

자동차 암레스트의 사출성형과 인몰드코팅에 관한 해석

박종락¹ · 이호상[†]

한국교통대학교 항공기계설계학과^{1,†}

Analysis for injection molding and in-mold coating of automotive armrests

Jong-Lak Park¹ · Ho-Sang Lee[†]

Dep. of Aeronautical & Mechanical Design Eng., Korea Nat'l Univ. of Transportation^{1,†}
(Received February 21, 2019 / Revised March 26, 2019 / Accepted March 31, 2019)

Abstract: Analytical and experimental study were carried out in order to achieve simultaneous coating and injection molding of an automotive armrest. A mold was designed to be included one core and two cavities, which were composed of a substrate cavity and a coating cavity. The materials used were PC/ABS for substrate and 2-component Polyurethane for coating. The predicted flow patterns were in good agreement with experimental results in injection molding and in-mold coating. Based on analysis and experiment, it was found that the optimal processing conditions were packing pressure of 90MPa and holding time of 7sec.

Key Words: Flow Pattern, Injection Molding, In-Mold Coating, Packing, Polyurethane

1. 서 론

사출성형에 대한 기존의 표면처리 방법들은 대부분 제조공정이 복잡하고 코팅 두께가 두꺼울 경우 수차례의 반복적인 코팅공정이 요구된다. 또한 플라스틱 사출물의 표면상태 및 제조환경의 영향을 많이 받아 불량품이 많이 발생하는 문제를 안고 있다. 인몰드코팅(In-Mold Coating)은 사출성형과정 중 성형품을 금형으로부터 취출하기 전에 금형 안에서 성형품 표면을 코팅하는 새로운 공법이다. 점도가 매우 낮은 코팅제를 사용하기 때문에 표면에 마이크로 형상을 구현할 수 있으며, 웰드라인, 플로마크 등과 같은 사출성형품의 외관불량¹⁾이 코팅 이후에는 은폐되는 장점을 갖고 있다. 특히, 매우 두꺼운 코팅두께를 단일공정으로 구현할 수 있으며, 경화반응에 의해 도막을 형성하기 때문에 성형과정에서

휘발성 유기화합물(VOC)이 배출되지 않는 장점이 있다. 아울러 코팅제가 모두 도막으로서 제품에 부착되기 때문에 폐기물의 발생도 크게 감소된다.

그동안 2액형으로 이루어진 폴리우레탄을 코팅 소재로 적용한 인몰드 코팅에 관련된 연구들은 믹싱헤드(Mixing head) 안에서 주재와 경화제의 혼합 특성, 코팅 조건에 따른 표면특성, 코팅 소재 공급 장치 등이 있으며, 또한 코팅두께가 압력과 표면특성에 미치는 영향에 대한 논문이 발표되어 있다.²⁻⁶⁾

본 논문에서는 자동차 내장도어용 암레스트에 대하여 사출성형과 표면코팅을 금형 안에서 동시에 구현하기 위한 해석적인 연구를 수행하고, 실험과 비교하였다. 암레스트는 탑승자가 팔을 걸쳤을 시 무게를 지탱하는 강성이 필요한 부품으로서 고감성 디자인뿐만 아니라 촉감과 내스크래치성이 동시에 요구된다.

1. 한국교통대학교 항공기계설계학과
[†] 교신저자: 한국교통대학교 항공기계설계학과
E-mail: lhs@ut.ac.kr

2. 사출성형해석

2.1. 해석모델

Fig. 1은 1/3로 축소한 자동차용 암레스트 모델의 구조를 나타낸 것으로, 내부에 사각형의 구멍이 있으며, 중앙부위 측면에 콜드러너와 사이드 게이트를 설치하였다. 또한 사출성형 냉각단계에서 제품의 불균일한 온도분포로 인한 휨 변형을 줄이기 위하여 상측과 하측에 성형품 주변을 따라 냉각채널을 설치하였으며, 사출 캐비티와 코팅 캐비티의 온도를 독립적으로 제어할 수 있도록 구성하였다.

