

금형내부 성형압력과 온도조건 모니터링을 이용한 정밀고무성형

Fforming the Precision Rubber Parts by Monitoring Pressure and Temperature in Die

*최영윤¹, 이희관², 양균의³

*#Y. Y. Choi(glaciers@chonbuk.ac.kr)¹, H. K. Lee², G. E. Yang³

^{1,3}전북대학교 기계공학과, ²전북대학교 자동차부품금형혁신센터

Key words : Silicon Rubber, Hot-pressing, Compression die, Cavity, Data Acquisition

1. 서론

최근 고무부품은 항공 산업을 비롯한 디젤승용차 등의 수요증가로 인해 내열성과 내구성이 뛰어난 실리콘계열 고무의 수요가 급증하고 있다. 실리콘 고무의 부품을 만드는 방법으로 핫 프레스(Hot-Press)성형법 혹은 압축성형(Compression die)법 등이 사용되고 있다. 핫 프레스 성형장비는 온도조절이 가능한 상, 하 열판과 가압할 수 있는 유압 프레스로 구성되어 있으며, 성형기의 열판은 금형을 가열하고 금형(Die)의 캐비티(Cavity)에 고무재료를 넣은 후 유압프레스를 이용해 형상이 전사된 부품이 성형된다. 하지만, 정밀부품 성형 시 양호한 성형조건유지가 필수적이나, 성형장비의 제어기에 설정된 성형조건들과 금형내부에서 작용하는 실제 성형조건 사이에 상당한 차이가 발생하여 정교한 성형 조건관리 및 품질관리가 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 금형내부의 실제 성형조건을 모니터링하고 양호한 성형조건을 찾기 위한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

KS M 6518 가황고무 물리 시험법에 따라 아령형 3호 형상을 가진 제품 시편을 이용해 기계적 특성 값인 경도, 인장강도, 신장율을 측정 했으며 제품 시편 성형은 핫 프레스(Hot-Press)성형법을 이용한 (주)강문유압의 KRP-150 Hot-pressing을 이용한 성형기를 이용했다. 핫 프레스(Hot-Press)금형은 500mm×500mm 크기이며 금형내부 온도, 압력 측정용 센서가 장착가능 하도록 설계했다. 그리고 온도 및 압력 측정 센서는 Priamus사의 센서와 데이터수집 시스템을 이용했다.

시편성형을 위한 고무성형기의 입력조건은 압력은 100kgf/cm², 온도는 180℃로 설정했다. 온도는 성형기의 컨트롤러에 입력된 온도와 성형기의 써모커플에 의한 지시온도와 실제 성형온도의 차이를 고려해 180℃로 설정했고, 압력 값은 시편의 두께를 고려해 통상적인 성형조건을 적용했다. 그리고 데이터 계측은 부품성형의 시작부터 완료까지를 1 주기(Cycle Time)로 하여, 1 주기를 60초 단위의 12 단계로 설정한 후 총 12 단계에 걸쳐 데이터를 계측했다. 초기 1 단계는 성형 전단계로서 금형개방상태, 2 단계는 성형초기단계로서 1차 압축 및 공기제거 작업 상태, 3~11 단계는 2차 압축 및 가황단계, 12 단계는 성형종료 및 추출 단계로 설정했다.

Fig.1 은 핫 프레스(Hot-Press)금형으로 온도, 압력센서 위치를 나타내고 있다. Fig.2는 전체 실험장비 구성을 나타내고 있다.

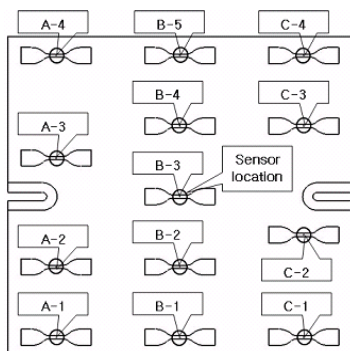


Fig. 1 Cavity and sensor location

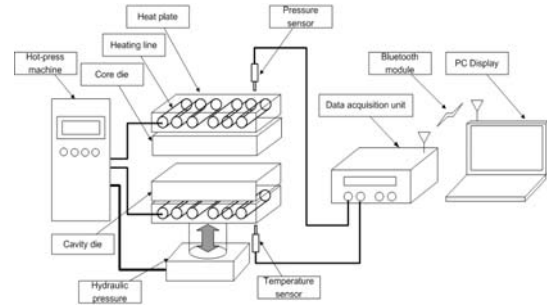


Fig. 2 Schematic diagram of monitoring system

3. 실험결과

실험결과와 온도와 압력에 따라 인장시편에서 얻은 기계적 특성 값인 경도, 인장 강도, 신장률을 비교 분석하였다. 경도와 신장률은 성형조건에 관계없이 균일한 값을 나타내었지만, 인장 강도는 큰 편차를 보였다. 따라서 양호한 제품의 성형조건을 찾고자 표준편차 분석을 실시하였다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - x_a)^2}{n}} \quad (1)$$

