 세계 2차 대전 중 군사적 수요에 의해 급신장.





<선형 Polydimethylsiloxane의 모형>

실리콘의 명명

실리콘의 구성 원소 중 Si (Silicon)는 모래 즉, 이산화 규소 (SiO2)로부터 얻어진다. Si 원소는 주기율표에서 IVB족에 속하는 원소로서, 원소 번호: 14, 질량: 28.0855 인 무기 원소이다.

실리콘 화학에서 사용되는 명칭과 그 의미에 대해 살펴 보면 다음과 같다.

- Silica: SiO_2
- Silicon: 순수한 Si 금속, 지구상의 crust의 28%임.
- Silane (Organosilane): Si-R4
- Silicate: Si, O 그리고 다른 금속의 복합체
- Siloxane (Organopolysiloxane): $Si-O_{1/2-2}$
  * Fluid (Oil): 선형 고분자
    PDMS (Polydimethylsiloxane)
    Functional Fluid: PDMS에 관능기가 결합된 형태 (-OH, $-CH=CH_2$, $-NH_2$, $-C_6H_5$, $-C_nH_{2n}CH_3$ 등)
  * Gum : 초고분자의 Linear Polymer
  * Resin : 3차원적 Siloxane구조의 고분자
- Elastomer (RTV, HCR 등): Silane/Siloxane이 가교되어 Network를 형성한 상태

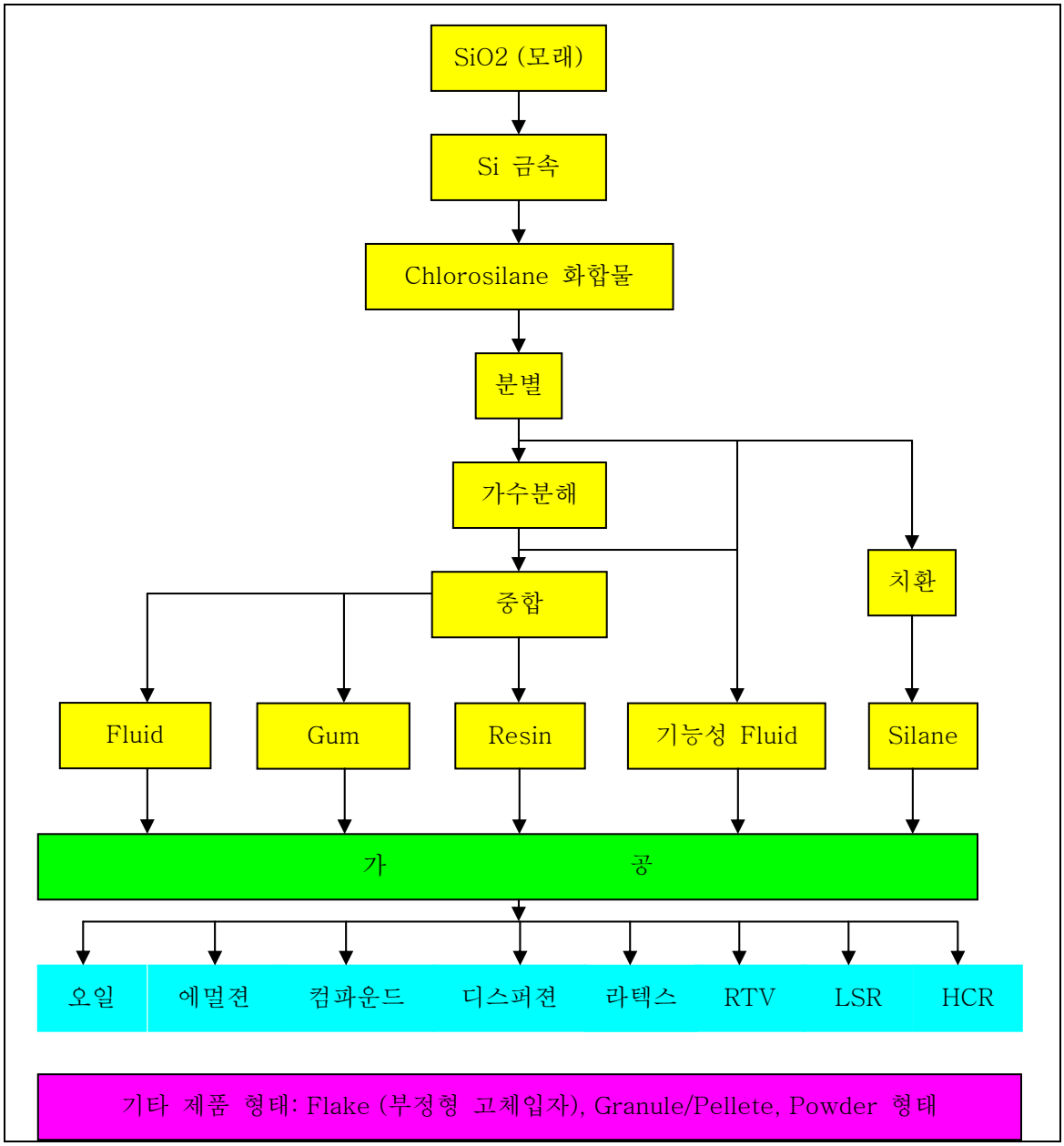
2. 실리콘 수지의 제조 방법

실리콘의 제조 방법에는 크게 Direct Process와 Grignard Process가 있다. 공업적으로는 대량 생산에 적합한 Direct Process가 사용되고 있다. 여기서는 주로 Direct Process에 대해 설명한다.

2.1 전반적인 제조 방법

실리콘 제품의 전반적인 제조 공정을 도식화하면 다음과 같다.