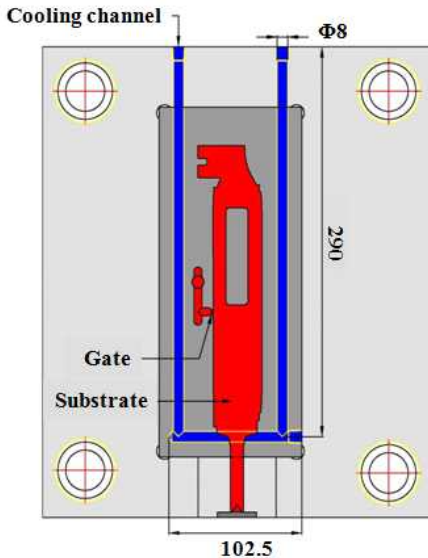


Fig. 1 Details of part design with cooling channels

2.2. 유동패턴

적용된 수지는 PC/ABS로서 제일모직 INFINO HP-1013P를 사용하였다. 사출성형에 앞서 적용된 스프루, 런너, 게이트, 냉각채널을 모델링하여 충전 패턴을 고찰하였다. 이를 위하여 Moldex3D를 사용한 사출성형 공정해석을 수행하였다. Fig. 2는 3D 모델링을 나타내며, 433,968개의 사면체 요소와 194,092개의 프리즘 요소를 사용하였다. Fig.3은 사출성형해석의 유동패턴을 나타낸다. 중앙부 옛지에 설치된 스프루, 게이트를 통해 주입된 수지가 순차적으로 캐비티를 채우고 있으며, 최종적으로 오버플로우 영역이 가장 늦게 충전이 되고 있으나, 비교적 좌우 충전밸런스가 잘 만족되고 있음을 볼 수 있다.

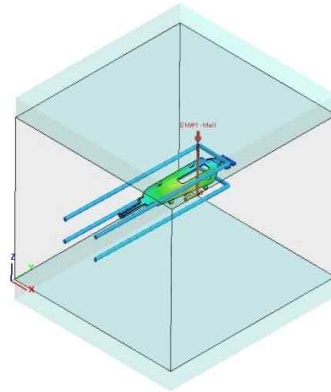


Fig. 2 3D model for simulation

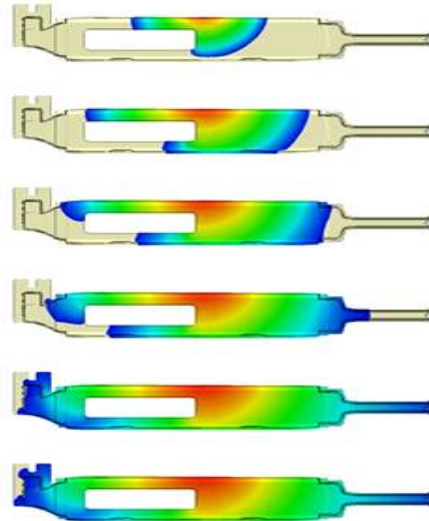


Fig. 3 Flow patterns during filling stage

2.3. 1차 사출압력 및 보압절환

최적의 사출속도를 도출하기 위해 사출속도를 10mm/s, 15mm/s, 20mm/s, 25mm/s, 30mm/s, 35mm/s로 변화시키면서 유동해석을 수행하고, 각각의 사출압력을 계산하였다. 사출속도에 따른 최대 사출압력을 예측한 해석결과는 Fig. 4와 같다. 사출속도 15mm/s이하에서는 스프루 압력이 높게 형성되며, 또한 15mm/s이상에서는 열전달에 의한 점도 상승으로 주입압력이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 최적의 사출속도는 15mm/s로 판단하였다. 보압 절환은 캐비티를 98% 충전한 이후에 보압으로 전환하여 최종적으로 성형이 이루어지도록 설정하였다. Fig. 5는 가장 늦게 충전되는 영역을 나타낸

것으로, 이 부분이 기포를 제거하기 위한 가스빼기 영역에 해당된다.

