

# 액상실리콘 재료의 균일한 혼합비율을 위한 이송방식에 대한 비교 분석

추성민\*, 김영민\*\*, 이금원\*\*\*

## A Comparison Analysis of the Feeding Method for the Uniform Mixing Rate of the Liquid Silicone Materials

Seong-Min Choo\*, Young-Min Kim\*\*, Keum-Won Lee\*\*\*

**요약** 본 논문은 이송방식에 따른 혼합비율을 비교하기 위하여 동일 점도를 가지는 원재료를 사용하여 100 사이클 동안 주재료와 부재료의 투입량 오차를 측정하고 분석하였다. 측정 결과 피스톤 펌프 방식에서는 주재료와 부재료의 투입량 오차는 0g에서 3g까지 변화의 폭이 컸으며, 최대 오차비율은 10.3%로 큰 편차를 보였다. 듀얼-스크류 회전방식에서는 0.01g에서 0.4g으로 최대 오차 비율이 0.41%로 투입량 오차가 거의 발생하지 않았으며, 공정 사이클이 증가함에도 거의 균등하게 투입됨을 알 수 있었다. 듀얼-스크류 회전방식 이액형 혼합시스템을 이용하여 원재료의 점도가 다른 3종류의 액상 실리콘을 사용하여 100 사이클 동안의 주재료와 부재료의 투입량을 측정하고 분석하였다. 그 결과 적용한 원재료의 점도에 관계없이 평균 오차가 0.75g, 오차 비율은 1% 미만으로 측정되었으며, 동일 점도를 갖는 원재료를 사용할 때 피스톤 펌프 방식의 평균 오차 비율은 4.09 %로 측정되었다. 이 결과는 듀얼-스크류 회전방식을 적용한 실험에서 일정한 혼합비율로 주재료와 부재료가 투입됨을 알 수 있었다.

**Abstract** In this paper, in order to compare the mixing ratio according to the feeding method, the input error of the main material and the sub material was measured and analyzed for 100 cycles using raw material having the same viscosity. As a result of the piston pump method, the input error of main material and sub material varied greatly from 0g to 3g, and the maximum error ratio was 10.3%. In the dual-screw rotation method, the input error varied from 0.01g to 0.4g, and the maximum error ratio was 0.41%, and almost no input error occurred. As the process cycle increased, it was found that the feed was almost uniform. The dual-screw rotary two-component mixing system was used to measure and analyze the inputs of the main and sub materials for 100 using three types of liquid silicones with different viscosities of the raw materials. As a result, the average error was 0.75g and the error rate was less than 1% regardless of the viscosity of the applied raw materials. When rae materials having the same viscosity were used, the average error ratio of the piston pump method was 4.09%.

**Key Words** : Dual-screw rotation method, Feeding method, Liquid silicone, Mixing Rate, Piston pump method

### 1. 서론

소재 산업 제품군 중 다양한 활용성으로 인해 주목

받고 있는 소재 중 하나인 실리콘(silicone:유기 실리콘)은 소재 자체가 갖고 있는 물리적, 화학적 특성으로 인해 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있는

\*Department of Electronic Engineering, Catholic Kwandong University, Gangwon-Do, Korea.

\*\*R&D Center, MEMSChip Co., Ltd.

\*\*\*Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Catholic Kwandong University, Gangwon-Do, Korea. (kwlee@cku.ac.kr)

Received July 19, 2019

Revised August 13, 2019

Accepted August 13, 2019

물질이다[1].

실리콘(Si)은 크게 무기 실리콘(Silicon) 소재와 유기 실리콘(silicone) 소재로 분류되며, 일반적으로 삼염화실란(TCS)으로 부터 반도체 Wafer에 이르는 물질을 무기 실리콘이라 하고, 유기염화실란(MCS)으로부터 최종 제품에 걸쳐 메틸기, 에틸기, 페닐기 및 비닐기 등 유기기를 포함하는 물질을 유기 실리콘이라 한다[2].

