

# 이액형 액상실리콘 재료의 혼합비율 제어 시스템 개발

추성민<sup>1\*</sup>, 김영민<sup>2</sup>, 이금원<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>가톨릭관동대학교, <sup>2</sup>멤스칩

## Implementation of a Mixing-Ratio Control System for Two-Component Liquid Silicone Mixture

Seong-Min Choo<sup>1\*</sup>, Young-Min Kim<sup>2</sup>, Keum-Won Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Catholic Kwandong University

<sup>2</sup>MemsChip

**요약** 이액형 액상 실리콘 혼합비율은 혼합된 액상 실리콘 원재료를 통해 완성된 제품이 갖추어야 하는 고유의 물리적 특성에 더 부합되며 제품 품질에 중요한 요소이기 때문에 주재료와 부재료의 균일한 비율제어는 필요하다. 본 연구에서는 주재료와 부재료 각각의 원재료 이송유량을 확인할 수 있는 디지털 유량계와 유량제어시스템, 압력을 일정하게 유지함과 동시에 원재료 이송을 위한 펌핑 시스템으로 구성 되도록 혼합 비율 제어시스템을 설계 하였다. 또한 시스템과의 유기적인 연동과 혼합비율 제어를 위한 프로그램을 개발 하였다. 개발된 시스템의 검증에 위해 펌핑을 통한 실제 계량된 원재료의 중량과 유량계의 측정값을 비교 하였으며, 혼합 비율 향상 알고리즘의 적용 유무에 따른 테스트 시편을 제작하여 혼합된 재료의 물리적 특성을 측정하였다. 테스트 결과 알고리즘을 적용한 시편의 경우 경도는 46-47 범위, 인장 강도는 9.3MPa~9.5MPa 범위로 기준값에 가까운 측정값을 얻을 수 있었다. 이 결과들은 이액형 실리콘의 혼합 비율을  $\pm 0.5\%$ 이내의 오차 범위에서 제어됨을 알 수 있었다.

**Abstract** The mixture ratio of two-component liquid silicone is important for the inherent physical characteristics of the finished product. Therefore, it is necessary to uniformly control the ratio of the main material and the sub-material. In this paper, a mixing-ratio control system was designed, which consists of a digital flow meter and a flow control system to measure the flow rate of the raw materials and a pumping system to maintain constant pressure and transfer of the raw materials. In addition, a program was developed to control the organic interlocking and mixing ratio. For the verification of the developed system, we compared the actual weight of raw material with the value measured by the flow meter during pumping, and we measured the physical properties of the mixed material by making test samples with and without the application of the mixing-ratio improvement algorithm. The measured value was close to the reference value with a hardness range of 46-47 and tensile strength of 9.3-9.5 MPa. These results show that the mixing ratio of the liquid silicone is controlled within an error range of  $\pm 0.5\%$ .

**Keywords :** Air pressure method, digital flow meter, mixing-ratio control system, proportional valve, two-component liquid silicone

### 1. 서론

소재산업 제품군 중 다양한 활용성으로 인해 주목받

고 있는 소재 중 하나인 실리콘(silicone:유기실리콘)은 소재 자체가 갖고 있는 물리적, 화학적 특성으로 인해 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있는 물질이다. 그 중

\*Corresponding Author : Seong-Min Choo(Catholic Kwandong Univ.)

Tel: +82-10-3793-5365 email: btchoo@naver.com

Received August 8, 2018

Revised (1st September 4, 2018, 2nd September 18, 2018)

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

이액형으로 구성되어진 액상실리콘고무는 원재료 단가가 높아 개발되어진 이래 유아용품 및 의료기기, 우주 항공분야 등 특성상 꼭 필요한 곳에만 사용되어 왔으나, 산업의 발달과 액상실리콘고무의 사용량 증가로 인해 제조 단가가 많이 낮아져 지금은 전기전자, 기계, 자동차 및 건축토목과 가정에서 사용하는 화장품, 식품공업 등 그 활용도가 점차 높아지고 있다[1-2].