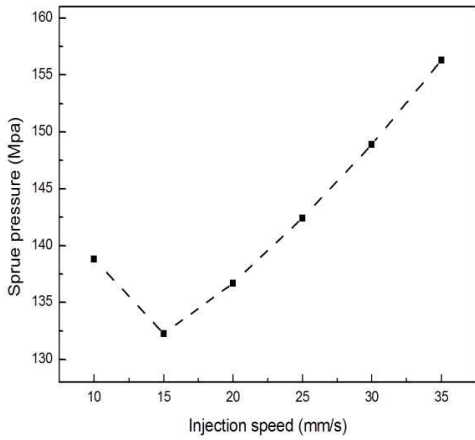


Fig. 4 Sprue pressure vs. injection speed

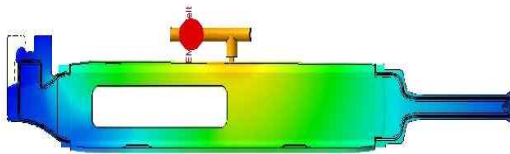


Fig. 5 Flow pattern for 98% volume

2.4. 보압크기

캐비티 내압을 측정하여 보압크기 및 유지시간의 적정함을 확인하기 위해 모델에 센서노드를 정의하여 사출성형해석을 진행하였다. Fig. 6은 센서노드 위치를 나타내며, 해당 위치에서 캐비티 내압을 측정해 적절한 보압절환 시점, 보압크기, 보압 유지시간 등을 고찰하였다.

센서노드에서의 압력변화를 예측하기 위하여 보압의 크기를 변화시키며 해석을 수행하였다. 1차 사출 해석결과를 토대로 사출속도는 15mm/s, 보압 유지시간은 10초로 고정하여 해석을 진행하였다. 보압 크기만 변화시키며 캐비티 내압의 변화를 고찰하였다. 보압크기 변화에 따른 센서노드 측정압력 그래프는 Fig. 7과 같다. 그래프의 결과에서 50MPa와 80MPa 사이의 그래프는 보압의 크기가 작아서 그래프 상에 피크가 나타남을 확인할 수 있다. 그래프의 결과를 토대로 적절한 보압은 90MPa로 볼 수 있다. 100MPa, 120MPa도 그래프 상에 피크가 나타나지 않지만 캐비티 내압이 90MPa의 경우보다 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 과도한 보압으로

제품 내부에 잔류응력이 남게 한다. 그러므로 적절한 보압 크기는 90MPa라고 볼 수 있다.

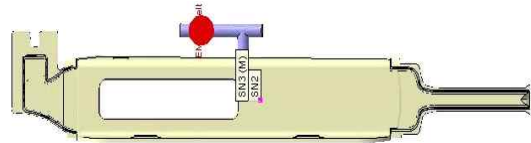


Fig. 6 Sensor node

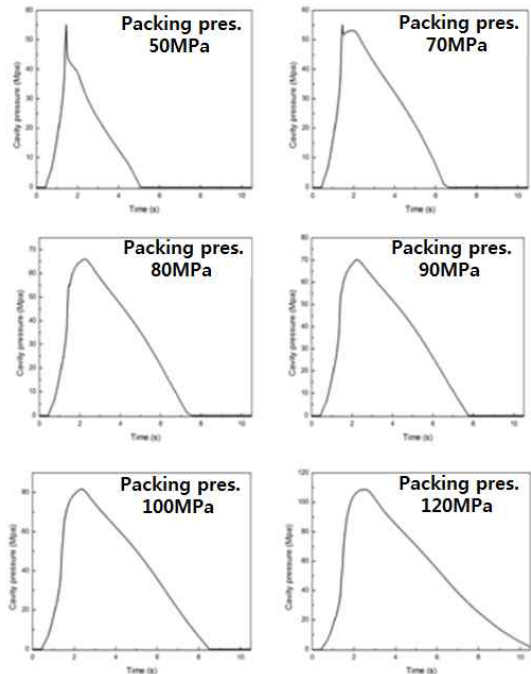


Fig. 7 Cavity pressure under various packing pressure

2.5. 보압 유지시간

보압크기를 90MPa로 고정을 한 후 보압 유지시간을 변화시키며 해석을 진행하였다. 보압 유지시간에 따른 캐비티 내압 그래프는 Fig. 8과 같다. 보압 유지시간이 5초인 경우 보압 유지시간이 짧기 때문에 그래프가 끊어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 보압 유지시간이 짧다는 것을 의미한다. 또한 보압 유지 7초와 10, 12초의 그래프가 다르지 않다는 것을 확인할 수 있다. 보압 유지시간의 적절한 시간은 7초라 정의할 수 있다. 이는 게이트가 고화되는 시간을 의미한다. 즉, 게이트가 고화되면 더 이상의 압력을 캐비티 내로 전달하지 못한다는 것을 의미한다.