유기 실리콘 제품에는 일액 타입, 이액 타입의 상온 경화형(Room Temperature Vulcanization, RTV) 고무, 액상 실리콘고무, 에라스토머, 오일, 레진 등 다양하다[3]. 종래의 고체 성형재료 사용과 함께 공정이 길고 노동력에 의존하는 비율이 높은 Millable형 실리콘 고무 성형과는 달리 액상 실리콘 고무(Liquid Silicone Rubber, LSR)의 가장 큰 특징은 액상 재료를 사용하면서 대형 가공 기계가 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[4-5].

이액형 액상 실리콘 고무는 주재료와 부재료로 이루어져 있으며 주재료와 부재료를 각각 1대1의 비율로 혼합하였을 때, 최상의 접착력과 기계·화학적 특성이 우수하며 구조적으로 가장 안정적인 제품 품질을 얻을 수 있다. 하지만, 주재료와 부재료의 비율에 있어서 주재료가 부재료보다 비율이 높을 경우에는 촉매 반응이 빨라지고 접착력이 떨어지는 문제와 부재료가 주재료보다 비율이 높을 경우에는 반대로 촉매 반응이 늦어지며 결과적으로 사출 조건이 틀어지는 문제가 발생한다.

주재료와 부재료의 혼합비율의 균일함은 최종 완성 제품의 균일한 품질에 중요한 요소이기 때문에 이액형 액상 실리콘 혼합시스템의 중요 구성 요소인 액상 실리콘 이송방식과 혼합비율 확인 및 유량제어 시스템에 대한 개발이 진행되고 있다[6-7].

액상 실리콘은 원재료 제조사마다 원재료의 점도는 크게는 두 배정도 차이가 나기 때문에 기존의 피스톤 펌프 방식의 경우 피스톤 펌핑을 했을 경우 주재료와 부재료의 투입량이 크게 차이나는 시점, 즉 피스톤의 상하 교차 지점이 발생한다.

본 논문에서는 현재 많은 이액형 액상 실리콘 혼합 시스템에 적용되고 있는 공압 펌프 방식 중에 하나인 피스톤 펌프 방식과 서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식에 대해 비교 설명하고, 기존의 피스톤 펌프 방식에서 주재료와 부재료의 투입량의 차이로 제품의 품질 불량 발생하는 문제가 서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식에서도 동일한 문제가 발생하는지를 주재료와 부재료의 투입량에 따른 혼합비율에 대한 실험을 수행하고 비교하였다. 또한 듀얼-스크류 회전방식을 적용한 이액형 액상 실리콘 혼합시스템을 이용하여 점도가 다른 여러 제조사의 주재료와 부재료가 균일한 혼합비를 유지할 수 있는지에 대한 원재료 운용 데이터를 분석하였다.

## 2. 이액형 액상 실리콘 혼합시스템

열가소성 플라스틱에서는 볼 수 없는 내열성, 내후성, 전기절연성, 내구성, 투명성 및 높은 열전도성 등의 특징을 가지고 있는 액상 실리콘 고무가 균일한 물리적, 기계적 특성을 얻기 위해서는 액상 실리콘의 주재료와 부재료의 혼합비율이 일정 비율 이내에서 균일하게 유지해야 하며, 이액형 액상 실리콘을 취급하는 관련 산업체에서는 혼합비율을 유지하기 위해 많은 연구개발을 진행하고 있다.

그림 1은 일반적인 이액형 혼합시스템 개념도를 보여주는 것으로 주재료와 부재료 각각의 펌프가 펌핑을 해서 원재료를 이송시키는 시스템이다.

