

자동차 암레스트의 인몰드코팅에 관한 실험적 연구[§]

박 종 락* · 이 호 상*†

* 한국교통대학교 항공·기계설계학과

An Experimental Study of In-Mold Coating of Automotive Armrests

Jong Rak Park* and Ho Sang Lee*†

* Dept. of Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation

(Received January 29, 2015 ; Revised April 23, 2015 ; Accepted May 4, 2015)

Key Words: In-Mold Coating(인몰드코팅), Polyurethane(폴리우레탄), Injection Molding(사출성형), Mold(금형), Substrate(기재), Sealing Edge(실링엣지), Overflow Area(오버플로우 영역)

초록: 자동차 암레스트의 사출성형과 코팅을 동시에 구현하기 위하여 인몰드 코팅 금형을 설계하였다. 개발된 금형은 하나의 코어와 두개의 캐비티를 포함하고 있으며, 캐비티는 기재 캐비티와 코팅 캐비티로 이루어진다. 코어는 가동측 형판에 부착되었으며, 두개의 캐비티는 고정측 형판에서 슬라이딩하는 평판위에 설치되었다. 2 단계 공정으로 이루어지며 가장 먼저 사출성형된 제품은 슬라이딩 평판에 의하여 2 번째 캐비티로 전달되었다. 기재에 적용된 소재는 PC/ABS 이며, 코팅제로는 2 액형 폴리우레탄이 사용되었다. 코팅제의 토출유량을 변경하면서 실험을 수행하였으며, 주제와 경화제의 믹싱특성을 고찰하였다. 토출유량이 증가함에 따라 믹싱이 더욱 향상되었으며, 주입된 코팅제의 중량이 증가할수록 기재 표면에 발생하는 기포가 감소하였다.

Abstract: A mold design for in-mold coating was developed to achieve simultaneous coating and injection molding of an automotive armrest. The developed mold includes one core and two cavities which are composed of a substrate cavity and a coating cavity. The core was attached to a movable plate and two cavities were mounted on a plate sliding in a stationary plate. In a two-step process, the part was first injection molded and subsequently, with the aid of a sliding table, was transferred to a second cavity. The materials used were PC/ABS for substrate and two-component polyurethane for coating. The experiments were conducted by changing the flow rate to investigate mixing characteristics. As the flow rate increased, the mixing improved. Additionally, the bubbles appeared over the substrate surface decreased with an increase of the weight of injected coating material.

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 있

다. 인몰드코팅(In-Mold Coating)은 사출성형공정 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 외관불량⁽¹⁾이 코팅 이후에는 은폐되는 장점을 갖고 있다. 특히, 매우 두꺼운 코팅두께를 단일공정으로 구현할 수 있으며, 경화 반응에 의해 도막을 형성하기 때문에 성형과정에서 휘발성 유기화합물(VOC)이 배출되지 않는 장점이 있다. 아울러 코팅제가 모두 도막으로서 제품에 부착되기 때문에 폐기물의 발생도 크게 감소된다.

[§] 이 논문은 대한기계학회 2014년도 추계학술대회(2014. 11. 11.-14., 김대중컨벤션센터) 발표논문임.

† Corresponding Author, lhs@ut.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

독일의 Krauss Maffei⁽²⁾에서 상용화시킨 인몰드 코팅방법은 기재 사출성형과 코팅이 각각 서로 다른 캐비티에서 이루어지도록 하는 금형 캐비티 교체 방식이다. 열가성수지를 사용하여 기재를 사출성형한 이후에 금형을 개방하고, 기재가 가동측 코어에 붙어있는 상태에서, 고정측에 부착된 캐비티 플레이트를 슬라이딩시켜 이동한다. 이어서 기재가 부착되어 있는 코어와 코팅용 캐비티를 닫고 코팅제를 주입한 후, 금형 안에서 코팅제를 경화시키는 공정으로 이루어져 있다.