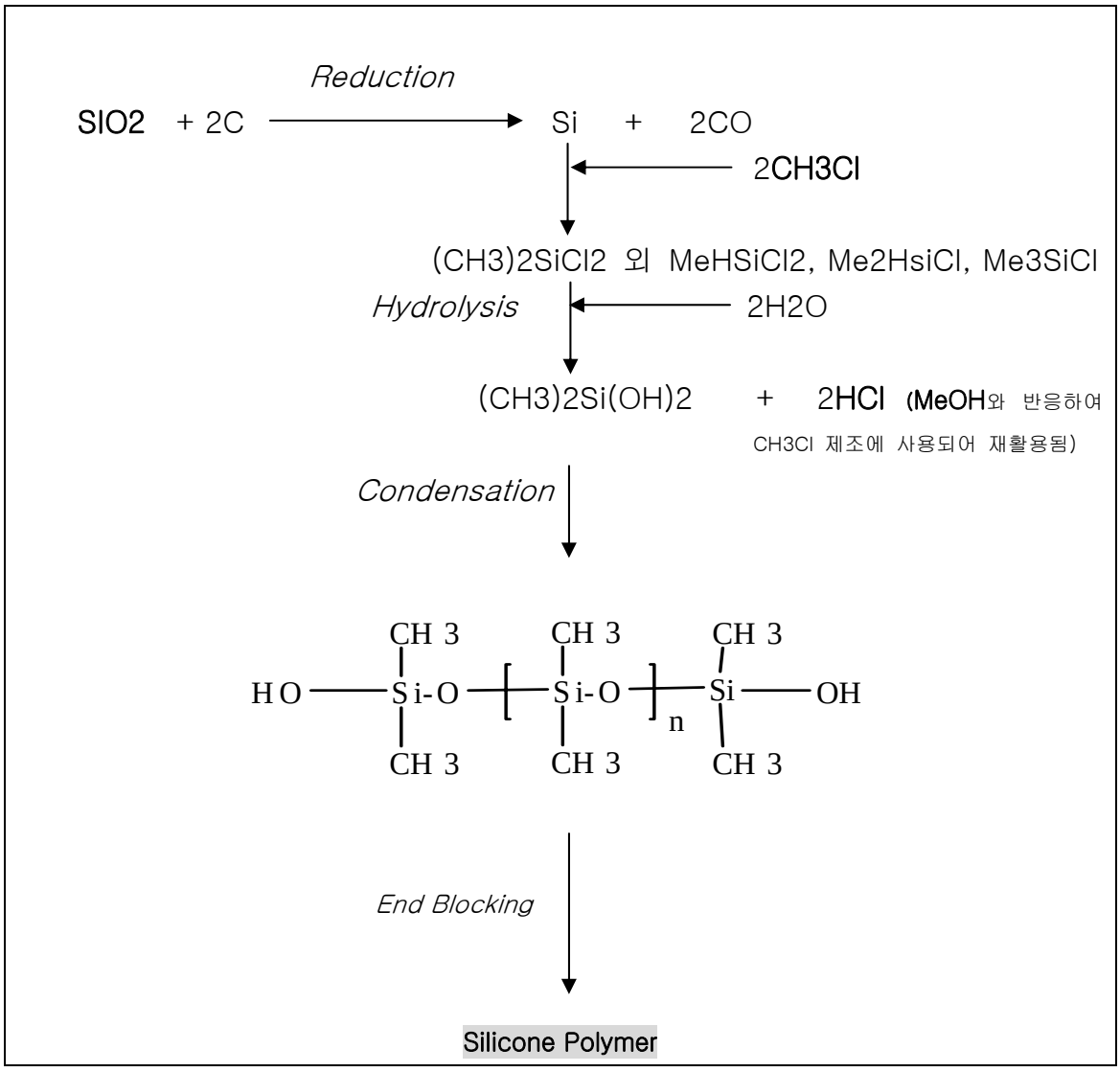
<실리콘 제품의 제조 공정도>



2.2 실리콘의 합성

Silicone의 기본적인 합성 메커니즘은 다음과 같다.

<실리콘 제품의 기본적인 합성 메커니즘>



2.3 제품별 제조 방법

실리콘 제품의 형태에 따른 분류는 이전에 기술하였다. 그리고 관능기에 따라 분류하면 다음과 같은 제품들이 있다. 이는 유기화학의 관능기와 거의 유사하다 - Alkyl기, Aryl기, Allyl기, Alkenyl, Amido, Amino, Fluoroalkayl, Halide, Epoxy, Carboxy, Hydroxy, Alkoxy, Methyl Hydrogen 등.

그리고 Si를 포함하는 Copolymer에는 다음과 같은 것들이 있다. Siloxane-urethane copolymer, Siloxane-polycarbonate copolymer, Siloxane-polyester copolymer, Siloxane-polyimide copolymer, Acryloxymethylsiloxane, p-Styrylsiloxane, Polysilformal (Silicone과 Aldehyde와의 Copolymer 등.

여기서는 각 실리콘 제품의 제조 방법에 대해서 알아보겠다.

1. 실란 (Silane)

실란의 제조 이전에, 실리콘 합성의 가장 기본이 되는 Si (Silicon) 금속의 제조 과정은 다음과 같다.

$$SiO_2 + 2C \xrightarrow{2600\ C} Si + 2CO$$

여기서 Silicon은 98% 순수한 제련된 금속이다.

위에서 제조된 Si 금속을 이용하여 Silane을 만드는데, Silane의 일반적인 제조 방법인 **Direct Process**에 대한 설명이다. 두 가지 방법이 있다.

1) $Si_{(s)} + HCl_{(g)} \longrightarrow HSiCl_3 + SiCl_4 + H_2 + DPR$

2) $Si_{(s)} + MeCl_{(g)} \longrightarrow Me_xSiCl_{(4-x)} + by\text{-}products$

#1)의 방법으로 제조된 HsiCl3나 SiCl4는 각각 Resin이나 Silica 또는 그 외 특수한 제품을 만드는 데 원료로 사용된다.

다음은 Direct Process 중 상기 #2) 반응에 의해 Silane 제조시 생성된 Silane의 종류와 함량 그리고 B.P에 대해 정리한 내용이다.