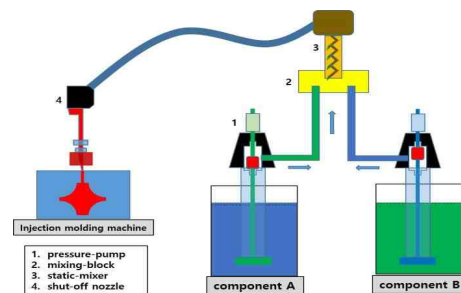


그림 1. 이액형 액상 실리콘 혼합시스템의 개념도  
Fig. 1. Schematic of two-component liquid silicone mixing system

이액형 액상 실리콘 혼합시스템은 주재료와 부재료가 공압이나, 유압으로 작동되는 압력펌프에 의해 펌핑 이송되어 믹싱블럭(Mixing-block)에서 합쳐지고, 교반기를 통과하면서 혼합되어 시스템의 종단에 여러 형태의 주입장치나 사출장치에 의해 주형용 금형 등에 토출되는 구조를 갖는 시스템이다[1].

이액형 액상 실리콘 혼합시스템에서 액상 실리콘을 이송하기 위한 방식에는 공압을 이용한 펌프 방식과 유압을 이용한 펌프 방식, 서보모터 방식이 있으며, 그림 2(a)는 공압을 이용한 피스톤 펌프 방식이 적용된 혼합시스템을 보여주는 사진이며, 그림 2(b)는 피스톤 펌프 방식에서의 액상 실리콘이 이송되는 방식 및 구조를 보여주는 그림이다.

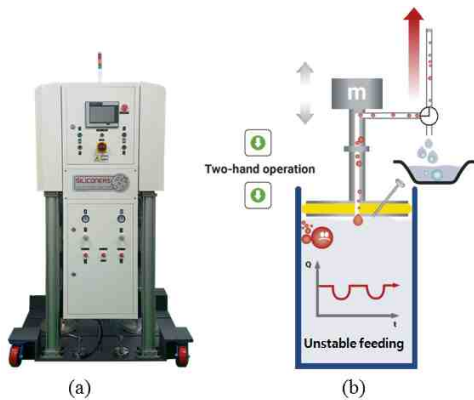


그림 2. (a) 피스톤 펌프 방식의 액상 실리콘 혼합시스템 (b) 액상 실리콘 이송 방법  
 Fig. 2. (a) Liquid silicone mixing system of piston pump method, (b) feeding method of liquid silicone

이액형 액상 실리콘 혼합시스템에 많이 적용되고 있는 공압을 이용한 피스톤 펌프 방식 이송구조는 유압을 이용한 시스템보다 청결하고 유지보수 및 시스템 구성비용이 저렴하다는 장점이 있지만, 위, 아래로 작동하는 펌프 방식의 기계 구조적 특징에 기인한 맥동 현상의 발생으로 혼합비율이 정확하지 않거나, 재료 교체 시 관로에 유입된 기포를 제거하기 위해 액상 실리콘 원재료를 다량 소비해야 하는 문제와 생산 중에도 원재료에 남아있는 기포가 혼입되는 문제가 발생한다.

피스톤 펌프 방식 이송 구조가 가지고 있는 문제점

을 해결하기 위해 NEXUS사(오스트리아)에서 서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식의 이액형 액상 실리콘 혼합시스템을 개발하였다. 그림 3(a)는 서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식이 적용된 혼합시스템을 보여 주는 사진(ServoMix e200)이며, 그림 3(b)는 듀얼-스크류 회전방식에 의한 액상 실리콘의 이송되는 방식 및 구조를 보여주는 그림이다.

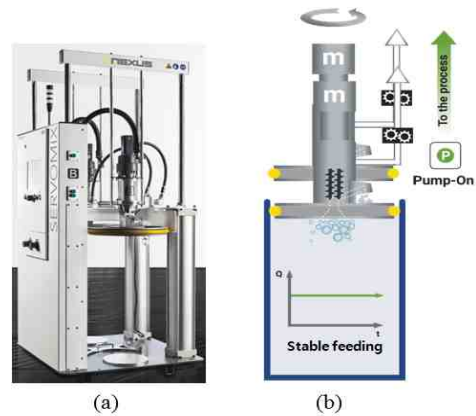


그림 3. (a) 듀얼-스크류 회전방식의 액상 실리콘 혼합시스템 (b) 액상 실리콘 이송 방법  
 Fig. 3. (a) Liquid silicone mixing system of dual-screw rotation method, (b) feeding method of liquid silicone

서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식이 적용된 혼합시스템은 재료 이송 시 발생하는 맥동 현상을 제거 하였으며, 실시간 기포 제어 기술을 적용하여 발생된 기포가 제거되도록 하여 안정적인 원재료 이송이 가능하도록 하였다.