아직까지 폴리우레탄을 적용한 인몰드 코팅에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구진에서는 2액형 폴리우레탄에 대하여 DSC를 사용한 발열특성 측정, 경화모델 구성, 인몰드 코팅공정에 대한 경화과정 해석 등을 수행하였다.⁽³⁾ 그리고 평판모델을 대상으로 인몰드코팅 금형을 개발하고 실험적 연구를 수행하였다.^(4,5)

본 논문에서는 자동차 내장도어용 암레스트에 대하여 사출성형과 표면코팅을 금형 안에서 동시에 구현하기 위한 인몰드코팅 금형 및 공정에 대하여 연구하였다. 암레스트는 탑승자가 팔을 걸었을 시 무게를 지탱하는 강성이 필요한 부품으로서 고감성 디자인뿐만 아니라 촉감과 내스크래치성이 동시에 요구된다. 코팅에 적용된 원료의 점도가 매우 낮기 때문에 금형 안에서 코팅제의 누설이 발생하지 않도록 실링을 고려하여 설계하였다. 아울러 제품표면에 기포가 발생하지 않도록 오버플로우 영역을 설치하였다. 그리고 인몰드코팅 실험을 통해 다양한 코팅조건이 주재와 경화제의 혼합특성과 기포발생에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 금형설계

2.1 금형구조

Fig. 1은 1/3로 축소된 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. 2는 사출성형과 기재표면 코팅을 동시에 수행할 수 있는 인몰드 코팅 금형의 구조를 나타낸 것이다. 고정측에 2개의 캐비티 금형, 그리고 가동측에 1개의 코어 금형으로 구성되어 있으며,

이때 고정측에 설치된 캐비티 금형은 유압실린더를 사용하여 슬라이딩이 가능하도록 하였다.

측면에 구멍을 형성시키기 위하여 슬라이딩 코어를 사용하였다. 금형이 개방된 상태에서는 스프링의 미는 힘에 의해 슬라이딩 코어가 밖으로 빠져 있는 상태가 되며, 금형이 닫히게 되면 슬라이딩 코어와 슬라이딩 플레이트가 접촉하게 되어 슬라이딩 핀을 밀어주도록 하였다.

그리고 기재 사출성형이 종료된 후에 금형을 개방한 상태에서 코팅공정을 위해 고정측 금형이 슬라이딩하고, 금형을 닫은 후 믹싱헤드를 통하여 코팅제가 금형 안으로 주입되도록 하였다. 최종적으로 코팅제의 경화가 끝난 후 금형이 열리고 제품이 취출되도록 하였다.

2.2 코팅채널 및 오버플로우 영역 설계

믹싱헤드를 통해 주입된 코팅제가 균일한 유동을 만족하며 기재표면을 흐르도록 Fig. 3과 같이 코팅채널을 설계하였다. 코팅제의 점도는 일반적인 열가소성 수지의 1/10,000 ~ 1/100,000배로 매우 작기