식 (1)은 표준편차를 나타내는 식을 보이고 있으며, σ 는 표준편차, x_k 는 모집단이며 n 은 모집단을 구성하는 원소의 개수이다. 그리고 x_a 는 모집단의 평균값을 나타낸다.

Fig. 3은 금형내부 각 위치에서의 평균온도를 나타내고 있고 금형 전체의 온도분포는 161 ~ 178℃ 범위를 나타냈다. Fig.4는 금형내부 각 위치에서의 평균압력을 나타내고 있고 압력은 19 ~ 234 bar의 범위를 나타냈다. 온도와 압력은 각각 캐비티 위치에 따라 대칭적인 분포를 나타냈고 특히, 금형중심부에서 온도와 압력 모두 증가하는 경향을 보였는데 이는 온도의 경우 중심부의 단열 효과와 중심부에 유압 피스톤이 설치된 장비 구조 때문이라고 생각된다.

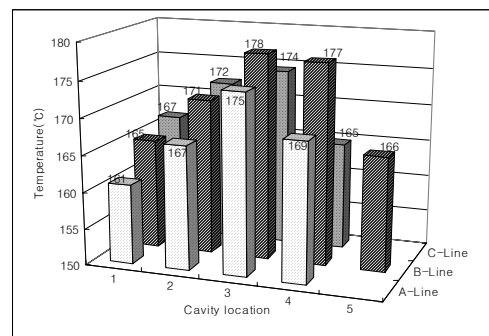


Fig. 3 Average temperature distribution in die

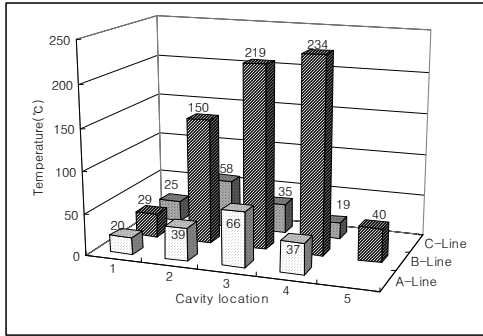


Fig. 4 Average pressure distribution in die

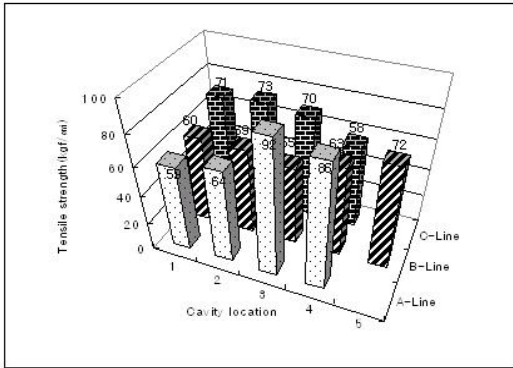


Fig. 5 Hardness on cavity location

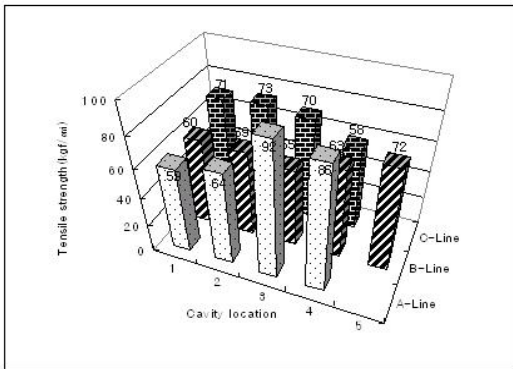


Fig. 6 Tensile strength on cavity location

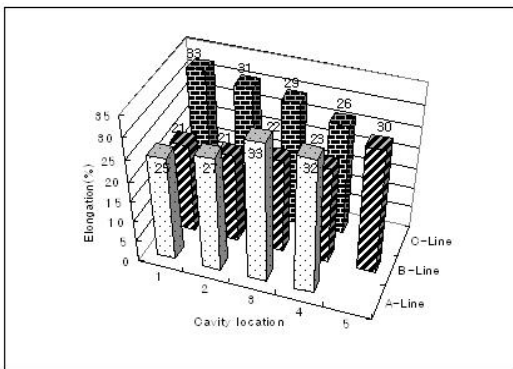


Fig. 7 Elongation on cavity location

Table 1 Standard deviation by temperature

Property	Tensile strength (temperature, cavity location)	Standard deviation
Quality		
Good quality	59(161, A-1), 60(165, B-1), 58(165, C-4), 72(166, B-5), 71(167, C-1), 64(167, A-2), 86(169, A-4), 73(172, C-2), 70(174, C-3), 92(175, A-2), 63(177, B-4)	10.97
Uniform and good quality	72(166, B-5), 71(167, C-1), 64(167, A-2), 73(172, C-2), 70(174, C-3)	4.26

Table 2 Standard deviation by pressure

Property	Tensile strength (pressure, cavity location)	Standard deviation
Quality		
Good quality	71(25, C-1), 70(35, C-3), 86(37, A-4), 64(39, A-2), 72(40, B-5), 73(58, C-2), 92(66, A-3), 63(234, B-4)	10.13
Uniform and good quality	71(25, C-1), 70(35, C-3), 64(39, A-2), 72(40, B-5), 73(58, C-2)	3.54