### 3. 실험 및 결과

그림 4는 액상 실리콘 실험을 위해 사용한 이액형 액상 실리콘 혼합시스템의 주요 특징을 비교 분석한 것이다.



SILICONERS社 Master220	NEXUS社 ServoMix E200
피스톤 펌핑방식	듀얼-스크류 회전방식
PLC 기반	PLC + Window 기반
필요 비율 조정 가능(5:5, 6:4, 7:3 등)	5:5 혼합비율 보장, 필요 비율 조정 가능
재료 소실 적음	재료 소실 거의 없음
서보모터 방식 대비 저렴한 가격	잔여 기포 및 가스 자동배출
-	정밀한 장비운용데이터 제공

그림 4. 이액형 액상 실리콘 혼합시스템 비교  
 Fig. 4. Comparisons between two-component liquid silicone mixing systems

그림 4의 실리콘너스사 Master220과 NEXUS사 ServoMix E200을 이용하여 공정 사이클에 따른 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량을 측정하고 오차 및 오차 비율을 계산하여 이송방식에 따른 혼합비율 오차를 비교 분석을 수행하였다. 원재료는 SL7265AB(KCC사)를 사용하였으며, 사이클 수는 20회로 하였다.

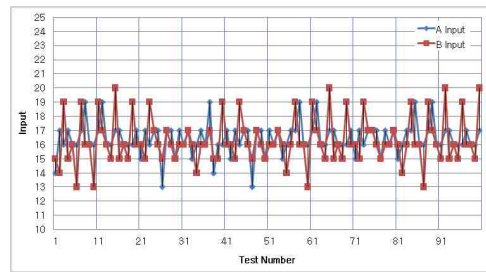
표 1. 펌프방식을 따른 주재료와 부재료 투입량 비교  
 Table 1. Input comparison of main and sub material according to pump method

사이클 수	피스톤 펌프방식			사이클 수	듀얼-스크류 회전방식		
	주재료	부재료	투입량오차		주재료	부재료	투입량오차
1	14	15	-1	1	48.80	48.55	0.24
2	17	14	3	2	48.99	48.77	0.22
3	16	19	-3	3	48.78	48.56	0.22
4	17	15	2	4	48.91	48.66	0.25
5	16	16	0	5	48.92	48.70	0.22
6	16	13	3	6	48.82	48.62	0.20
7	17	19	-2	7	48.90	48.63	0.27
8	19	16	3	8	48.92	48.72	0.20
9	16	16	0	9	48.79	48.56	0.23
10	16	13	3	10	48.91	48.66	0.25
11	17	19	-2	11	48.86	48.66	0.20
12	19	17	2	12	48.83	48.61	0.22
13	16	16	0	13	48.90	48.63	0.27
14	16	15	1	14	48.93	48.74	0.19
15	17	20	-3	15	48.77	48.52	0.25
16	17	15	2	16	49.01	48.80	0.22
17	16	16	0	17	48.84	48.61	0.23
18	16	15	1	18	48.78	48.55	0.24
19	16	19	-3	19	48.99	48.78	0.22
20	17	16	1	20	48.80	48.56	0.24