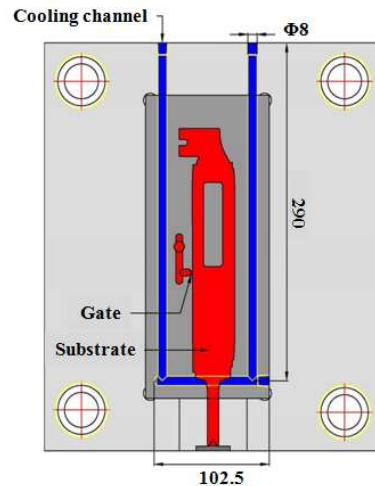


Fig. 1 Details of part design with cooling channels

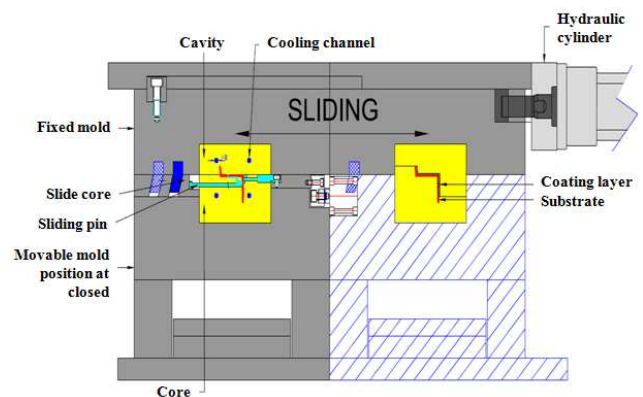


Fig. 2 Schematic of mold

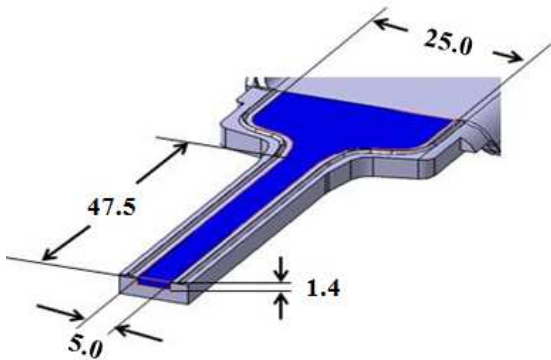


Fig. 3 Coating channel with sealing edge

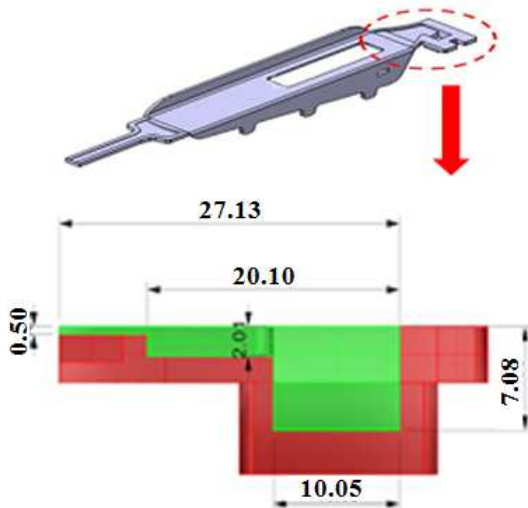


Fig. 4 Details of overflow area

때문에 금형 안에서 코팅제의 누설을 방지할 수 있도록 실링엠티를 고려하였다. 코팅제 유로 양쪽라인을 따라 높이 0.4 mm, 폭 0.8 mm인 끝이 뾰족한 삼각형 형상을 갖는 엠티를 설치하여 금형이 닫히면서 실링엠티가 쉽게 변형되고 코팅제의 누설을 방지할 수 있도록 하였다.

또한 코팅제의 유동방향을 제어하고 제품표면에 기포가 발생하지 않도록 오버플로우 영역을 설치하였으며, 세부설계는 Fig. 4와 같다.

2.3 금형제작

Fig. 5 와 Fig. 6 은 제작된 고정측 금형과 가동측 금형을 각각 나타내고 있다. 고정측 금형에는 기재 사출성형을 위한 캐비티와 표면 코팅을 위한 캐비티가 각각 구성되어 있으며, 캐비티 이동을 위하여 별도의 유압실린더가 설치되어 있다. 그리고 가동측 금형에는 코어금형이 포함되며, 코팅제 주입을 위하여 Fig. 7 과 같이 가동측 금형 하부에 믹싱헤드를 조립하였다.

