

인몰드 코팅에서 코팅두께가 캐비티 압력과 표면특성에 미치는 영향

정윤영 · 이호상[†]

한국교통대학교 항공기계설계학과

(2017년 4월 21일 접수, 2017년 8월 2일 수정, 2017년 8월 6일 채택)

Effects of Coating Thickness on Cavity Pressure and Surface Characteristics in In-Mold Coating

Yun Young Jeong and Ho Sang Lee[†]

Department of Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea National University of Transportation,
50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 27469, Korea

(Received April 21, 2017; Revised August 2, 2017; Accepted August 6, 2017)

초록: 본 연구에서는 인몰드 코팅 공정에서 코팅두께가 캐비티 압력과 표면특성에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 고찰하였다. 플라스틱 평판을 대상으로 사출성형과 표면코팅을 동시에 수행할 수 있는 실험용 금형을 개발하였다. 코팅 소재는 2액형 폴리우레탄이며, 다양한 코팅두께에 대한 실험을 통하여 캐비티 압력추이, 기포분포, 경화특성 등을 고찰하였다. 캐비티 압력추이에서 믹싱헤드의 동작에 따라 2개의 피크가 나타났으며, 코팅두께가 감소함에 따라 압력의 피크값이 증가하였다. 제품표면에서의 기포 크기는 코팅두께가 두꺼워짐에 따라 증가하였다. 또한 코팅두께가 두꺼울수록 금형개방 시간이 짧은 경우의 경도는 긴 경우의 경도에 비해 더욱 크게 감소하였다. 이로부터 금형 안에서 코팅 소재의 충분한 경화를 위하여 코팅두께가 클수록 금형개방 시간을 증가하여야 함을 알 수 있었다.

Abstract: In this study, the effects of coating thickness in in-mold coating process on cavity pressure and surface characteristics were investigated by experiments. An experimental mold was developed for the simultaneous injection molding and surface coating of a plastic plate. The material used for in-mold coating experiment was two-component polyurethane. Through experiments under different coating thicknesses, cavity pressure traces, air-bubble distributions and hardness characteristics were investigated. In cavity pressure traces, there were two peaks due to the movement of mixing head. The peaks of cavity pressure increased with decreasing coating thickness. The size of the bubbles on the surface of the part area increased with an increase of coating thickness. In addition, as the coating thicknesses increased, the hardness under short demolding time decreased significantly compared with that under long demolding time. It was found that the demolding time should be increased for providing enough curing in mold with an increase of coating thickness.

Keywords: in-mold coating, injection molding, polyurethane, cavity pressure, bubble.

서 론

사출성형은 다양한 산업분야에서 활용되고 있으며, 많은 경우 외관향상, 내스크래치성, 내후성 등을 높이기 위하여 코팅이 요구되고 있다.¹ 그러나 사출성형 이후에 별도로 코팅하는 방법은 공정이 복잡하고, 불량률이 많이 발생하며, VOCs와 같은 다양한 유기화합물이 배출되는 문제가 있다.

인몰드 코팅(in-mold coating)은 금형 안에서 기재를 사출성형하고, 이어서 액체상태의 경화형 수지를 금형 안으로 주

입/경화시켜 사출성형과 코팅을 금형 안에서 동시에 구현할 수 있는 새로운 공법이다. 현재까지 상용화되어 있는 인몰드 코팅 방법은 코팅 소재로 2액형 폴리우레탄을 적용하며, 1개의 코어와 2개의 캐비티로 구성된 금형을 사용하여 사출성형과 코팅 공정에서 각각의 캐비티를 교체하는 방식이다.^{2,3} 인몰드 코팅 공정의 첫째 단계는 사출성형기에서 열가소성 수지를 주입하여 기재를 성형하는 것이다. 둘째 단계에서는 형개를 하고 기재가 코어 금형에 붙어 있는 상태에서 코팅용 캐비티로 교체한다. 그리고 셋째 단계에서 다시 형폐를 하고, 코팅재 공급장치를 통해 주재와 경화제를 혼합하여 금형 안으로 주입/경화시키고, 최종적으로 형개와 함께 표면코팅이 완성된 기재를 취출하게 된다.

인몰드 코팅은 코팅공정에서 사용되는 소재가 휘발성 유기

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: lhs@ut.ac.kr

©2018 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

용제를 포함하지 않기 때문에 친환경적이며, 금형 표면의 전사성이 우수하여 미세한 패턴을 재현할 수 있다. 또한 기재 사출성형에서 발생하는 웰드라인, 싱크마크 등과 같은 불량 이 코팅 표면에 나타나지 않도록 할 수 있다.

그동안 2액형 폴리우레탄을 코팅재로 적용한 인몰드 코팅에 관련된 연구는 믹싱헤드(mixing head) 안에서 주재와 경화제의 혼합특성,⁴ 코팅 조건에 따른 표면특성,^{5,6} 코팅 소재 공급장치⁷ 등이 있다.