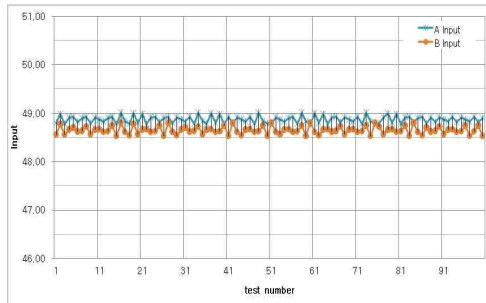
표 1은 주재료와 부재료의 투입량 결과를 보여주는 것으로 피스톤 펌프 방식은 투입량 오차가 최대

3g, 평균 1.75g로 듀얼-스크류 회전방식에서는 최대 0.27g, 평균 0.25g으로 측정되었다. 이 결과는 주재료와 부재료의 투입량 평균 오차율이 듀얼-스크류 방식에서 0.24%로 피스톤 펌프 방식에서의 1.07%보다 약 4.5배 오차율이 적게 나타났다.

그림 5는 공정 사이클이 증가 시 추가적인 투입량 비율 변화를 검증하기 위해 SL7265AB(KCC사)를 사용하여 공정 사이클을 100회 수행했을 때 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량 변화 실험을 수행한 결과 그래프를 보여 주는 것으로 그림 5(a)는 피스톤 펌프 방식 그림 5(b)는 듀얼-스크류 회전방식을 적용하여 동일한 방법으로 실험을 진행한 결과 그래프이다.



(a)



(b)

그림 5. 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량 비교 결과  
 (a) 피스톤 펌핑 방식, (b) 듀얼-스크류 회전방식  
 Fig. 5. Results for comparisons between input amounts of main material(A) and sub material(B) (a) piston pumping method, (b) dual-screw rotation method

실험결과 피스톤 펌핑 방식에서는 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량 오차는 최소 0g에서 최대 3g 까지 높은 차이를 보여 주었으며, 듀얼-스크류 회전방식에서는 최소 0.01g에서 최대 0.4g로 주재료와 부재료의 투입량이 거의 동일하게

투입됨을 알 수 있었다.

그림 6은 원재료 혼합 비율이 일대일 비율을 유지하는지를 분석하기 위하여 주재료와 부재료 투입량을 오차 비율로 계산한 그래프를 보여주고 것으로 피스톤 펌프 방식에서는 투입량 오차 비율이 최대 10.3%까지 큰 편차를 보였으며, 듀얼-스크류 회전방식에서는 투입량 오차 비율이 최대 0.41%로 나타났다.

이 결과는 100회의 공정 사이클 동안 듀얼-스크류 회전방식을 적용한 경우가 주재료와 부재료가 거의 동일한 양 만큼 투입됨으로써 제품 제작 시 균일한 품질을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

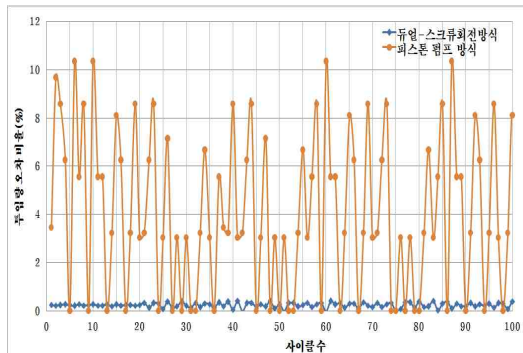
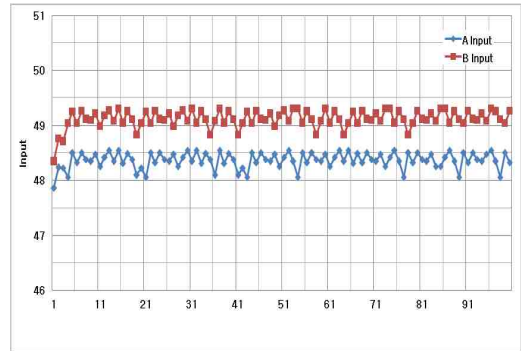