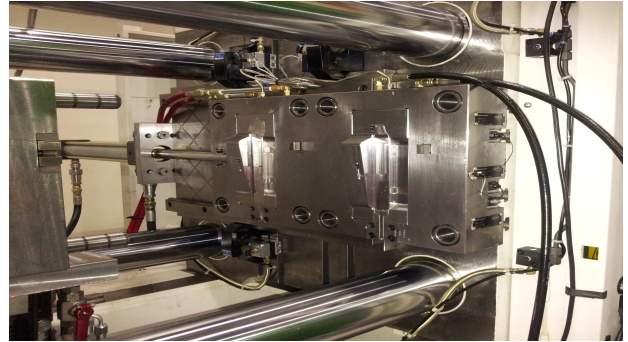


Fig. 5 Photographs of stationary mold

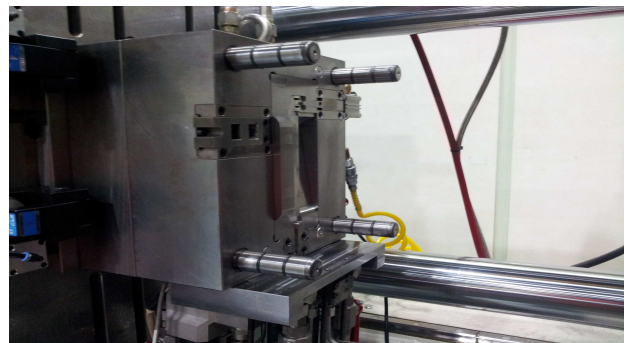


Fig. 6 Photographs of movable mold

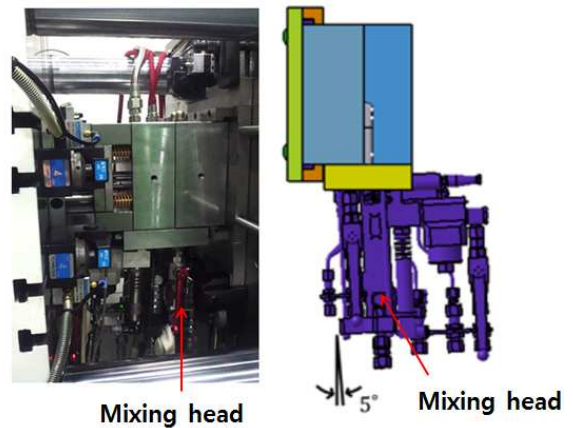


Fig. 7 Photograph of mounted mixing head

3. 실험 및 고찰

3.1 실험방법

사출성형과 인몰드코팅 실험을 위하여 Krauss Maffei사에서 제작한 유압식 사출성형기(KM 160/ 750 CX)와 CCM(Rim star Nano 4/4) 장비를 사용하였다.

기재 사출성형에 사용된 수지는 제일모직에서 제조한 PC/ABS(INFINO HP-1013P)이며, 코팅제는 독일 Votteler사에서 제조한 폴리우레탄으로서 주재인 폴리올(PU993)과 경화제인 이소시아네이트(PU955)를 100 : 130의 비율로 믹싱헤드에서 혼합

하여 금형에 주입하였다. 이때 믹싱헤드의 주체와 경화제 분사 부위에 각각 0.15 mm, 0.17 mm의 직경을 갖는 노즐을 사용하였다.

Fig. 8은 믹싱헤드의 구조를 도시한 것으로 코팅제를 토출하기 위하여 믹싱 콘트롤 피스톤과 클리닝 피스톤이 각각 후진한 상태를 나타낸다. 저장탱크로부터 고압펌프에 의해 믹싱헤드로 공급된 주체와 경화제는 필터를 거쳐 각각 노즐 A와 B를 통하여 분사된다. 이때 발생하는 높은 충돌 에너지에 의해 난류유동과 함께 균일한 혼합이 이루어지고, 점차 층류유동으로 바뀌면서 믹싱헤드 출구를 통해 금형 안으로 토출된다. 한편 토출을 종료하기 위하여 믹싱 콘트롤 피스톤이 전진하면, 주체와 경화제는 더 이상 만나지 않고 각각의 리턴라인을 통해 순환하게 되며, 최종적으로 클리닝 피스톤이 전진하면서 남아 있는 코팅제를 금형 안으로 밀어넣게 된다.