주 생성물	명명	함량	B.P, Degree C/760mm
Me_2SiCl_2	dimethyldichlorosilane	70~90	70.2
$MeSiCl_3$	methyltrichlorosilane	3~15	66.1
Me_3SiCl	trimethylchlorosilane	0~3	57.3
$MeHSiCl_2$	methyldichlorosilane	3~20	40.4
Me_2HSiCl	dimethylchlorosilane	1~10	35.4
Me_4Si	tetramethylsilane	0.1	26.2

제품의 함량은, 사용되는 촉매, 반응 조건, 반응물에 따라 좌우된다.

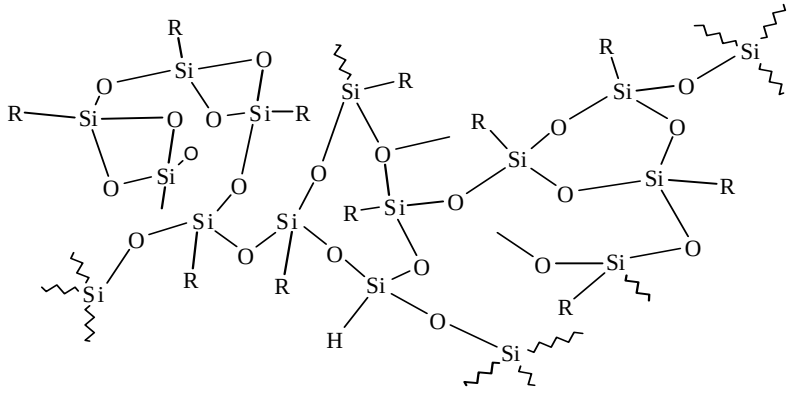
2. Resin

Resin은 삼차원적 망상 구조를 가지므로, 반응기가 세 개인 Trichlorosilane의 가수분해로부터 제조된다.

$RSiCl_3 + H_2O \dashrightarrow [RSi(OH)_3] + HCl \dashrightarrow (RSiO_{3/2})_n$

Silicone Resin (=Silsesquioxane)

Silicone ResinÀÇMolecular Structure



예, Phenyl Resin, H-Resin

3. Polymer

실리콘 산업에서 가장 많이 사용되는 형태의 제품으로 여러 형태의 가공품의 원료로도 많이 사용되며, 타 제품과 반응 또는 단순 혼합의 원료로도 사용되며, 단독으로 사용되는 경우도 있다. 여기서는 흐름성이 있는 Fluid와 초고분자량의 Gum을 다 포함한다.

Polymer 제조 단계는 일반적으로 다음과 같다.

1) 제조하고자 하는 Polymer의 구조를 정한다.
2) 촉매를 정한다.
3) Endblocker 선정, Acid: MM. Base: MD2M, MDM.
4) 원료를 투입하여 일정 온도 조건에서 반응시킴
5) 촉매의 중화 (Neutralization)
6) 여과 (Filtration)
7) 증류 (Stripping)

참고로 촉매 선택시 다음 사항을 고려하여야 한다.

A. Base를 사용해야 되는 Polymer: PDMS, Trifluoro, Phenyl, Vinyl, amino polymer.

B. Acid을 사용해야 되는: PDMS, SiH, Carboxylic, Mercapto polymer

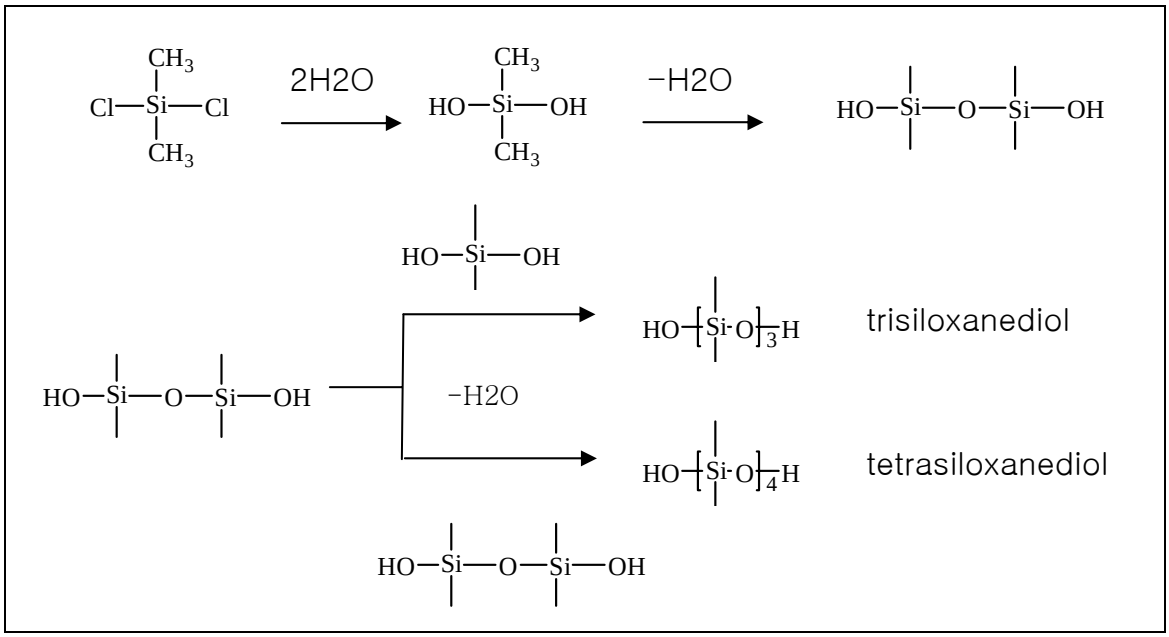
축합 반응 및 평형 반응용 반응 촉매에는 다음과 같은 것들이 사용된다.
염기성 촉매: KOH, Bu4P+ Silanoate, Me4NOH
산 촉매: H2SO4, Triflic Acid, Filtrol (H2SO4 Clay), Tonsil (HCl Clay), Amberlyst (H+ Resins)

실리콘 모노머에는 선형 구조와 환형 구조의 두 가지가 있다. 그들을 중합하여 Polymer를 생성시키는 반응에는, 축합 반응 (Condensation Reaction), 평형 반응 (Equilibration Reaction)이 있다.