실리콘(Si)은 크게 무기실리콘(Silicon)소재와 유기실리콘(silicone)소재로 분류되며, 일반적으로 삼염화실란(TCS)으로부터 반도체 Wafer에 이르는 물질을 무기실리콘이라 하고, 유기염화실란(MCS)으로부터 최종제품에 걸쳐 메틸기, 에틸기, 페닐기 및 비닐기 등 유기기를 포함하는 물질을 유기실리콘이라 한다[3].

유기실리콘 제품에는 일액타입·이액타입의 상온경화형(Room Temperature Vulcanization, RTV)고무, 액상 실리콘고무, 에라스토머, 오일, 레진 등 다양하며, 특수한 열적 안정성, 절연성, 화학적 불활성 등의 특성으로 인해 거의 모든 산업 분야에서 다양한 용도로 사용되고 있다[4]. 실리콘 고무 중에서 액상 실리콘 고무(Liquid Silicone Rubber, LSR)는 많은 분야에서 이용되고 있는데 가장 큰 특징은 사용 시 대형 가공기계가 거의 필요하지 않고 반죽 또는 유동성의 액상물을 용도에 맞게 압출, 펌핑 또는 주형 등의 방법으로 성형할 수 있으며 상온 또는 약간의 가열에 의해 쉽게 가교 실리콘 고무를 얻을 수 있다는 점이다[5-6].

이액형 액상실리콘고무의 활용에 있어서 혼합비율이란 주재료와 부재료의 혼합비율이 균일할수록 혼합된 액상실리콘 원재료를 통해 완성된 제품이 갖추어야 하는 고유의 물리적 특성에 보다 더 부합되기 때문에 혼합비율의 균일함은 최종 완성 제품의 균일한 품질에 중요한 요소이다. 그러나 기존의 이액형 액상실리콘 혼합시스템에서는 펌핑되는 액상실리콘의 이송유량을 정확히 확인 할 수 없었기 때문에 액상실리콘 원재료의 혼합비율 또한 균일하게 제어되고 있는지 확인할 수 없었고, 최종적으로 만들어지는 제품의 품질도 보증할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 혼합 시스템의 문제점을 해결하기 위하여 이액형 액상실리콘 혼합비율 제어시스템을 개발하였다.

제안된 시스템은 개략적으로 주재료와 부재료 각각의 원재료 이송유량을 확인할 수 있는 디지털유량계와 이송

되고 있는 유량을 제어할 수 있는 유량제어시스템, 압력을 일정하게 유지함과 동시에 원재료 이송을 위한 펌핑(pumping)을 해줄 수 있는 펌핑시스템으로 구성되도록 설계하였다. 또한 이들 장치의 유기적인 연동과 혼합비율 제어를 위한 프로그램도 개발하였다. 개발된 시스템의 신뢰성 검증을 위하여 펌핑을 통해 실제 계량된 원재료의 중량과 유량계의 측정값을 비교분석하였으며, 혼합비율 향상 프로그램을 적용한 혼합시스템을 이용하여 시편을 제작하여 경도 및 인장강도 등 물리적 특성 평가를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 액상실리콘 혼합 시스템

액상실리콘 고무는 열가소성 플라스틱에서는 볼 수 없는 내열성, 내후성, 전기절연성, 내구성, 투명성, 높은 열전도성 등의 특성을 갖고 있다. 균일한 물리적, 기계적 특성을 얻기 위해서는 액상실리콘의 주재료와 부재료의 혼합 비율이 일정비율 이내에서 균일하게 유지해야 하며, 불균일한 비율로 제작된 실리콘 고무는 특성이 변하게 된다.

이액형 액상실리콘은 주재료와 부재료로 이루어지며, 주재료와 부재료가 1:1 혼합비로 혼합되었을 때 서로 반응을 시작하며, 열을 가할 경우 급속히 경화되도록 제조된 열경화성 고무재료로 혼합비율 제어가 중요한 요소로 작용한다.