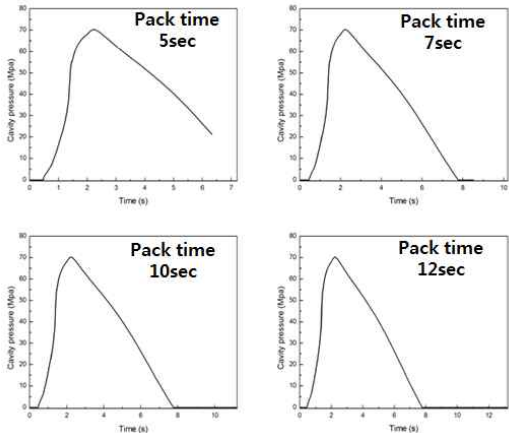


Fig. 8 Cavity pressure comparison according to the packing time

2.6. 냉각시간

적절한 냉각시간을 파악하기 위하여 사출성형 냉각해석을 수행하였다. 제일모직 PC/ABS INFINO HP-1013P수지의 취출 온도는 134℃이다. 냉각시간이 길어짐에 따라서 실제 사출품의 온도는 줄어들게 될 것이다. 냉각시간 5, 7, 10, 12, 15초에 대하여 각각 해석을 진행하였다. 해석이 완료된 성형품 단면의 온도를 확인하였으며, 냉각시간에 따른 온도변화는 Fig. 9와 같다. 냉각시간 12초 이후부터는 취출 온도보다 제품의 온도가 낮은 것을 볼 수 있으며, 따라서 12초를 최적의 냉각시간으로 선정하였다.

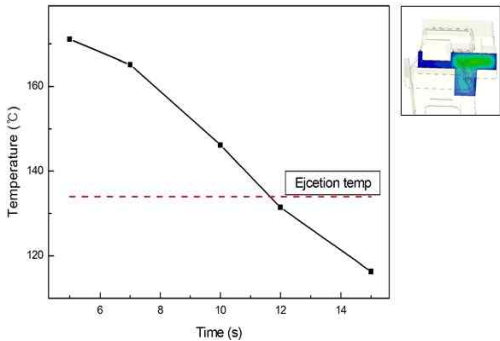


Fig. 9 Maximum temperature trace under cooling time

3. 인몰드코팅 해석

3.1. 코팅소재

적용된 코팅소재는 2액형 폴리우레탄이며, 점도

170mPa·s인 폴리올과 점도 80mPa·s 인 이소시아네이트를 100 : 130 비율을 적용하여 믹싱할 때 우레탄 반응을 하게 된다. 해석에 적용한 코팅소재의 점도는 119mPa·s이며 점도 그래프는 Fig. 10과 같고, Fig 11은 온도에 따른 경화시간을 나타낸다. 인몰드 코팅 공정해석을 위하여 Sigma-Soft⁷⁾를 사용하였다.