먼저 축합 반응에 대해 알아보자.
축합 반응에 의해 폴리머를 중합하기 위해서는 Chlorosilane의 가수분해 공정을 먼저 거쳐야 한다. Monochlorosilane은 주로 Endblocker로 사용되며, Silane 중에서는 Dichlorosilane이 가수분해되어 폴리머의 중합 원료로 사용된다.

다음은 폴리머 제조시주원료가 되는 Dichlorosilane의 가수분해 반응에 관해 반응을 정리한 것이다.

<Dichlorosilane의 가수분해>



위의 반응에서 생성된 Monomer들은 축합 반응을 통해 Polymer가 된다.
n HO-(Me2SiO)m-H -----→ HO-(Me2SiO)nm-H

4. 에멀젼

에멀젼이라는 것은 서로 섞이지 않는 두 상을 계면활성제를 첨가하여, Shear를 가하여 일정 크기 이하의 입자를 가지는 안정한 분산상을 말한다. 실리콘 에멀젼에는 제조 방법에 따라 두 종류가 있다.

1) 기계적인 유화 제품
Silicone Polymer를 유화제를 사용하여 물에 안정하게 분산시켜 놓는 방법이다. 유화제로를 비이온계, 양이온계, 음이온계 및 양쪽성 이온계의 유화제가 사용되며, 섬유 산업에서는 이온성 차이 때문에 많은 문제점이 있을 수 있으므로, 특별한 목적이 있거나 안정성이 우수해야될 경우 및 이온성이 필요한 경우 외에는 비이온계 계면활성제가 사용된다. 유화 장비로는 일반 단순 Mixer, Colloid Mill, Homogenizer, Sonolater, High Shear Mixer 등이 사용된다.

2) 유화 중합 제품
원료 (D4 등의 cyclic 제품)를 먼저 유화시키고, 형성된 Micelle 내에서 중합을 시켜 고분자량의 에멀젼을 얻는 방법으로, 계면활성제는 비이온 계면활성제와 중합 촉매도 함께 하는 이온성을 띄는 계면활성제의 두 가지를 사용되는 경우가 대부분이다.. 음이온 계면활성제 예, R-C6H4-SO3H
유화 중합시, Endblocker의 비율이 에멀젼 내의 polymer의 분자량을 결정한다.

5. 실리콘 고무

실리콘 제품을 언급할 때 일반적으로 고무라 하면, LSR, RTV 및 HCR로 성형된 고무를 말한다. 여기서는 경화되어 고무의 물성을 가지는 SWBE와 Dispersion도 함께 언급한다.

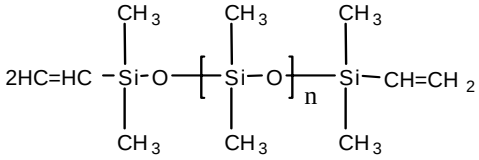
i) LSR (Liquid Silicone Rubber)

보통 2 액형의 제품으로 만들어진다. 한 부분은 주폴리머와 촉매 그리고 첨가제를 함유하며, 다른 한 부분은 가교제와 일부 첨가제를 함유한다. 원료의 종류에 따라 여러 가지 물성의 제품을 얻을 수 있다. 제조 방법은 열을 가하면서 고전단력으로 교반하여 제조한다. 주제는 주로 Vinyl기를 가지는 polymer이다.

I. Raw Materials in LSR

Part A

1. Base Polymer



2. Catalyst

Pt Compound

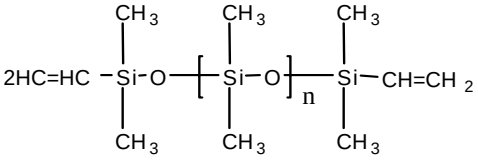
3. Filler

4. Adhesion Promoter

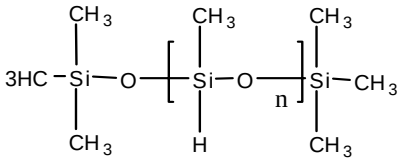
5. Additive

Part B

1. Base Polymer



2. Crosslinker

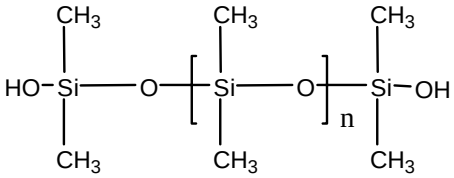


ii) RTV (Room Temperature Vulcanizing)

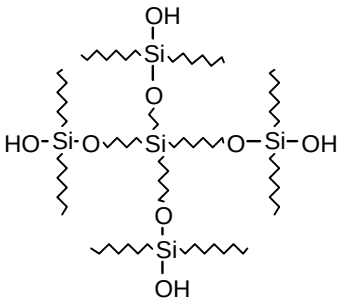
보통 1 액형 제품으로서 한 제품 내에, 주제, 가교제, 접착 증진제,촉매 등을 포함하고 있다. 제조은 고전단력으로 교반하여 제조한다.. 주제는 주로 Hydroxy기를 가지는 polymer이다.

I. Raw Materials in RTV

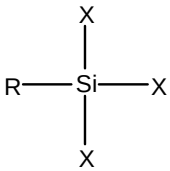
1. Dimethylpolysiloxane, -OH terminated



2. Filler



3. Crosslinker



4. Additive

5. Special Additive

6. Catalyst

iii) SWBE (Silicone Water Based Elastomer)

에멀젼의 제조 방법 중, 유화 중합 방법과 동일하다. 현재까지의 기술로 만

들어진 수용성 코팅제는 그 물성이 용제형이나, 100% Silicone Rubber 제품보다는 기계적 물성이 약하다.

iv) Dispersion (Solvent based Dispersion)

이 형태의 Rubber는 보통 3액형의 제품이다. 초고분자량의 실리콘 Gum을 용제 (주로 Toluene)에 녹여 놓은 주제와, 가교제와 촉매의 3액형 제품이 대부분이다. 사용되는 주원료는 주로, Hydroxy기나, Vinyl기를 가지는 원료이다.