본 연구에서는 기존의 공기의 압축성과 실린더 내부의 기계적인 마찰에서 기인된 제어계의 비선형성으로 인해 정밀한 제어가 어려운 공압 제어 시스템을 이용한 장비의 문제점을 해결하기 위해 디지털 유량계를 통해 이액형 액상실리콘 주재료와 부재료의 이송유량 및 혼합비율을 균일하게 제어할 수 있는 제어시스템을 개발하여 적용하였다.

#### 2.1.1 액상실리콘 혼합 시스템 구성

이액형 액상실리콘 혼합시스템은 주재료와 부재료가 고압이나, 유압으로 작동되는 압력펌프에 의해 펌핑 이송되어 믹싱블럭(Mixing-block)에서 합쳐지고, 교반기(static-mixer)를 통과하면서 혼합되어 시스템의 종단에 여러 형태의 주입장치나 사출장치에 의해 주형용 금형

등에 토출되는 구조를 갖는 시스템이다.

이액형 액상실리콘 혼합시스템의 펌프시스템을 기동시키는 방식에는 하나의 유·공압시스템을 이용하여 동일한 압력으로 펌프를 기동하는 단일압력 방식과 두 개의 유·공압시스템으로 주재료와 부재료 펌프시스템을 기동시키는 복수 압력 방식이 있다.

Fig. 1은 일반적인 단일압력 이액형 액상실리콘 혼합시스템을 보여 주는 사진이다.

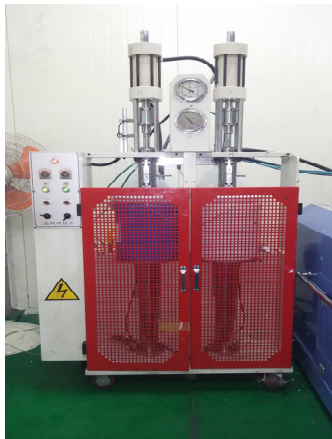


Fig. 1. Single pressure system for two-component liquid silicone mixing.

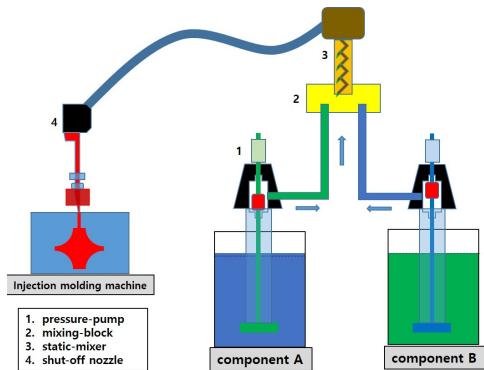


Fig. 2. Basic structure for two-component liquid silicone mixing system.

기존의 이액형 혼합시스템 구조는 Fig. 2에서 표기된 것과 같이 유·공압 실린더에 압력을 인가해주는 압력펌프가 메인장치로 A, B 각각의 펌프가 펌핑을 해서 원재료를 이송시키는 시스템으로 이송 유량을 확인할 수 없는 구조로 되어 있다. 이송 유량을 확인할 수 없는 시스템은 원재료 점도차이 또는 시스템의 구조적 변수에 의

해 수시로 바뀌게 되는 이송 유량의 편차를 보정하거나 제어 할 수 없는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이액형 액상실리콘 혼합비율 제어 시스템으로 기존의 유·공압펌핑 구조를 공압 펌핑 구조로 변경하고, 주재료와 부재료를 각각 별도의 펌프로 기동하는 복수압력 방식을 적용하였다. 또한 유량체크를 위해 디지털 유량계를 설치하여 혼합비율을 효율적으로 제어할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 3.은 본 연구에서 제안한 이액형 액상실리콘 혼합시스템을 보여주는 도식도이다.