인몰드 코팅 공법은 IT기기, 가전, 자동차 등 매우 다양한 분야에 적용이 가능하며, 대상 제품에 따라 요구하는 코팅두께가 서로 다르다. 스마트폰, 노트북 PC 등 모바일 기기는 무게를 줄이고 휴대의 편리성을 높이기 위하여 수십 마이크론 수준의 매우 얇은 코팅두께를 요구하지만, 가전 및 자동차 내장부품에서는 깊이 감(depth effect)있는 감성품질과 내구성을 높이기 위하여 0.8 mm 수준의 후막 코팅을 요구하고 있다. 그러나 코팅두께가 코팅 표면특성에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 실험적인 방법을 통해 코팅두께가 캐비티 압력과 코팅 표면특성에 미치는 영향을 고찰하고, 이를 통해 인몰드 코팅 공법을 다양한 코팅두께를 갖는 제품에 확대, 적용할 수 있는 기초 데이터를 확보하였다.

금형설계 및 제작

코팅채널 및 오버플로우 영역설계. 인몰드 코팅 공정에서 믹싱헤드를 통해 주입된 코팅재가 금형 안에서 한 방향으로 균일하게 유동하기 위하여 코팅채널(coating channel) 설계가 중요하다. 또한 2액형 폴리우레탄의 주재와 경화제가 믹싱헤드 안에서 혼합되는 과정에서 발생하는 기포를 제거하기 위한 오버플로우(overflow) 영역 설계가 필수적이다.⁸ 본 논문에서는 80 mm×80 mm인 사각평판 모델을 대상으로 인몰드 코팅 금형을 설계하였다. 기재두께는 2.8 mm이며, 코팅두께

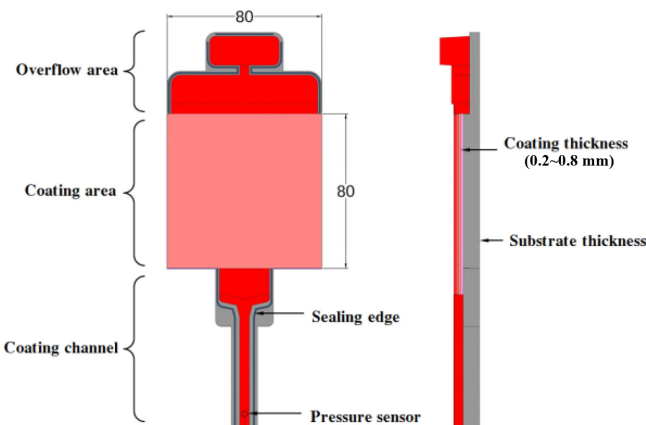


Figure 1. Schematics of substrate and coating layer.

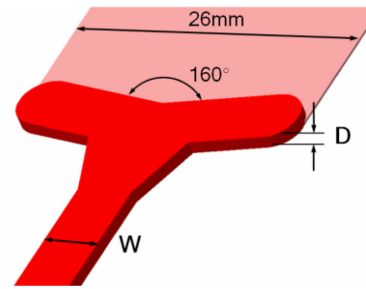


Figure 2. Design parameters for coating channel.

는 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 mm로 가변시킬 수 있도록 하였다. Figure 1에서 보여진 바와 같이 믹싱헤드가 부착되는 하부에는 코팅채널을 설치하고 상부에는 오버플로우 영역을 설치하였다.

인몰드 코팅 공정에서 믹싱헤드는 금형 하단에 부착되며, 혼합된 코팅재가 지름 5 mm의 토출부를 통해 밀폐된 금형 안으로 주입된다. 이때 저점도의 코팅재가 코팅표면에 기포를 생성하지 않으며 불균일한 표면경화가 발생하지 않도록 Figure 2와 같이 Y자 형상의 댐을 설치하고, SIGMASOFT를 사용한 유동해석을 적용하여 코팅채널을 설계하였다. 코팅두께가 0.2 mm일 때 채널의 깊이(D)와 폭(W)을 각각 변화시켜 가며 해석을 수행하고, 주입구에 작용하는 압력을 분석하였다. 코팅 소재는 2액형 폴리우레탄이며, 온도 80 °C에서 점도 119 mPa·s를 해석에 적용하였다. 또한 토출유량 3.8 g/s, 금형 및 원료온도 80 °C, 사출성형 기재의 표면온도 60 °C를 해석조건으로 설정하였다.

코팅채널의 폭(W)을 5 mm로 고정시키고, 깊이(D)가 각각 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 mm인 경우에 대하여 유동해석을 수행하였다. Figure 3은 코팅채널의 깊이 변화에 따라 주입구에 작용하는 최대압력을 나타낸 그래프이며, 채널깊이가 증가할수록 주입압력이 급격히 감소하다가 0.5 mm 이상에서는 압력변화가 크지 않음을 알 수 있다.