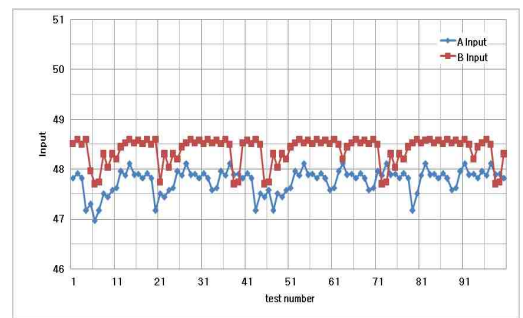
그림 6. 이송 방식에 따른 주재료와 부재료의 투입량 오차 비율  
Fig. 6. Input error rate of main material and sub material according to feeding method

또 다른 실험으로는 듀얼-스크류 회전방식 이액형 혼합시스템을 이용하여 점도가 다른 원재료를 사용할 경우에도 일정한 혼합비율을 유지하는지에 대한 실험을 수행하고 데이터를 분석하였다.

원재료는 점도가 360 Pas인 L7260AB(KCC사), 점도가 600 Pas인 LR3040/60AB(Wacker사), 점도가 500 Pas인 LSR2660AB (Momentive사)를 사용하였으며, 그림 7은 100 사이클 동안의 원재료 제조사별 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량을 측정하는 그래프로 KCC사의 원재료에 대한 실험결과는 그림 5(b)의 그래프에 나타나 있으며, 그림 7(a)는 Wacker사의 원재료, 그림 7(b)는 Momentive사의 실험결과를 보여주고 그래프이다.



(a)



(b)

그림 7. 원재료에 따른 주재료(A)와 부재료(B)의 투입량 비교 결과 (a) LR3040/60AB(Wacker사), (b) LSR2660AB(Momentive사)  
Fig. 7. Results for comparisons between input amounts of main material(A) and sub material(B) (a) LR3040/60AB, (b) LSR2660AB (Momentive)

제조사별 주재료와 부재료의 투입량 오차와 혼합비율 오차를 측정하는 결과 점도가 낮은 원재료(KCC 사)에서 평균 0.2g 정도의 오차를 보였으며, 점도가 비슷한 원재료에 대한 평균 오차는 Wacker의 경우 0.64g, Momentive의 경우 0.75g으로 측정되었다.

그림 8은 원재료 제조사별 주재료와 부재료의 이송방식에 따른 투입량 평균 오차 비율을 그래프로 나타낸 것으로 듀얼-스크류 회전방식을 사용한 경우 점도가 가장 낮은 KCC사 원재료가 0.24%, 점도가 비슷한 Wacker사와 Momentive사는 각각 0.66%, 0.77%의 오차 비율로 측정되었으며, 동일 점도를 가지는 KCC 원재료를 피스톤 펌프 방식에 사용한 경우 평균 오차 비율이 4.09%로 듀얼-스크류 회전 방식보다 높게 나타났다.

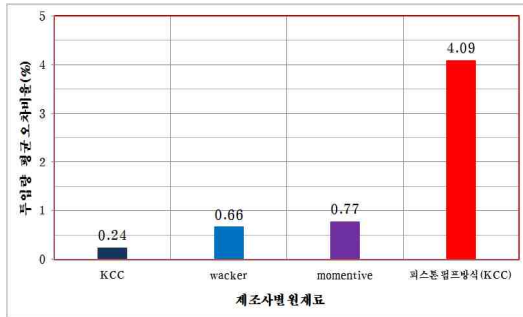


그림 8. 제조사별 주재료와 부재료 투입량 오차(%)  
 Fig. 8. Difference in the input amounts of the main material and the sub one by manufacturers