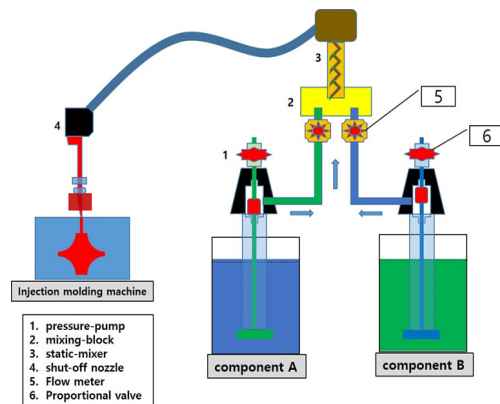


Fig. 3. Suggested liquid silicone mixing system

주재료(B), 부재료(B)의 이송 유량 및 중량을 정확히 측정하기 위한 디지털유량계(5)를 재료가 혼합되기 전 단계의 이송관로에 부착하였고, 유압식 펌핑구조 대신 공압식을 적용하였으며, 보다 정확한 펌핑압력을 제어하기 위해 공압 비례제어밸브(6)을 설치하였다.

### 2.1.2 디지털유량계 제어 프로세스

공압 펌프가 원재료를 펌핑하여 이송할 시 원재료의 점도차이, 이송관로의 구조적인 체적차이, 공급되는 공압의 불균일성 등의 다양한 변수로 인해 발생할 수 있는 이송유량의 차이를 해결하기 위해 공압 비례제어 밸브를 연결하였으며, 보다 정확한 비율의 원재료를 공급하기 위해 제어 시스템 및 제어 알고리즘을 설계 및 제작하였다.

Fig. 4는 이액형 액상실리콘의 혼합비율 제어를 위한 시스템 구성도를 보여주는 것으로, PLC, 공압실린더, 공압 비례제어밸브 및 디지털 유량계로 구성하였다. Fig. 5는 시스템 구성도를 토대로 제작한 시스템 컨트롤부과 전면 모니터링부 사진을 보여주고 있다.

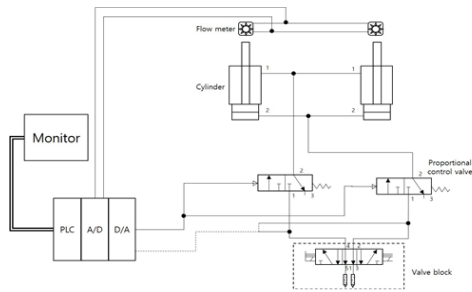


Fig. 4. Block diagram for the control of the two-component liquid silicon mixing system

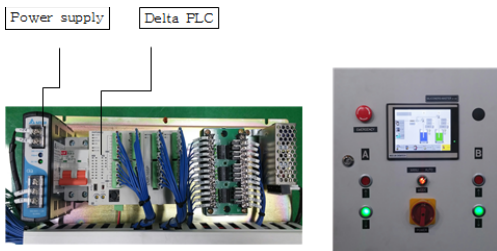


Fig. 5. Control system and front monitor part

혼합비 유지비율 항상 알고리즘은 공압 비례제어밸브가 공기의 흐름을 교축(throttle)함으로써 유량과 압력을 제어하는 일반적인 특성을 적용하여 이전 계량 시 측정된 주재료(A), 부재료(B) 각각의 유량에 대한 데이터를 기준으로 차순의 계량 시 공압 비례제어밸브의 출력 값을 제어함으로써 공압 실린더가 받게 되는 압력 값에 변화된 값을 적용하여 A, B 유량의 편차를 줄여간다는 방법론으로 설계하였다. 교축부를 통과하는 공기의 질량유량은 교축부에서의 압력차의 가감에 따라 커지거나, 작아지는 데 이러한 압력비관련 수식을 공압 비례밸브의 제어에 대입하여 혼합비율을 유지 한다.