V) HCR (High Consistency Rubber)

초고분자량의 Silicone gum과 Silica 등을 milling하여 제조한다. 주로 2액형으로 주제와 경화제로 이루어진다.

6. 기타

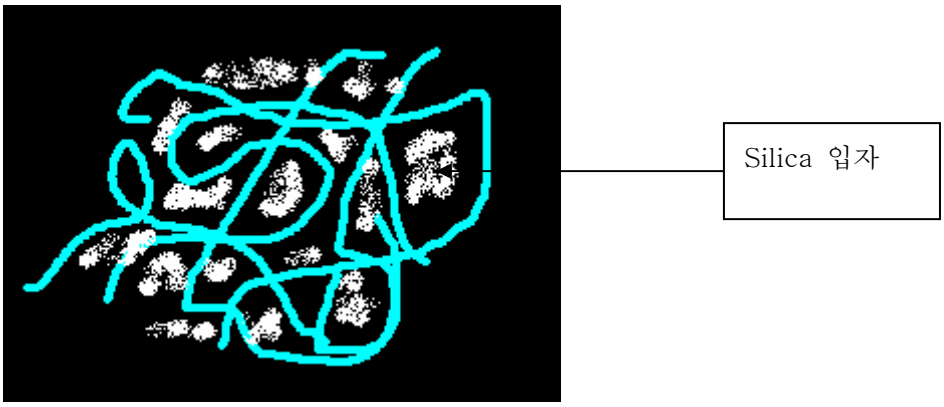
Silica

실리카의 종류에는 Fumed silica, Precipated Silica, Treated Silica 등이 있다.

Silica는 반응기가 네 개인 Tetrachlorosilane으로부터 만들어진다.



Silica는 실리콘 고무 내에서 충진제 역할을 하여 기계적 물성을 강화시킨다.



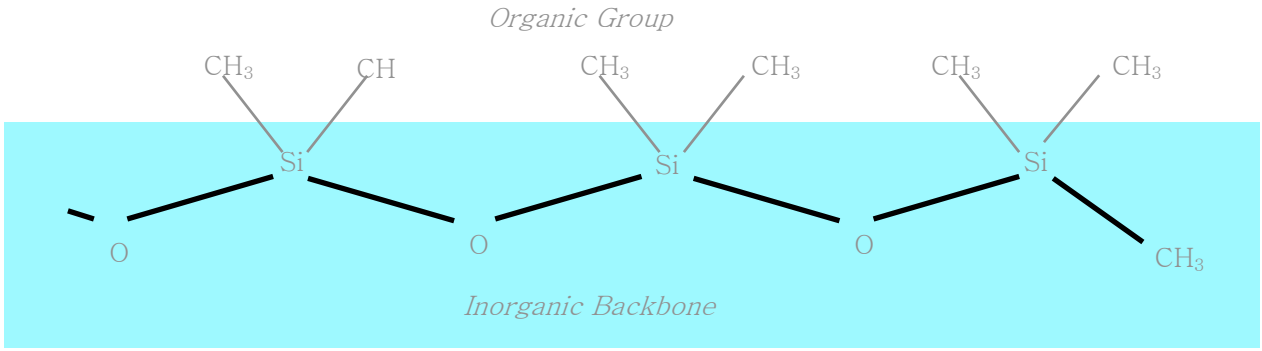
Flake, Pellet에 대해서는 생략한다.

II. 실리콘 수지의 일반적인 특성

1. 실리콘 분자의 특성

실리콘 분자의 특성은 일반 유기 화학 제품의 분자 특성과 다른 점이 많이 있다. 그러한 특유의 실리콘 분자의 특성은 결과적으로 실리콘 재료의 여러 가지 장점과 단점에 직접적으로 관련이 있다.

<실리콘의 분자의 구조 및 주쇄의 특성>



Si-O 결합은 움직이기 자유로움 Si-O 결합은 안정

Rotation About the Bonds	
C-C	3.3 kcal/mol
Si-O	0.2 kcal/mol

Bond	Strength
C-C	85 kcal/mol
C-O	81 kcal/mol
Si-O	117 kcal/mol

Bond	Angle	Length
C-C	112 °	0.154 nm
C-O	111 °	0.142nm
Si-O	130 °	0.163nm

실리콘 분자의 가장 특징적인 것은, Si-O의 무기 주쇄와 CH3의 유기 측쇄, 즉 유기와 무기 결합이 동시에 존재한다는 것이다. 따라서 Silicone이라는 물질은 Si-O로부터 얻어지는 무기물의 특성과 CH3 등의 유기 부분으로부터 얻어지는 유기물의 특성을 동시에 가지고 있어 그 특성이 특이하다.

- Si-O 무기 주쇄: 높은 표면 에너지를 가짐. 기질과의 접촉면과 상호 작용을 함.
- CH3 유기 측쇄: 낮은 표면 에너지를 가짐. 실리콘의 표면 특성을 나타냄.
  - 소수성
  - 상호간의 낮은 분자력으로 인한 낮은 표면 에너지를 가지며, 그것은

분자의 표면장력을 낮게 함.

일반적으로 실리콘 분자의 특성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 결합이 길고 강하고 안정함.
- 분자의 움직임이 자유로움
- 사슬이 서로 엉키지 않음
- 끈적거리지 않음
- -CH3 기의 불활성 때문에 낮은 분자간 인력을 가짐
  - CH3기 간의 낮은 분자간 인력은 낮은 표면 에너지에 영향을 미치고 이는 또 낮은 표면 장력과 관련이 있다.
  - Silicone의 유동적인 주쇄는 CH3기의 효과를 증대시킨다.
  - 고분자량의 폴리머라도 유기 폴리머에 비해 흐름성이 탁월하다.

다음은 실리콘과 지방족 탄화 수소계의 화학적 특성을 비교한 것이다.