코팅채널의 깊이(D)를 0.5 mm로 고정하고, 채널의 폭(W)이 각각 3, 4, 5, 6, 7 mm인 경우에 대한 해석을 수행하였다. Figure 4는 채널의 폭(W) 변화에 따른 주입구의 최대압력을 나타낸 결과이다. 폭이 증가할수록 주입압력이 감소하고 있으나 채널의 깊이 변화에 비하여 상대적으로 영향이 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 코팅두께 0.2 mm인 경우 코팅채널의 폭(W)을 믹싱헤드 주입구의 지름인 5 mm와 동일하게 설계하고, 코팅채널의 깊이(D)를 0.5 mm로 설계하였다. 그리고 코팅두께 0.4, 0.6, 0.8 mm일 경우에는 채널의 깊이를 각각 0.7, 0.9, 1.1 mm로 변경하였다. 반면에, 채널의 폭은 주입구 압력에 미치는 영향이 크지 않으므로 모든 코팅 두께에 대하여 채널 폭을 5 mm로 고정하였다.

주재와 경화제는 믹싱헤드 안에서 100:130의 비율로 혼합되고 금형 안으로 토출된다. 혼합 과정에서 두 원료는 노즐

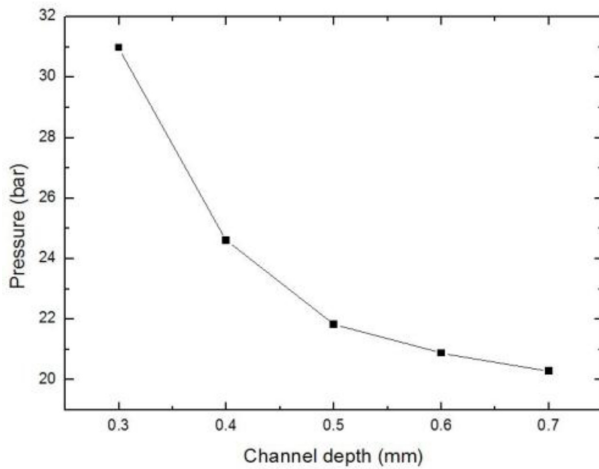


Figure 3. Inlet pressure vs. coating channel depth.

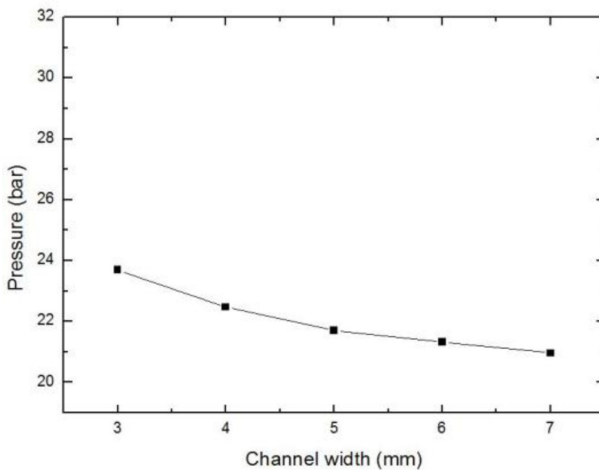


Figure 4. Inlet pressure vs. coating channel width.

을 통과할 때 약 180 bar의 높은 압력으로 서로 충돌하고, 이때 많은 기포가 발생하게 된다. 제품영역 표면에 기포가 나타나지 않도록 하기 위하여 코팅평면 상단에 오버플로우 영역을 설치하였다. Figure 5(a)는 유동해석을 적용하여 오버플로우 영역이 고려되지 않은 경우에 대하여 주입완료 시점에서의 기포분포를 예측한 결과이다. 전체 코팅면에서 약 7.6%의 기포가 형성되고 제품 표면의 상부에 기포가 발생하고 있음을 볼 수 있다. 제품표면에 잔류하는 기포들을 상단으로 밀어내기 위하여 두께 3 mm인 오버플로우 영역을 설치하고 유동해석을 통해 기포분포를 예측한 결과는 Figure 5(b)와 같다. 많은 기포들이 오버플로우 영역으로 밀려나 있으나, 미처 빠져나가지 못한 기포들이 여전히 제품 표면에 잔류하고 있음을 알 수 있다. 따라서 2차 오버플로우 영역을 추가로 설치한 경우에 대한 유동해석을 수행하였으며, Figure 5(c)에서 보는 바와 같이 제품 부위에는 기포가 전혀 잔류하지 않음을

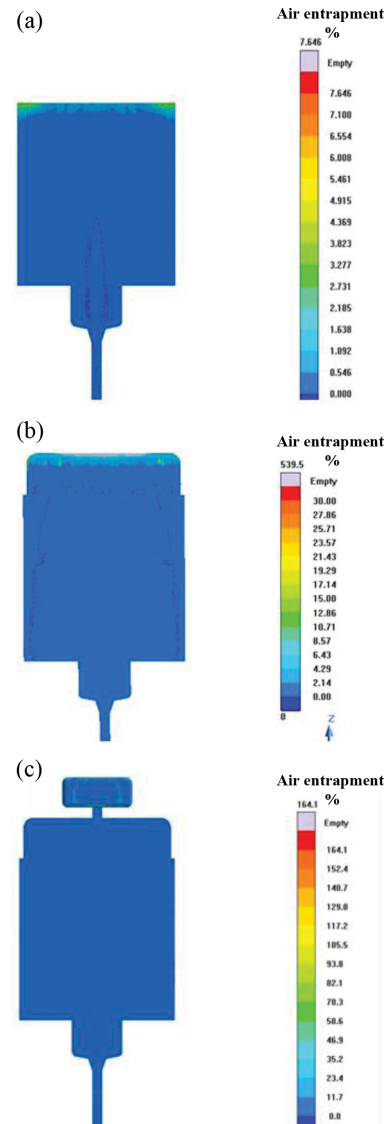


Figure 5. Air entrapment distribution: (a) no-overflow area; (b) 1st overflow area; (c) 1st & 2nd overflow areas.