제안된 시스템에서 사용하고 있는 공압 비례제어밸브는 전기신호에 비례하여 공기압력을 무단계로 제어하며 공압이 인가되었을 때 밸브에 0V ~10V의 전압이 공급되면 최대 1500l/min의 공기 유량이 공급되며 설정압력 범위는 0.005 ~0.9Mpa 이내에서 제어된다. 디지털유량계의 펄스 값을 비교하여 보상되는 압력값(P<sub>bar</sub>)과 비례제어밸브의 전압값(V<sub>pv</sub>)의 상관관계는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{pv} = \frac{1000}{895} (P_{bar} - 0.05) \quad (1)$$

Fig. 6은 혼합비 유지비율 알고리즘을 적용할 수 있도록 제작된 시스템의 메인화면을 보여 주는 것으로 원재료가 받고 있는 압력과 이송 유량에 대한 펄스값과 비례제어밸브의 출력값을 확인할 수 있도록 하였다.

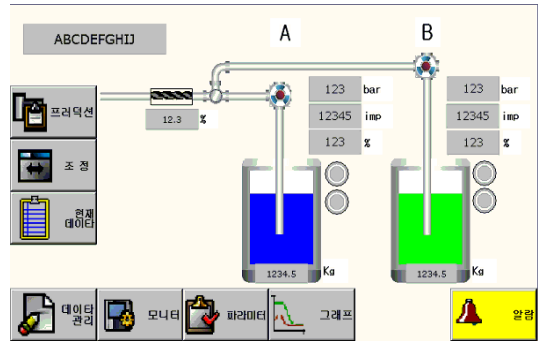


Fig. 6. Main Screen of liquid silicone mixing system

## 2.2 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 이액형 액상실리콘 혼합시스템은 Fig. 7에 보여주고 있으며, 주재료와 부재료 각각에 대한 제어 상황을 모니터링 할 수 있도록 하였으며, 제어기기의 중심인 PLC를 이용하여 하단의 공압 패널과의 배선 라인을 유기적으로 연동할 수 있도록 제작하였다.

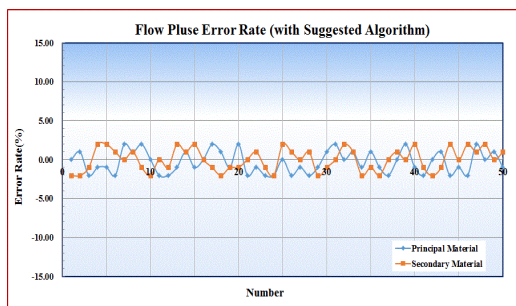


Fig. 7. Two-component liquid silicon mixing system

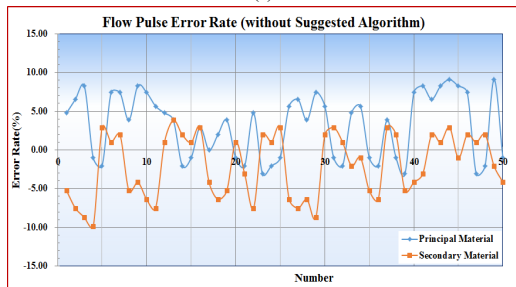
제작된 시스템을 사용하여 주재료와 부재료의 중량과 유량 등을 비교하기 위하여 혼합비 유지비율 항상 알고리즘 적용 유무에 따른 측정 결과를 비교하였다. 주재료 및 부재료의 설정 압력을 각각 130 bar로, 1회 계량량을 유량계 100펄스의 기준 중량 값인 116.032g으로 설정하여 실험을 수행하였다.

Fig. 8은 알고리즘 적용 유무에 따른 주재료 및 부재료의 유량펄스 오차율 그래프를 보여주고 있다. 측정 횟수를 각각 50회를 수행하였으며, 제어 알고리즘 적용 유무에 따른 주재료 및 부재료의 유량 펄스값을 측정하였다.