	실리콘계	지방족 탄화 수소계
전기 음성도	Si - 1.8	C - 2.5
회전 에너지, kcal/mole	Si-O: 0.2	C-C: 3.3
결합 에너지, kcal/mole	Si-O: 117	C-C: 85, C-O: 81
결합 길이, nm	Si-O: 0.163	C-C: 0.154 C-O: 0.142
결합 각	Si-O: 130	C-C: 112 C-O: 111
Tg	PDMS: -121 C	

다음은 실리콘의 물리적인 특성에 대해 알아본다.

2. 실리콘의 화학적, 물리적 특성

실리콘은 다른 고분자 재료에 비해 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

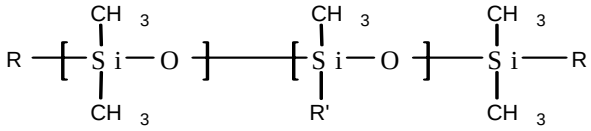
- 고분산성, 낮은 표면 에너지 및 표면 장력: CH3 기, Si-O 결합의 자유로운 회전에 기인함. 낮은 표면 장력. 실리콘은 그 보다 낮은 표면 장력을 갖는 계면에 분산성이 우수. 표면을 완전히 둘러싸고, 탁월한 분산성을 가짐.
- 소수성: 표면을 둘러싼 소수성의 CH3에 기인.
- 높은 공기 투과성: Si-O 결합의 긴 길이와 자유로운 회전, 높은 공기 투과성은 Si-O의 강한 결합력과는 관련이 없음.
- 우수한 내후성: UV 를 흡수하지 않음
- 열적안정성 - 내열성, 내한성, 낮은 Tg, Tm
- 높은 Flash Point
- 낮은 극성, 비자극성, 화학적, 생리학적 불활성
- 낮은 증발열 - Si 금속 때문.
- 내산화성, 내오존성
- 전기 절연성, 낮은 전기전도성
- 유동성, 유연성
- 수증기, 공기 투과성
- 높은 압축성

실리콘의 단점으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 일반적으로 타 유기 고분자와의 상용성이 좋지 않음
- 강산과, 강알카리에 의해 분해될 수 있음
- 코팅시 방청성이 약함
- 타물질과의 접착이 어려움
- 유기 고무와 비교시 인장 강도, 인열 강도가 낮음

다음은 실리콘 제품의 관능기에 따른 제품의 특성을 정리하였다.

<제품의 관능기에 따른 실리콘의 특성>



관능기	관능기 위치	반응성	기능 (부여 특성)
Phenyl	R'	무	내열성
Fluoro	R'	무	내화학성
Amino	R 또는 R'	유	유연성
Methoxy	R	유	내구성, 가교제
Acetoxy/Hydroxyl	R	유	RTV 가교제
Glycol (Carbinol)	R 또는 R'	유/무	수용성, 계면활성제/윤활제
Vinyl	R	유	LSR 주제
Hydrogen	R'	유	발수성, 가교제
Alkyl	R'	무	유기 폴리머와의 상용성 우수
Aryl	R'	무	유기 폴리머와의 상용성 우수

다음은 실리콘의 분자특성과 그 효과 및 응용분야에 대해 정리한 내용이다.

<실리콘의 특성에 따른 응용 분야>

실리콘 분자 특성	효과	응용 분야
긴 Si-O 결합	유동성, 유연성 낮은 표면 장력 공기 및 수증기 투과성 내한성, 우수한 가공성	씰란트 소포제 코팅제 씰란트
넓은 Si-O 결합 각	자유로운 회전, 낮은 Tg, Tm	건축용 코팅, 산업 자재 코팅
강한 결합 에너지	열안정성, 내후성 제한된 용해성	건축용, 내열성을 요하는 용도
화학적 불활성	독성이 없음 연소시 무독성	환경 친화적인 응용 분야 FDA 승인 요하는 응용 분야 식품용, 의료용, 인체 접촉
CH3의 낮은 분자간 인력	낮은 표면 장력 제한된 용해성 소수성의 표면 특성 유연성 공기 투과성	소포제 발수제 섬유 유연제 코팅제

III. 실리콘 수지의 응용

실리콘 원료들은 오일, 에멀젼, 용제형, 고무 등의 형태로 가공되어 사용되어져 각 산업의 공정에 사용되어진다. 실리콘이 사용되는 응용 분야는 거의 전 산업에 걸쳐 사용되며, 그 응용 분야가 계속 개발되고 있다.

1. 제품의 응용 분야

실리콘 제품이 응용되는 산업 분야를 분류하면 다음과 같다.

- 항공 우주 산업: 윤활유
- 자동차 산업: 에어백, 윤활유, 내마모성, 내유성이 요구되는 분야
- 건축 산업용: Glazing, 방수, Roofing sealing, 건물의 방화 등의 분야
- 일반 화학 산업, 석유화학: 공정 조제
- 생활 소재: 샴푸, 화장품, 가정용품
- 전기, 전자 산업: 보호, 접착, 절연 코팅제
- 식품용: 공정 조제
- 의료용, 약품용: 의료용 호스
- 페인트, 코팅용: 소포제, 보호 코팅제
- 고무 가공: 고인열, 고신율, 고강도, 도전성, 절연성, 난연성, 성형품, 패킹 등의 응용 분야
- 플라스틱: 개질제, 광택제, 이형제
- 제지용: 종이 또는 라벨용 점착제, 종이 이형지
- 섬유, 피혁용: 섬유 및 피혁 유연제, 공정 조제, 코팅제, 윤활제

2. 제품의 형태 및 사용 방법

2-1. 실리콘 제품의 형태

실리콘 제품의 형태에 따른 종류에는 다음과 같은 것들이 있다.