알 수 있다. 따라서 제품표면의 잔류 기포들을 완전히 제거하기 위하여 1차와 2차 오버플로우 영역을 최종적으로 설치하였다.

실링엣지 설계. Figure 6에 나타난 바와 같이 기재 배면에 스프루 길이가 112 mm인 터널게이트를 적용하여 게이트가 코팅재의 유동을 방해하지 않도록 설계하였다.

한편, 코팅제로 사용된 2액형 폴리우레탄의 점도는 약 119 mPa·s로 매우 낮기 때문에 코팅재가 금형의 파팅라인으로 누설되는 문제가 발생한다. 이러한 현상을 해결하기 위하여 Figure 7에서 보여진 바와 같이 사출성형되는 기재의 코팅채널 표면에 폭 0.8 mm, 높이 0.5 mm 크기를 갖는 삼각형 형

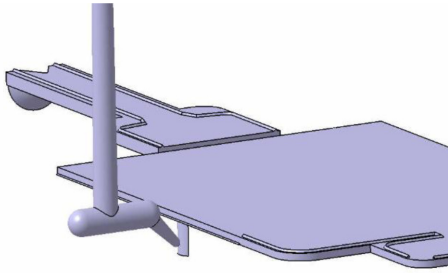


Figure 6. 3D model with tunnel gate.

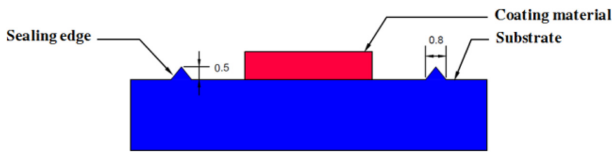


Figure 7. Cross-sectional view of coating channel.

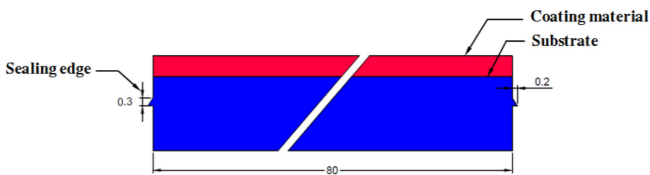


Figure 8. Cross-sectional view of coating area.

상으로 이루어진 실링엣지(sealing edge)를 형성시켜 코팅재의 누설이 발생하지 않도록 하였다. 또한 Figure 8에 도시된 바와 같이 사출성형 기재의 파팅면에 삼각형 형상의 실링엣지를 설치하여 코팅재가 기재 표면을 덮으면서 측면에서 누설이 발생하지 않도록 설계하였다.

금형제작. 사출성형과 코팅이 서로 다른 캐비티에서 이루어지는 플레이트 슬라이딩 방식의² 금형을 제작하였으며, 코어 1개와 캐비티 2개로 구성되도록 하였다. Figure 9는 믹싱헤드가 체결되어 있는 가동측 코어 금형이 슬라이딩 타입의 캐비티 금형과 형폐되어 있는 상태를 나타낸다. 1차 사출성형과 함께 금형을 열고 기재가 코어에 붙어있는 상태에서 유압실린더를 이용하여 고정측에 설치된 플레이트를 슬라이딩시켜 코팅용 캐비티로 교체한 이후에 기재가 부착된 코어금형과 형폐를 하게 된다. 이때 가동측 금형에 작용하는 형체력에 의하여 기재표면에 형성된 실링엣지가 변형되고, 주입되는 코팅재의 누설을 방지하도록 하였다. Figure 10은 사출성형기 고정측에 사출 캐비티와 코팅 캐비티, 그리고 가동측에 믹싱헤드가 체결된 코어를 나타낸다. 또한 코팅두께를 변경하여 실험을 수행하기 위하여 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 mm에 해당하는 각각의 캐비티를 제작하고, 코팅 캐비티를 분리·교체할 수 있도록 하였다.

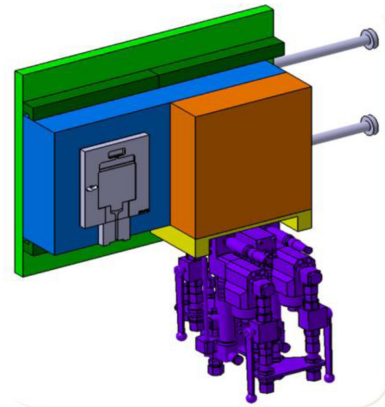


Figure 9. Assembly of mixing head and mold.