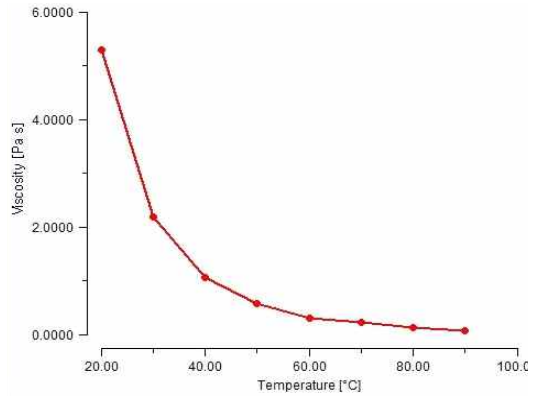


Fig. 10 Viscosity of polyurethane

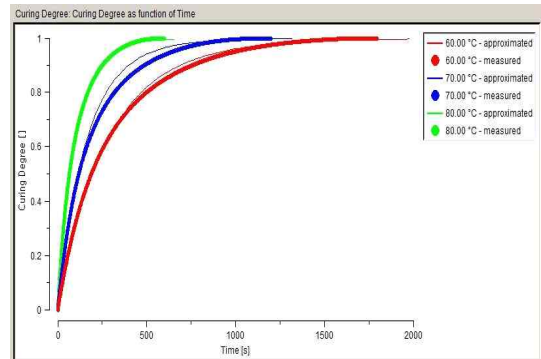


Fig. 11 Curing Degree as function of time

3.2. 유동패턴

코팅재의 점도는 온도가 증가함에 따라 크게 감소하므로 유동성에 영향을 주게 된다. 이러한 영향을 줄이기 위해 원료의 온도와 코팅 캐비티 금형 온도를 모두 80℃로 일정하게 유지하는 것으로 가정하였다. Fig. 12는 코팅재의 유동패턴을 나타낸 것이며, 유로를 통해 주입된 코팅재가 기재표면을 따라 한 방향으로 균일하게 흘러들어가고 있음을 볼 수 있다. 특히 가장 늦게 채워지는 부분은 오버플로우 영역이며, 최종적으로 기포가 모이는 영역이 되고 있음을 알 수 있다.

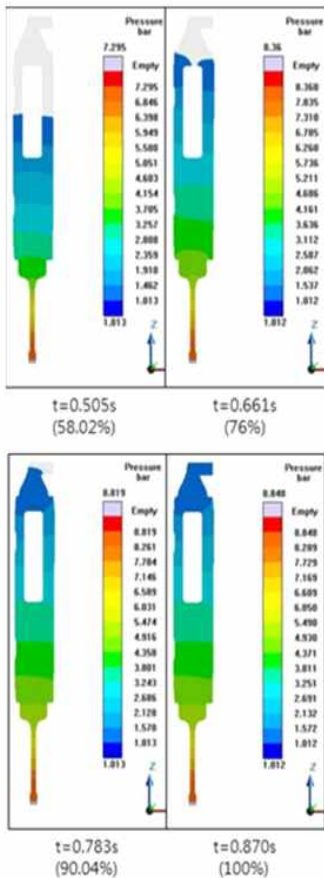


Fig. 12 Flow patterns during filling process

3.3. 경화시간

코팅재의 경화시간을 알아보기 위해 경화시간 변화에 따른 경화 정도를 해석하였으며, 결과는 Fig. 13과 같다. 경화시간 0.870초인 경우는 코팅재를 주입하자마자 금형이 열리는 경우로 가정할 수 있다. 이때의 경화는 거의 일어나지 않는 것으로 판단된다. 그러므로 코팅된 제품을 취출하려면 일정시간의 경화시간이 필요하다는 것을 알 수 있다. 360초인 경우 95%이상 경화가 일어나는 것을 확인할 수 있다.

4. 실험 및 해석 비교

4.1. 금형설계

Fig. 14는 사출성형과 기재표면 코팅을 동시에 수행할 수 있는 인몰드 코팅 금형의 구조를 나타낸 것이다. 고정측에 2개의 캐비티 금형, 그리고 가동측

에 1개의 코어 금형으로 구성되어 있으며, 이때 고정측에 설치된 캐비티 금형은 유압실린더를 사용하여 슬라이딩이 가능하도록 하였다. 금형설계 및 제작에 관한 자세한 설명은 참고문헌 4)에 언급되어 있다.