•Silicone Fluid: PDMS, Organofunctional Fluid 등의 흐름성이 있는 Silicone Polymer.
•Silicone Gum: 초고분자량의 Silicone polymer.
•Silicone Resin: 3차원 상의 가교된 구조의 Silicone polymer
•Silicone Compound: Silicone Oil과 무기물이 Compounding된 형태
•Silane: Silicone Polymer 이전의 단량체 단계의 형태.
•Silicone Emulsion: 실리콘 polymer를 유화제를 사용하여 안정한 상태로 분산시켜 놓은 상태. Mechanical Emulsion, EP Emulsion 등
•Silicone Rubber: 실리콘 폴리머, 가교제, 촉매 및 기타 첨가제로 조성된 제품으로 경화되어 탄성체를 형성하는 제품으로서, RTV (Room Temperature Vulcanizing), LSR(Liquid Silicone Rubber), HCR(High Consistency Rubber), SWBE(Silicone water based elastomer), Dispersion 등의 제품이 있다.
•기타: Flake (부정형 고체입자), Granule/Pellete, Powder 등의 형태의 실리콘 제품이 존재한다.

LSR과 RTV에 대해 조금 더 상세히 알아보면 다음과 같다.

* 액상 실리콘 고무 (LSR, Liquid Silicone Rubber)
  - 비용제형의 흐름성이 있는 2액형 또는 1 액형 고무
  - 경화되었을 때, 탄성 필름을 형성.
  - 열경화가 일반적이나, 상온에서도 경화됨.
  - 열안정성, 내수성, 내화학성 및 내마모성이 우수
  - 제품에 따라 물리적 특성이 다양
  - 안료와 혼용 가능

* 상온 경화형 고무 (RTV, Room Temperature Valcunizing)
  - 1액형의 상온 경화형 고무
  - 열안정성
  - 우수한 접착력
  - 우수한 물리적 특성을 가짐.

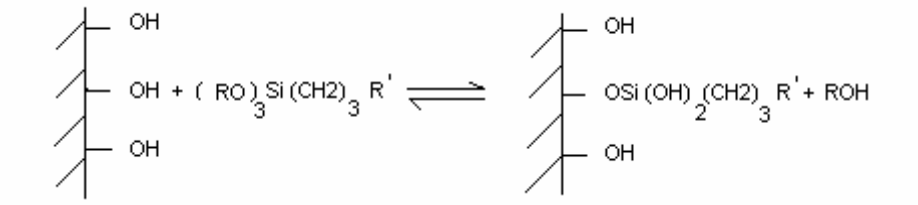
2-2. 실리콘 제품의 사용 방법

각 형태의 제품별로 그 사용 방법에 대해 알아보면 다음과 같다. 여기서는 대표적 제품과 그것의 일반적인 사용 예를 간단하게 서술한다.

Silane

Silane 제품이 단독으로 사용되는 경우는 주로 Coupling Agent 또는 Primer 로 사용되어질 경우이다. 예를 들어 플라스틱 기질에 실리콘을 코팅할 경우에 접착성이 저조할 경우 Silane을 처리한다. 이 때 Silane을 적절한 용제에 저농도로 희석하여 Brush나 Spraying 방법 등의 적적한 방법으로 처리하여, 상온에서 건조시킨 다음, 코팅제를 처리한다.
<실란과 기질 또는 다른 폴리머와의 반응>

Silane은 여러 가지 관능기의 제품이 있어 기질에 따라 사용되는 제품이 다르다. 일반적으로 Silane은 -OH기를 가지는 대부분의 기질과 우수한 접착력을 가진다.



Resin

Resin 제품은 주로 페인트 첨가제로 많이 사용된다. Acryl 페인트에 첨가되어, 내열성, 내후성, 라벨링성 등을 향상시키는데, Acryl 페인트에 단순 첨가되어 사용된다.

Silicone Fluid

단독으로는 타 유기 재료에 첨가되어 사용되는 것이 대부분이며, 주로 유화되어 수성계에 사용된다. 예를 들어 섬유 유연제로 사용되는 경우에 아미노 오일은, 유화제를 사용하여 유화된 후, 물에 저농도로 희석하여 Padding Process 또는 Exhaustion 방법으로 천 또는 옷감에 처리된 후 건조 및 경화되어진다. 아미노 유연제외에 다른 실리콘 오일도 섬유 산업에 사용될 때는 대부분 유화된 형태로 사용된다.

실리콘 고무

i) LSR

LSR 고무는 주로 2 액형의 형태로 공급이 되는데, 성형품으로 사용되기도 하고, 표면 코팅제로 사용되기도 한다. 섬유 산업에서의 응용 예를 들면, 다음과 같다.

우선 LSR의 주제와 경화제를 골고루 교반한다. 코팅하고자 하는 원단에 처리한다. 이 때 사용되는 코팅 설비는 주로 Knife 코팅 설비이다. 건조 및 경화한다.

ii) RTV

1액형의 제품으로 주로 카트리지 형태로 판매된다. 실란트 건 등의 기구를 사용하여 처리하고자 하는 부위에 제품을 처리한 후 상온에서 경화시킨다.

부록

APPENDIX 1. Bond-cleavage energy (Unit : kcal/mol)

X	Si-X	C-X
Si	83	87
C	87	83
H	94	94
N	77	73
O	108	85
S	61	65
F	135	116
Cl	106	81
Br	74	68
I	56	51

APPENDIX 2. 실리콘 화학에서 사용되는 화학명과 그 의미

명칭	표기 설명	설명, 예
Silane	1 Si atom, -Si-	SiH4 Dichlorosilane: H2SiCl2 Dimethyldichlorosilane: Me2SiCl2
Disilane	2 Si atoms, -Si-Si-	H3Si-SiH3
Trisilane	3 Si atoms, -Si-Si-Si-	
Polysilane	다수의 Si atoms, $(Si)_X$	
Siloxane	-Si-O-Si, - Silicone	Hexamethyldisiloxane: Me3Si-O-SiMe3
Disiloxane	-Si-O-Si-	
Trisiloxane	-Si-O-Si-O-Si-	
Polysiloxane	: $-(Si-O)_X-$	Polydimethylsiloxane (PDMS) $Me_3SiO(Me_2SiO)_xSiMe_3$
Silanol	Si-OH	Trimethylsilanol: Me_3SiOH
Silazane	Si-N-Si	
Silthiane	Si-S-Si	
M	Me_3SiO	mono
D	Me_2SiO_2	di
T	$MeSiO_3$	tri
Q	SiO_4	quad