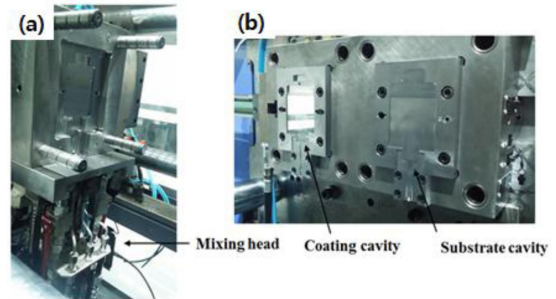


Figure 10. Photographs of (a) core mold; (b) cavity mold for substrate and coating.

인몰드 코팅 실험

실험방법. 기재 사출성형을 위하여 LS엠트론의 형체력 150톤 전동식 사출성형기(LGE-150C)를 사용하였으며, 주재와 경화제를 혼합시켜 금형 안으로 주입하기 위하여 본 연구진에서 자체 개발한 2액형 폴리우레탄 정량 공급장치를 활용하였다.⁶

Figure 11은 믹싱헤드의 단계별 동작을 나타낸 것으로, (a)는 2액형 폴리우레탄의 주재와 경화제가 각각 라인을 통해 순환하는 상태이며, (b)는 클리닝 피스톤이 뒤로 후진한 상태로 코팅재를 토출하기 직전의 단계를 나타낸다. 그리고 Figure 11(c)는 MC피스톤(mixing charge piston)이 후진하고, 노즐을 통해 분사된 주재와 경화제가 서로 충돌하면서 혼합된 원료가 금형 안으로 토출되는 단계이다. 토출단계(c) 이후 MC피스톤이 전진하면서 (b)의 상태로 전환된다. 이어서 클리닝 피스톤이 전진하면서 잔여 원료를 밀어내는 클리닝 동작을 거쳐 최종적으로 (a)의 상태로 바뀌게 된다.

인몰드 코팅 소재로 독일 Votteler 사의 2액형 폴리우레탄(Puriflow® PU993 & PU955)을 사용하였다. 토출유량이 주재와 경화제의 혼합특성에 미치는 영향을 고찰하고, 토출량

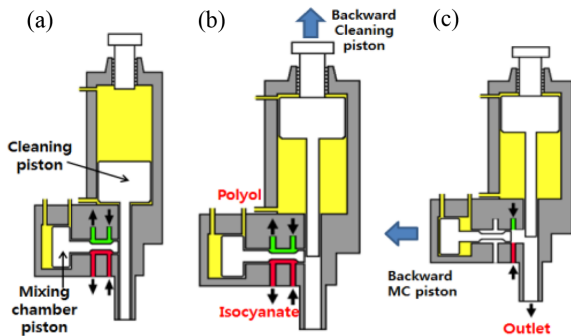


Figure 11. Cycle sequence of mixing head.

이 기포에 미치는 영향을 고찰하기 위한 실험을 수행하였다. 또한 금형개방 시간(demolding time)을 변화시켜 코팅두께에 따른 경화시간이 정도에 미치는 영향을 고찰하였다.

결과 및 토론

코팅 캐비티 압력. 코팅채널에서 발생하는 캐비티 압력을 측정하기 위하여 Figure 12와 같이 믹싱헤드 토출부로부터 10 mm 떨어진 위치에 압력센서 P1(Priamus type 6001A)를 설치하고, 코팅재 주입 시 발생하는 캐비티 압력을 측정하였다.

폴리올과 이소시아네이트의 토출유량 3.8 g/s, 토출량 6 g인 경우에 대하여 코팅두께 변화에 따른 캐비티 압력을 측정하였으며, 그 결과는 Figure 13과 같다. 모든 코팅두께에 대하여 2개의 압력 피크가 발생하고 있음을 볼 수 있으며, 이는 믹싱헤드의 동작 단계에 의한 현상으로 판단된다. 첫 번째 피크는 코팅재 토출단계(Figure 11(c))에서 토출을 종료하기 위하여 MC피스톤이 전진한 상태(Figure 11(b))로 바뀌면서 순간적으로 발생하는 급격한 압력에 의한 것이다. 그리고 두 번째는 코팅재 토출이 종료되고 약 1.5초 후에 믹싱헤드의 출구에 잔류하는 코팅재를 클리닝하기 위하여 클리닝 피스톤이 Figure 11(a)의 상태까지 전진하면서 순간적으로 발생하는 압력에 의한 것이다.

코팅재가 금형 안으로 주입되는 1.5초 동안 코팅두께가 감소함에 따라 코팅채널의 캐비티 압력이 크게 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 그 이유는 코팅두께가 작을수록 더욱 증가하는 유동저항으로 인하여 채널 입구에 발생하는 압력이 상승하기 때문이다. 특히, 코팅두께 0.2 mm인 경우에는 채널 입구에 약 10 bar의 높은 압력이 발생하고 있다. 이후 클리닝 피스톤이 1초 동안 전진하면서 토출관에 잔류하는 코팅재가 금형 안으로 주입되고, 이로 인해 채널에서의 압력이 다시 상승하게 되지만, 크기는 1차 유동에 의해 발생하는 압력에 비해 상대적으로 작음을 알 수 있다.