1차로 기재 사출성형을 위하여 금형온도 65℃, 수지온도 265℃를 적용하였으며, 사출속도 15 mm/sec, 보압크기 90 MPa, 보압유지시간 7 sec로 설정하였다. 이어서 코팅실험을 위하여 금형과 코팅제의 온도를 각각 80℃로 설정하였다.

3.2 노즐압력

믹싱헤드에 설치된 노즐에서 유체의 속도(v)는 토출되는 질량유량(\dot{m})을 사용하여 다음과 같이 표현된다.

$$v = \frac{4}{\pi d^2} \frac{\dot{m}}{\rho} \quad [m/sec] \quad (1)$$

여기서 d [m]는 Fig. 8에서 도시된 노즐 출구지름이며, \dot{m} [kg/sec]는 질량유량, ρ [kg/m³]는 밀도를 나타낸다.

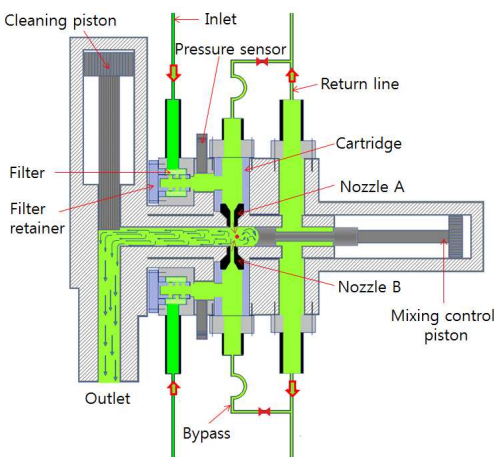


Fig. 8 Schematic of mixing head

유체가 노즐을 통과하면서 발생하는 압력은 다음 식 (2)와 같다.

$$p = \xi \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad [Pa] \quad (2)$$

여기서 ξ 는 저항계수(resistance coefficient)를 나타내며, 식 (3)과 같이 표현된다.⁽⁶⁾

$$\xi = 1.42 + \left(\frac{37}{Re}\right) + \left(\frac{1250}{Re^2}\right) \quad (3)$$

이때 레이놀드 수(Re)는 다음과 같다.

$$Re = \rho v d / \eta \quad (4)$$

여기서 η [mPa·s]는 점도를 나타낸다. 점도가 각각 160 mPa·s, 110 mPa·s인 폴리올과 이소시아네이트를 100 : 130 비율로 혼합하고, 전체 토출유량이 6.3 g/s일 때, 폴리올과 이소시아네이트 노즐에서의 레이놀드 수는 각각 145, 242이다.

식 (2)를 사용하여 전체 토출유량 변화에 따른 주체와 경화제의 노즐 압력을 각각 계산하고, 동일한 조건에서의 실험을 통해 Fig. 8의 믹싱헤드 안에 설치된 압력센서를 사용하여 측정된 결과와 비교하였다. 압력 측정은 믹싱 콘트롤 피스톤이 전진한 상태에서 노즐을 통과한 주체와 경화제가 서로 만나지 않고 각각의 리턴라인을 통해 순환하는 단계에서 이루어진 것이다.

Fig. 9에서 보여진 바와 같이 노즐압력은 토출유량에 따라 증가하고 있으며, 계산된 압력과 측정결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 하지만 유량이 적을 경우 계산된 압력과 압력센서에서 측정된 값과의 차이가 발생하였다.

그 이유는 실험에 사용한 믹싱헤드의 토출유량이 5~50 g/s 범위로 설계된 것이므로 유량이 작을 경우 실험과정에서 토출되는 유량의 편차가 크게 발생하는데 기인한 것으로 판단된다.