제어 알고리즘을 적용하지 않은 경우 주재료 펌프의 유량 펄스값은 97에서 110, 부재료 펌프의 유량 펄스값은 91에서 104 범위에서 측정되었으며 이는 제어 알고리즘을 적용하지 않을 시 주재료와 부재료 펌프 사이에도 유량 펄스값 편차를 보임을 알 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 8. Measurement results (a) without suggested algorithm (b) with suggested algorithm.

제어 알고리즘을 적용한 경우 주재료 및 부재료 유량 펄스값은 98~102범위에서 측정되었으며, 주재료와 부재료 사이의 유량 펄스값 편차는 거의 없음을 알 수 있었다.

이액형 액상실리콘 혼합비를 항상 알고리즘을 적용하기 전과 적용한 후의 실험 분석 결과는 혼합비를 항상 알고리즘을 적용한 후의 주재료와 부재료의 유량 펄스 오차율이  $\pm 0.5\%$  이내로 개발한 알고리즘 적용했을 때가 안정적인 혼합 비율을 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 제어 알고리즘 적용 유무에 따른 유량 펄스 오차율의 결과를 토대로 혼합재료와 혼합 비율 알고리즘을 적용하고, 이액형 혼합실리콘을 사용하여 시편을 제작하고 물리적 특성을 비교 평가하였다.

### 2.2.1 시편 제작

제작한 혼합 시스템과 이액형 액상실리콘을 이용하여 혼합 비율 알고리즘 적용 유무에 따른 시편을 제작하고 물리적 특성인 경도와 인장 강도를 측정 및 비교 하였다.

Fig. 9는 물리적 특성 실험을 하기 위해 제작된 시편을 보여주는 사진으로 경도 테스트용 실린더 형태의 시편(Fig. 9(a))과, 인장강도 테스트를 위한 아령형태의 시편(Fig. 9(b))을 제작하였다.

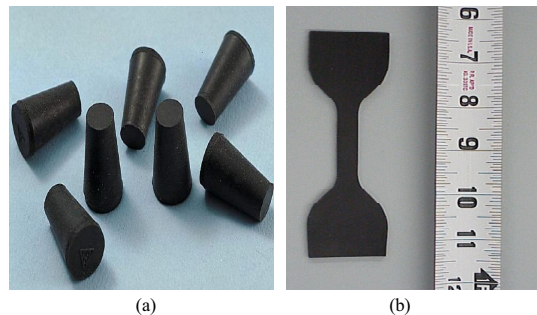


Fig. 9. (a) Cylinder type samples for hardness test, (b) dumbbell type samples for tensile strength.

### 2.2.2 특성 평가 결과

혼합 항상 비율 알고리즘 적용 유무에 따른 시편을 각각 제작하여 경도 테스트 및 인장 강도 테스트를 수행하였으며, 테스트 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Physical characteristics of the silicone

(a) Results without suggested algorithm

samples	Hardness (Standard : short A 50)	Tensile Strength (Standard : 10MPa)
1	42	8.5
2	43	8.3
3	48	8.7
4	40	9.3
5	45	8.9

(b) Results with suggested algorithm

samples	Hardness (Standard : short A 50)	Tensile Strength (Standard : 10MPa)
1	47	9.4
2	46	9.3
3	47	9.5
4	47	9.4
5	46	9.4

테스트 결과 Table 1에서 보여 주는 것처럼 본 연구에서 제작한 이액형 액상실리콘 혼합 시스템과 혼합 비율 향상 알고리즘을 적용하여 제작한 시편에서 인장 강도 및 경도가 기준치에 가까운 측정값을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 기존의 혼합시스템의 문제점을 개선하기 위한 이액형 액상실리콘 혼합시스템과 보다 정확한 혼합 비율(주재료:부재료=1:1)을 제어하기 위한 혼합비율 향상 알고리즘을 개발 하였다.