토출유량 3.8 g/s, 토출량 8 g인 경우에 대하여 코팅두께를 변화시키며 유동해석을 수행하고, 실험에 의한 측정결과와 비

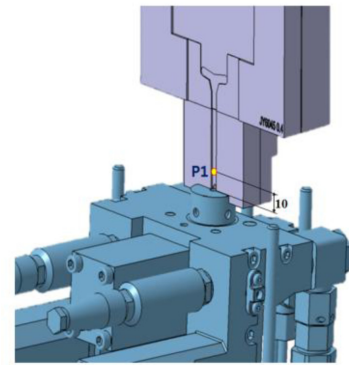


Figure 12. Position of pressure sensor in coating cavity.

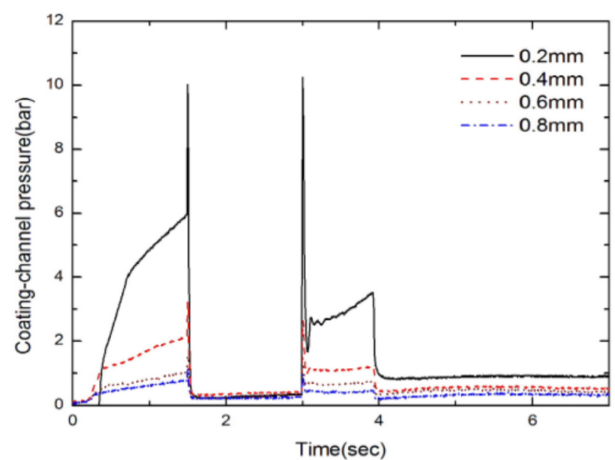


Figure 13. Coating channel pressure trace along the time for injected weight of 6 g.

교하였다. Figure 14는 Figure 12에 표기된 P1지점에서의 피크압력을 해석에 의하여 예측한 결과와 압력센서를 이용하여 측정한 값을 나타내고 있다. 해석결과가 실험에 비하여 약 2 bar 정도 높게 나타나고 있으며, 코팅두께가 증가함에 따라 피크압력이 감소하는 경향이 해석과 실험에서 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 실험을 통해 코팅두께 0.2 mm인 경우에는 토출량이 증가함에 따라 코팅채널에서 형성되는 압력의 피크값이 크게 증가하고 있으나, 0.4 mm 이상의 코팅두께에서는 토출량 변화가 피크압력에 미치는 영향이 매우 작음을 알 수 있다. 그 이유는 코팅두께 0.4 mm 이상에는 코팅채널에서 발생하는 압력이 약 4 bar 이하로 매우 낮기 때문에 토출량의 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

Figure 15는 코팅두께 0.8 mm, 토출유량 3.8 g/sec인 경우에 대하여 토출량을 변화시키며 측정된 캐비티 압력을 나타낸다. 1차 주입단계에서 피크압력은 토출량에 비례하여 증가하지만, 클리닝 피스톤에 의한 2차 주입단계에서의 피크압력은 토출량에 의하여 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 1차 주입단계에서는 토출량에 따라 유동저항이 증가하기 때문

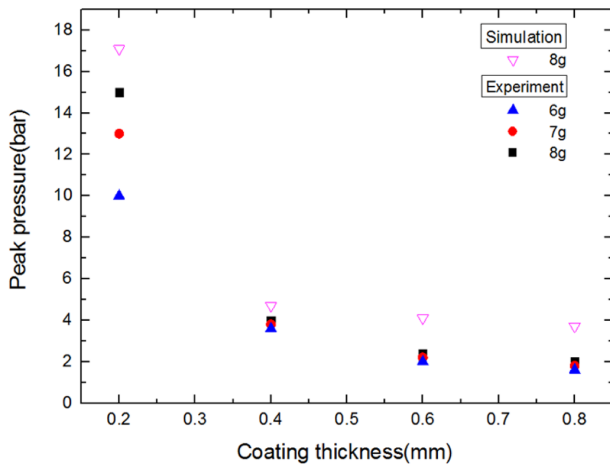


Figure 14. Peak pressure vs. coating thickness.

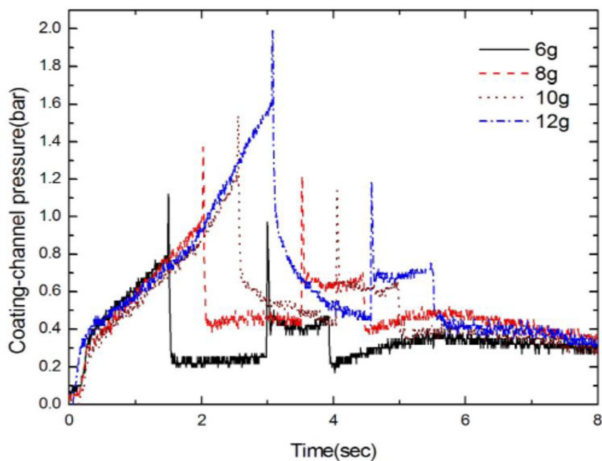


Figure 15. Coating channel pressure trace along the time for coating thickness of 0.8 mm.