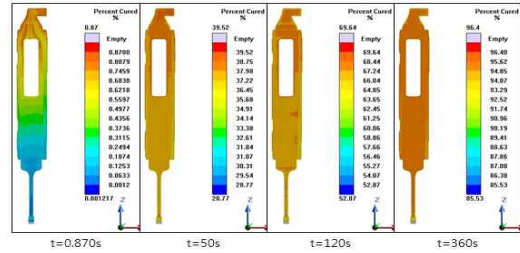


Fig. 13 Curing Degree as function of time

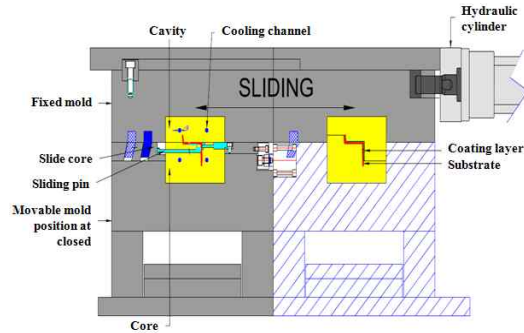


Fig. 14 Schematic of mold

4.2. 유동패턴 비교

Fig. 15는 사출성형 해석과 미성형 실험을 비교한 결과로 유동패턴이 서로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

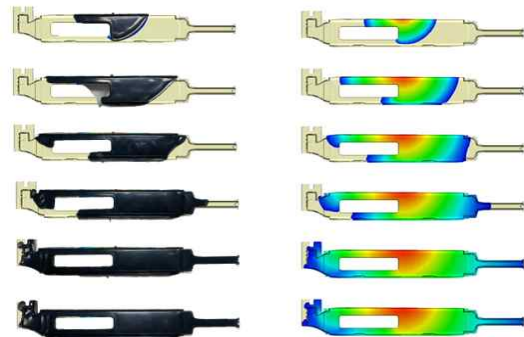


Fig. 15 Comparison of flow patterns between analysis(right) and experiment(left)

4.3. 1차 사출압력 및 보압절환

사출속도에 따른 1차 사출압력의 피크값을 측정하였으며, 사출속도에 따른 1차 사출압력 변화는 Fig. 16과 같다. 1차 사출압력의 변화는 사출속도 15mm/s의 경우 가장 낮은 압력이 발생하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 보압 절환은 제품이 95~98% 충전된 경우 보압 절환하여 사출공정을 진행하게 된다. 미성형 테스트를 통한 제품의 98% 충전거리를 보압절환 거리로 설정하였다. 해석결과와 비교하여 제품의 98%가 채워진 경우의 유사성을 평가하였다. Fig. 17에서 보는 바와 같이 보압 절환의 시점이 해석결과와 유사한 것을 확인할 수 있다.

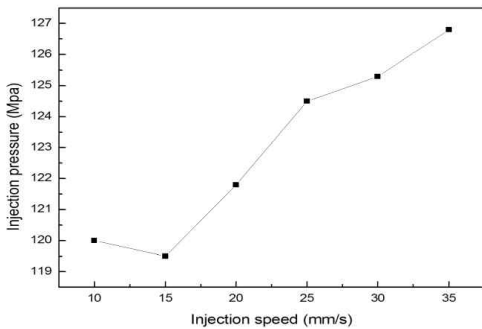


Fig. 16 Injection pressure according to injection speed

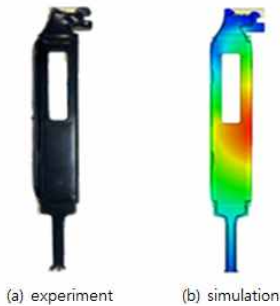


Fig. 17 Flow pattern at 98% shot

4.4. 보압 크기와 유지시간

일반적으로 보압 크기의 적절성 평가는 제품에 수축이 없고 제품에 플래쉬가 생기지 않으면 보압이 적절하다고 평가를 할 수 있다. 보압 크기 90MPa의 경우 제품의 수축도 없고 플래쉬도 발생하지 않았다. 더 큰 압력의 보압을 적용해도 플래쉬와 수축은 발생하지 않았지만 큰 압력이 제품에 가해지게 되면 제품 내부에 잔류응력이 크게 남아있게 되므로

보압의 크기는 90MPa로 실험에 적용하였다. 보압 유지시간에 따른 제품의 중량을 측정하여 최적의 보압 유지시간을 도출하였다. 보압 유지시간이 길어져도 게이트가 고화되면 더 이상의 보압 전달은 일어나지 않기 때문에 보압 유지시간이 길어져도 제품의 중량이 변하지 않는 시간을 보압 유지시간 및 게이트 고화시간으로 판단하였다. Fig. 18에서 볼 수 있듯 보압 유지시간 7초 이후 제품의 중량 변화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 이는 7초 이후 보압의 전달이 발생하지 않는 것을 의미한다.