Fig. 5에서 금형내부 각 위치에 따른 시편의 경도의 분포를 나타내고 있고, Fig. 6은 금형내부 각 위치에 따른 시편의 인장강도의 분포를 나타내고 있다. Fig. 7에서 금형내부 각 위치에 따른 시편의 신장률의 분포를 나타내고 있다. 고무부품의 기계적 특성 값으로서 경도는 성형조건에 관계없이 60~62까지 일정한 값을 나타냈고 인장강도는 55~92kgf/cm², 신장률은 21~33%의 범위를 나타냈으며 캐비티의 위치에 따라 각각 유사한 분포경향을 보였으나 인장강도는 비교적 큰 편차 범위를 갖는 특성을 나타냈다. 따라서 Table 1과 Table 2에서 양호한 품질의 시편 중 인장강도를 기준으로 표준편차 분석을 통해서 균일하면서 양호한 품질의 제품을 동시에 생산할 수 있는 성형조건은 온도가 166 ~ 167°C, 172~173°C이고 압력 범위가 25~35bar, 39~58bar임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 실험을 통하여 실리콘 고무의 성형조건과 성형제품의 기계적 특성 값에 대한 영향을 파악할 수 있었다. 성형기에 지시한 설정 값과 실제 금형내부 성형조건 값에 차이가 발생함을 알 수 있었고, 실리콘 고무의 정밀성형을 위해서는 상기 두 가지 조건의 차이를 줄이는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다. 또한 금형내부 온도 차이에 관한 정량적 데이터는 실리콘 고무의 정밀성형과 생산성 향상을 위한 중요한 자료로 이용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Yim, W. B. and Lee, S. W., "KS M 6518," Korea Agency for Technology and Standards, pp. 2-10, 2001.
2. Kim, S. W., Park, H. C., Lyu, M. Y., Jin, Y. J., and Kim, D., "Variation of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditional of Injection Molding," Proceedings of the JTMP autumn annual meeting, pp. 70-74, 2004.
3. Park, B. H. and Ko, Y. C., "Temperature Effect on Tensile Strength of Filled Natural Rubber Vulcanizates, Elastomer," Vol. 36, No. 4, pp. 255-261, 2001.
4. Lee, D. M., Han, B. K., Lee, O. S., and Lee, S. H., "Design of Injection Mold with Cavity Pressure and Temperature Sensors and Molding for Standard Tensile Test Specimen," Proceedings of the KSPE Spring Annual Meeting, pp. 1416-1419, 2005.
5. Lee, B. Y. and Cho, J. R., "Optimal Positioning of Heating Lines in a Compression Molding Die Using the Boundary Element Method," Transactions of the KSME A, Vol. 17, No. 6, pp. 1478-1485, 1993.
6. Park, Y. H., "New Design Approach for the Uniform Temperature of Precision Hot Plates," Transactions of the KSME B, Vol. 27, No. 11, pp. 1525-1533, 2003.
7. Indian Rubber Institute, "Rubber Engineering," Mc Graw- Hill Inc., 2000.