개발된 시스템과 알고리즘에 대한 유효성 검증을 주재료와 부재료의 유량 펄스 오차율을 통해 확인하였으며, 시편을 제작하여 물리적 특성을 측정 및 비교한 결과 혼합 비율 향상 알고리즘을 적용하여 제작한 시편의 경도와 인장강도 측정값이 기준값에 가까운 결과값을 얻을 수 있었다.

향후 이액형 원재료의 점도 변화나 펌핑 구조를 구성하는 실린더의 종류에 따라 실린더 내부의 체적이 변하게 되는 경우에도 같은 보상제어방법이 적용될 수 있는지에 대한 연구가 더 필요하다.

점도를 갖는 이액형 재료 뿐 아니라 다액형 재료의 혼합비 개발에도 같은 제어시스템을 적용할 수 있다면 다양한 산업군에 폭넓은 적용이 가능하리라 기대된다.

### References

[1] H. K. Chio and T. S. Yoon, "Trends and Prospectives of Silicon Industry," *Prospectives of Industrial Chemistry*, vol. 2, no 4, pp41-51, Dec.1999.  
DOI: <https://kiss.kstudy.com/thesis-view.asp?key=307734>

[2] D.W.Kang, K. S. Lee, H. G. Yeo, and J. S. Shim, "Preparation and Characteristics of Liquid Silicone Rubber Using H-terminated Polyfluoroorganosiloxane " *Journal of Korean Ind. and Eng. Chem.*, vol. 13, no 6 pp594-599, 2002.  
DOI: [http://www.ksiec.or.kr/new\\_site/publication/journalsearch01.html?seq=384307](http://www.ksiec.or.kr/new_site/publication/journalsearch01.html?seq=384307)

[3] John M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon, Silicon-Based Polymer Science, *American Chemical Society*, 1990  
DOI: <https://pubs.acs.org/isbn/9780841215467>

[4] R. G. Jones, W. Ando, and J. Chojnowski, "Silicon-Containing Polymers," *Kluwer Academic*

*Publishers, Dordrecht, Netherlands, 2000.*  
DOI : <https://www.springer.com/us/book/9780412831102>

[5] Doo Whan Kang, Byoung Chul Lee, and JI Young Kim, "Preparation and Photoluminescence Characteristics of Liquid Silicone Rubber Containing Cadmium Selenide Nanoparticles", *Polymer Vol30, No3. pp. 266-270, 2006.*  
DOI: [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cr=GBJHCY\\_2006\\_v30n3\\_266](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cr=GBJHCY_2006_v30n3_266)

[6] Fang Wang, Yanni Li, and Dan Wang, "Adhsion enhancement for liquid silicone rubber different surface by organosilane anr Pt catalyst at room temperature," *Bull. Mater. Sci., Vol. 36, No. 6, pp. 1013 -1017, 2013.*  
DOI : <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/boms/036/06/013-1017>

추 성 민(Seong-Min Choo)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한국방송통신대학교 경영학과 (경영학석사)
- 2015년 2월 : 한국산업기술대학교 대학원 전자제어공학과 (공학석사)
- 2017년 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 전자공학과 박사과정 재학 중
- 2012년 10월 ~ 2016년 9월 : ㈜케이이씨씨 중앙연구소 기술자문위원
- 2015년 10월 ~ 현재 : ㈜실리콘스 대표 및 연구소장

<관심분야>

전자공학 응용, 유체유동제어

김 영 민(Young-Min Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 제주대학교 전자공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 동대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2006년 8월 ~ 2007년 7월 : 성균관대학교 지능시스템연구센터 연구교수

- 2008년 10월 ~ 2015년 2월 : ㈜삼영에스앤씨 이사
- 2017년 1월 ~ 현재 : ㈜멤스칩 대표이사

<관심분야>

센서 및 시스템, 전자공학 응용, 전자제어 시스템

이 금 원(Keum-Won Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

비선형제어, 전자공학응용