에 채널 압력이 상승하게 되지만, 2차 주입단계에서는 출구에 잔류하는 코팅재를 밀어내는 단계이기 때문에 캐비티 압력은 토출량의 영향을 받지 않는 것이다.

기포크기. 코팅재는 주재와 경화제의 믹싱 및 유동과정에서 수많은 기포가 발생하며, 이러한 기포는 앞에서 고찰한 오버플로우 영역으로 빠져나가도록 하는 것이 중요하다. 코팅두께가 각각 0.2, 0.8 mm인 경우에 대하여 코팅재 토출량이 제품표면에서의 기포에 미치는 영향을 고찰하였다.

기포 측정을 위하여 공구현미경(Sometech STV-C-2010, $\times 40$)을 사용하였으며 코팅채널과 오버플로우 영역을 제외한 코팅평면에서의 기포를 측정하였다.

코팅두께가 0.2 mm인 경우와 0.8 mm인 경우에 대하여 동일한 위치의 유동선단을 갖도록 코팅재를 주입하고, 각각의 기포크기를 측정하여 비교하였다. Figure 16의 유동선단 A는 0.2 mm 코팅두께에 대하여 토출량 3 g, 0.8 mm 코팅두께에

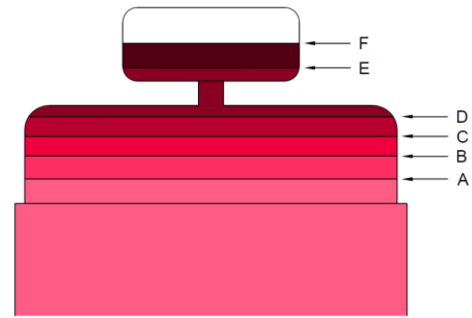


Figure 16. Flow-front lines at the end of fill under various injected weights.

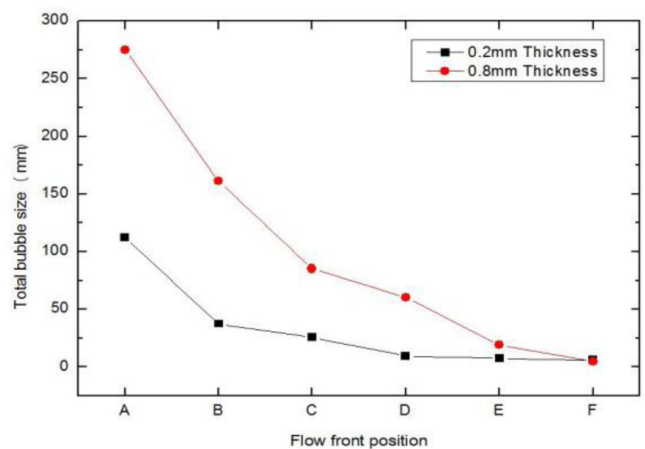


Figure 17. Total bubbles size vs. flow-front position at the end of fill.

대하여 토출량 7 g일 때의 마지막 유동선단을 나타낸다. 또한 토출량을 1 g씩 증가시켰을 때의 유동선단은 각각 B, C, D, E, 그리고 F와 같다.

Figure 17은 코팅재의 충전 종료 후 제품영역에서 발생한 기포들의 크기를 측정하고 합산한 결과를 나타낸 것이다. 코팅재의 충전 위치가 오버플로우 영역 상부쪽으로 이동할수록 제품표면에서 발생한 기포가 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 토출량이 증가할수록 제품 표면에 형성되어 있는 기포가 유동과정에서 오버플로우 영역으로 밀려나가기 때문이다. 토출량이 증가할수록 코팅표면에서의 기포가 감소하였으며, 이러한 경향은 코팅두께에 관계없이 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편, 코팅두께 0.2 mm인 경우보다 코팅두께 0.8 mm인 경우 기포가 더욱 많이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 코팅 캐비티에 작용하는 압력이 기포유동에 크게 영향을 미치기 때문으로 판단된다. Figure 14에서 살펴본 바와 같이 코팅두께가 0.2 mm일 경우에는 코팅두께 0.8 mm에 비하여 캐비티 압력이 약 5배가량 크게 발생한다. 따라서 코팅두께 0.2 mm인 경우에는 높은 캐비티 압력에 의하여 기포들이 위쪽의 오버플로우 영역까지 밀려가지만, 코

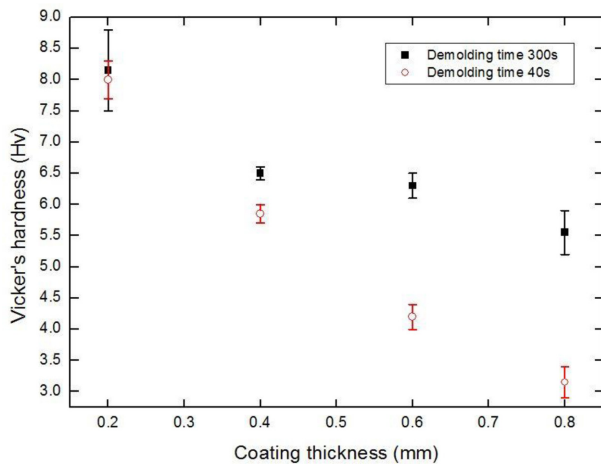


Figure 18. Vicker's hardness under various coating thicknesses.