이 결과는 듀얼-스크류 회전방식에서는 점도 변화에 따른 주재료와 부재료의 투입량 평균 오차비율이 1%미만으로 점도 차이에는 혼합비율이 크게 영향이 없었으며, 피스톤 펌프 방식의 4.3%와 비교해서는 투입량의 오차가 거의 발생하지 않는 일정한 혼합비율을 유지할 수 있음을 보여주었는데 이 결과는 듀얼-스크류 회전방식이 피스톤 펌프 방식보다 균일한 품질의 제품을 생산하기 위한 우수한 액상 실리콘 이송 방식이라고 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 서보모터를 이용한 듀얼-스크류 회전방식 이송구조를 가지는 이액형 액상 실리콘 혼합시스템과 피스톤 펌프 방식 이송구조를 가지는 이액형 액상 실리콘 혼합시스템 장비를 이용하여 동일 점도를 가지는 원재료를 이용하여 이송 방식에 따른 투입량 오차 및 오차 비율을 분석하였다. 그 결과 피스톤 펌프 방식에서는 투입량 오차 비율이 최대 10.3% 까지 큰 편차를 보였으나, 듀얼-스크류 회전 방식에서는 투입량 오차 비율이 최대 0.41%로 100회의 공정 사이클 동안 주재료와 부재료가 일정한 혼합비율을 유지함을 알 수 있었다.

또한 듀얼-스크류 회전방식 이액형 혼합시스템이 액상 실리콘 원재료 점성이 다른 기업 세 곳의 원재료를 사용하여 공정 사이클 동안 주재료와 부재료의 일정한 혼합비율을 보장할 수 있는지를 확인하기 위

한 실험을 수행하였다. 실험 결과 100회의 공정 사이클 동안 원재료 제조사 별로 약간의 차이는 있지만 주재료와 부재료의 투입량 오차 비율은 점도가 가장 낮은 KCC사 원재료가 0.24%, 점도가 비슷한 Wacker사와 Momentive사는 각각 0.66%, 0.77%의 오차 비율로 측정되었으며, 동일 점도를 가지는 KCC 원재료를 피스톤 펌프 방식에 사용한 경우 평균 오차 비율이 4.09%로 듀얼-스크류 회전 방식보다 높게 나타났다.

향후 연구에서는 듀얼-스크류 회전방식 이액형 혼합시스템을 적용하여 물성(점도, 밀도 등이 다른 원재료들을 가지고 테스트 샘플을 제작하고 물리적 특성을 비교, 분석하고자 한다.

#### REFERENCES

- [1] Seong-Min Choo, Young-Min Kim, Keum-Won Lee, "Implementation of a Mixin  $\sigma$ -Ratio Control System for Two-Component Liquid Silicone Mixture", Jour. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 19, No. 11 pp. 688-694, Nov. 2018.
- [2] John M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon, "Silicon-Based Polymer Science", American Chemical Society, 1990.
- [3] R. G. Jones, W. Ando, and J. Chojnowski, "Silicon-Containing Polymers," Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 2000.
- [4] Doo Whan Kang, Byoung Chul Lee, and Ji Young Kim, "Preparation and Photoluminescence Characteristics of Liquid Silicone Rubber Containing Cadmium Selenide Nanoparticles", *Polymer* Vol. 30, No. 3, pp. 266-270, 2006.
- [5] Fang Wang, Yanni Li, and Dan Wang, Adhesion 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.

[6] Gyu Hong Jung, "Auto Tuning of Position Controller for Proportional Flow Control Solenoid Valve", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 36, No. 7, pp. 797-803, July. 2012.

[7] Sunjoo Lee, "Numerical Investigation of Effect of Opening Pattern of Flow Control Valve on Underwater Discharge System using Linear Pump", *Journal of the KIMST*, Vol. 22, No. 2, pp. 255-265, 2019.

## 저자약력

### 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: ㈜케이씨씨 중앙연구소 기술자문위원
- 2015년 10월~현재: ㈜실리코너스 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)
- 2006년8월~2007년 7월: 성균관대학교 지능시스템연구센터 연구교수
- 2008년 10월 ~ 2015년 2월 : ㈜삼영에스앤씨 이사
- 2017년 1월 ~ 현재 : ㈜멤스칩 대표이사 연구개발부 연구소장

〈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