APPENDIX 3. Surface Energy values of polymers

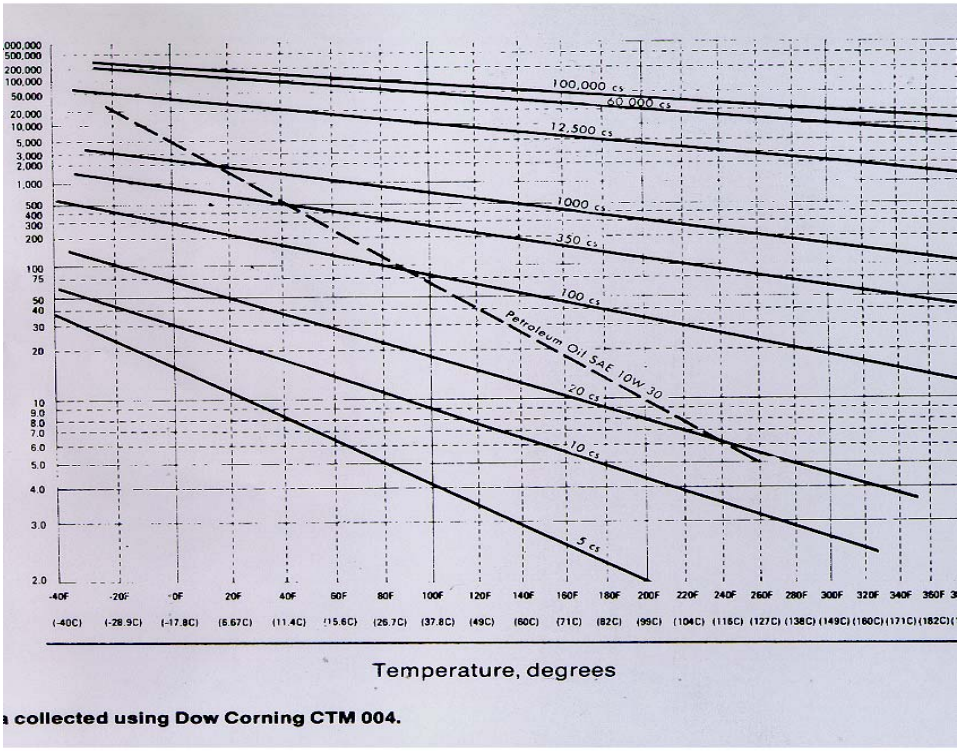
Polymer	Surface Energy (=surface Tension), mNm^{-1}
Polydimethylsiloxane	20-22
Polystyrene	33-35
Polyacrylate	35
Polyethyleneterephthalate	43
PTFE	18.5
Polyethylene	31
Wool	45
Water	72
Water+Surfactant	30
Ethanol	50

* 낮은 표면 에너지를 가질수록, 다른 물질이 접착하기 어려움.

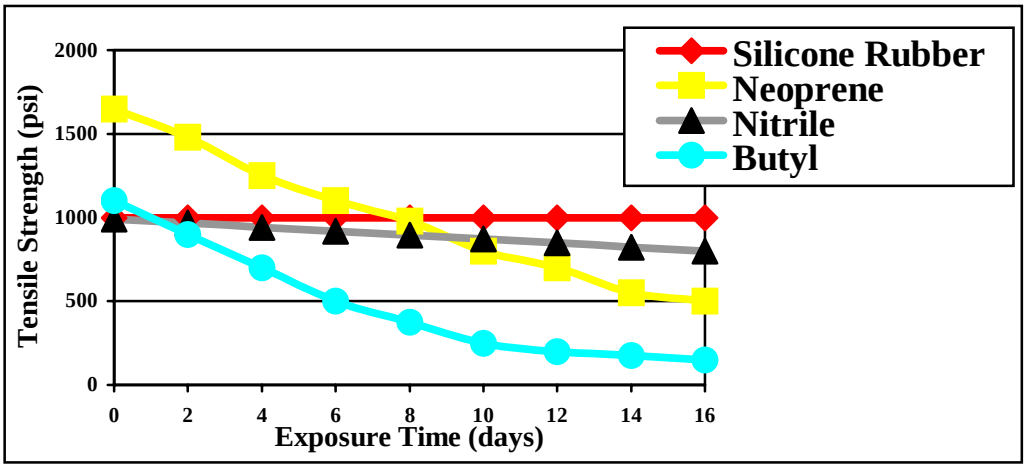
APPENDIX 4. PDMS의 점도와 분자량(Mw)의 상관 관계

점도, cs	분자량 (Mw)	중합도 (n)
5	800	10
20	2000	
50	4000	
100	6000	64
200	9500	
350	14000	
500	17000	
1000	28000	320
5000	50000	
10000	62000	730
12500	68000	
50000	-	1300
60000	117000	
100000	140000	
600000	260000	

APPENDIX 5. 온도에 대한 안정성 변화



APPENDIX 6. 실리콘 고무의 우수한 내열성



APPENDIX 7. 실리콘 고무의 수증기 투과도, 25 ℃

Material	P * 109a		
Collagen	2710 ± 800		
Silicone Rubber	1830 ± 210	Epoxy	1480 ± 113
Nylon 6	94		
Polystyrene	65 ± 12		
Polyethylene	11.3 ± 1.6		

[a]In units of cm3.cm/(s.cm2.cm Hg)

APPENDIX 8. 실리콘 polymer의 산소 투과도

Polymer	P * 109a		
Dimethylsilicone Rubber	60.0	Natural rubber	2.4
Butyl rubber	0.14		
Cellulose acetate	0.08		
Nylon 6	0.004		
PTFE	0.0004		

APPENDIX 9. 실리콘 화학에서의 주요 반응

이상