팅두께 0.8 mm에서는 비교적 낮은 압력으로 인해 기포가 오버플로우 영역까지 충분히 밀려가지 못하기 때문으로 판단된다.

경도. 코팅두께 변화에 따른 경화특성을 고찰하기 위하여 코팅재를 금형 안으로 주입한 이후 금형개방 시간이 40초와 300초일 때 각각의 경도를 측정하고 비교하였다. 금형개방 시간 300초는 코팅두께에 관계없이 코팅재가 완전히 경화되는 충분한 시간에 해당된다. 경도 측정을 위해 Future-Tech사의 비커스 경도계(FM-700)를 사용하였다. 꼭지각이 136°인 피라밋형 다이아몬드 압자를 이용하여 코팅표면에 압입자국을 낼 때의 하중을 영구 압입자국의 대각선 길이로부터 구한 표면적으로 나눈 값을 비커스 경도(Vicker's hardness)로 정의하였다. 경도 측정을 위하여 코팅 표면을 10 g의 하중으로 10초 동안 압입하였다.

Figure 18은 각각의 코팅두께에 대하여 금형개방 시간에 따른 비커스 경도 측정 결과를 나타낸다. 금형개방 시간이 300초일 때 코팅두께가 증가함에 따라 경도가 약간씩 감소하고 있는데, 그 이유는 폴리우레탄 코팅재가 갖고 있는 연성에 기인한 것으로 판단된다. 금형개방 시간 40초일 때와 300초일 때의 경도차이를 살펴보면 코팅두께 0.2 mm에서는 그 차이가 매우 작게 나타났으나, 코팅두께가 증가할수록 경도 차이가 더욱 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그 이유는 금형개방 시간 40초를 적용할 경우 코팅두께 0.2 mm에서는 경화가 거의 완료되었기 때문에 300초일 때의 경도와 차이가 거의 없으나, 코팅두께가 증가할수록 금형개방 시간 40초에서는 미경화 정도가 더욱 커지고, 이로 인해 완전히 경화되는 금형개방 시간 300초에서의 경도와 차이가 더욱 증가하게 되는 것으로 판단된다. 이를 통하여 코팅두께가 두꺼워짐에 따

라 코팅재 경화에 소요되는 금형개방 시간을 더욱 길게 설정하여야 함을 알 수 있다.

결론

인몰드 코팅 공정에서 코팅두께에 따른 표면특성을 관찰하기 위하여 플레이트 슬라이딩 방식의 인몰드 코팅 실험용 금형을 설계/제작하였다. 코팅두께에 따른 캐비티 압력, 기포분포, 경도특성 등을 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 코팅채널에서의 캐비티 압력을 측정한 결과 2개의 압력피크가 발생하고 있음을 관찰하였으며, 첫 번째 피크는 MC 피스톤(mixing charge piston)이 전진하면서 순간적으로 발생하는 급격한 압력에 의한 것이며, 두 번째 피크는 코팅재 토출이 종료된 이후 믹싱헤드의 출구(outlet) 관에 잔류하는 코팅재를 클리닝하기 위하여 전진하는 클리닝 피스톤의 작동에 의하여 발생하는 압력으로 확인되었다.

(2) 토출량이 증가할수록 제품영역에 형성된 기포가 크게 감소하였다. 또한 코팅두께가 0.2 mm인 경우에 비해 0.8 mm인 경우에서 제품표면에서 발생하는 기포가 증가하였다.

(3) 금형개방 시간(demolding time)이 40초일 때와 300초일 때의 비커스 경도 차이는 코팅두께 0.2 mm에서는 거의 없으나, 코팅두께가 증가할수록 금형개방 시간에 따른 경도 차이가 크게 나타났다. 이를 통해 코팅두께가 두꺼울수록 금형개방 시간을 길게 설정하여야 함을 알 수 있었다.

감사의 글: 본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 10063340).

참고문헌

1. K. I. Kim, C. L. Kim, and D. E. Kim, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **13**, 1633 (2012).
2. M. Gruber, KraussMaffei Technologies, US Patent 0317893 (2008).
3. M. Gruber, KraussMaffei Technologies, US Patent 0243148 (2009).
4. H. S. Lee and D. M. Kim, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, **30**, 317 (2013).
5. D. M. Kim and H. S. Lee, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, **17**, 1333 (2016).
6. J. R. Park and H. S. Lee, *Trans. KSME(A)*, **39**, 687 (2015).
7. B. H. Seo and H. S. Lee, *J. Korea Soc. Die & Mold Eng.*, **10**, 1 (2016).
8. H. S. Lee and D. M. Kim, *Proc. KSMTE Conf.*, 152 (2014).