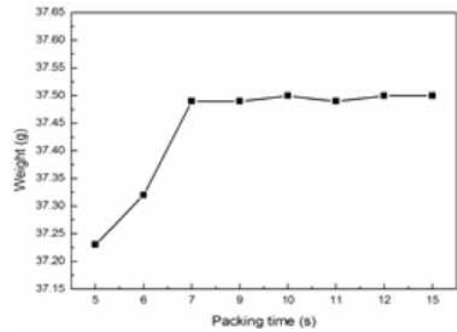


Fig. 18 Weight vs. packing time

4.5. 코팅재 유동패턴

주재와 경화제의 토출유량이 2.8g/s, 3.6g/s인 경우에 대하여 해석과 실험을 비교하였다. Fig. 19는 유동해석의 결과와 실제 유동패턴을 비교한 것이며, 해석과 실험의 유동패턴이 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히, 해석결과와 동일하게 오버플로우 영역이 가장 늦게 충전되면서, 기포가 모이게 됨을 알 수 있다.

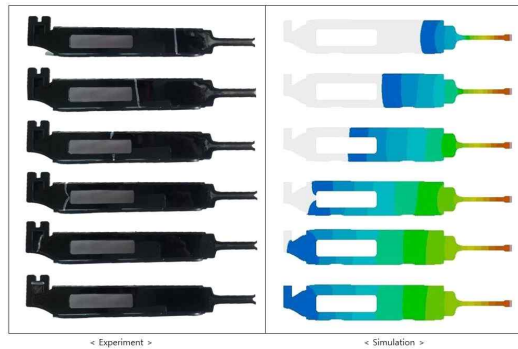


Fig. 19 Comparison of flow patterns between analysis(right) and experiment(left)

5. 결론

자동차 암레스트의 사출성형과 인몰드코팅에 대하여 해석과 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 사출성형과 인몰드코팅 공정에서 발생하는 유동패턴에서 해석과 실험결과가 잘 일치하였으며, 특히 오버플로우 영역이 가장 늦게 채워짐을 알 수 있었다.

2) 수지의 98% 채워진 시점에서 보압절환을 하였으며, 해석과 실험이 잘 일치하였다.

3) 해석과 실험을 통해 보압크기 90MPa, 보압유지시간 7초가 최적임을 도출할 수 있었다.

후기

본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업(과제번호 10063340)의 지원과 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2018R1D1A3B07045339)을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1) Park, C. H., Ahn, H. J., Choi, D. H. and Pyo, B.

- G., Two-stage design optimization of an automotive fog blank cover for enhancing its injection molding quality, *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 34, No. 8, pp. 1097-1103, 2010.
- 2) Lee, H. S. and Kim, D. M., A study on mixing characteristics of two-component polyurethane for in-mold coating, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 30, No. 3, pp. 317-323, 2013.
- 3) Kim, D. M. and Lee, H. S., Experimental study on the processing conditions of in-mold coating for injection-molded plates, *Int. J. Prec. Eng. Manuf.*, Vol. 17, No. 10, pp. 1333-1339, 2016.
- 4) Park, J. R. and Lee, H. S., An experimental study of in-mold coating of automotive armrests, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 39, No. 7, pp. 687-692, 2015.
- 5) Seo, B. H. and Lee, H. S., Development of two-component polyurethane metering system for in-mold coating, *J. Korea Society of Die & Mold Engineering*, Vol.10, No.2, pp. 1-6, 2016.
- 6) Jeong, Y. Y. and Lee, H. S., Effects of coating thickness on cavity pressure and surface characteristics in in-mold coating, *Polymer(Korea)*, Vol. 42, No. 1, pp. 13-19, 2018.
- 7) Sigmasoft User's Manual, Sigma Engineering GmbH, Aachen, 2012.