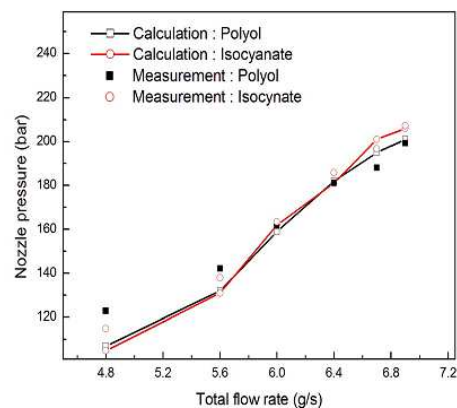


Fig. 9 Nozzle pressure vs. total flow rate

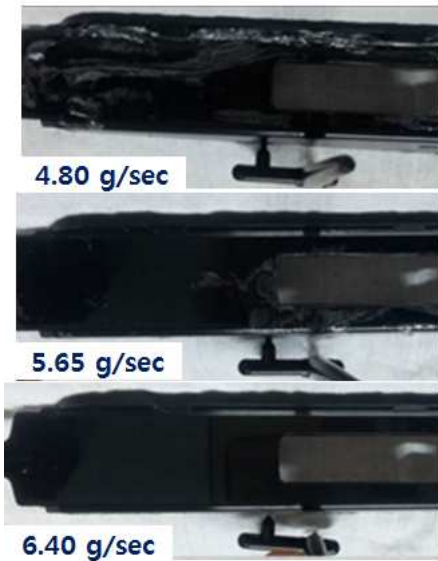


Fig. 10 Surface appearance under various flow rate

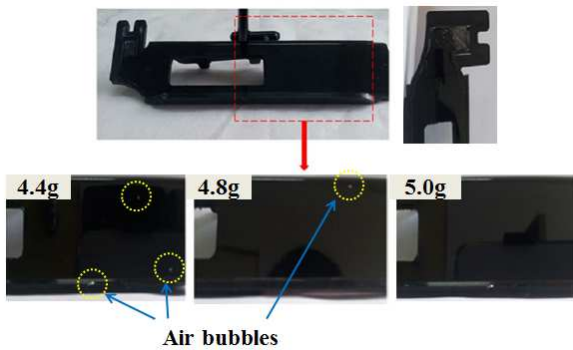


Fig. 11 Air bubbles under various weight of PU

3.3 주재와 경화제의 혼합특성

토출유량이 주재와 경화제의 혼합특성에 미치는 영향을 고찰하기 위해 전체 토출유량을 변화시키며 실험을 진행하였다. Fig. 10은 토출유량 변화에 따른 코팅표면 외관을 나타낸 것으로, 유량이 적을 경우 주재와 경화제의 혼합이 불균일하고 외관품질이 좋지 않은 것을 볼 수 있다. 반면에 유량이 증가할수록 주재와 경화제의 혼합이 균일해지면서 코팅표면 상태가 향상되고 있음을 확인할 수 있다. 토출유량 6.4 g/s 이상에서 혼합이 잘 이루어지는 것을 볼 수 있으며, 이는 Fig. 9에서 나타난 바와 같이 노즐 압력이 180 bar 정도 발생하는 경우에 해당된다. 따라서 주재와 경화제의 균일한 혼합이 이루어지기 위하여 믹싱헤드 노즐부 압력이 180 bar 이상 형성되어야 함을 알 수 있다.

3.4 기포특성

Fig. 11 은 주입된 코팅제 중량에 따라서 표면에

발생하는 기포의 상태를 나타낸 것이다. 4.4 g 의 코팅제를 주입한 경우에는 기포가 여러 지점에서 발생하였으나, 주입량이 4.8 g 으로 증가하면 기포 발생이 감소하였으며, 5.0 g 을 주입하였을 때는 표면에 기포가 발생하지 않았다. 그 이유는 코팅제 주입량이 증가할수록 기포가 오버플로우 영역으로 밀려나가기 때문이다. 결국 코팅제가 가장 늦게 채워지는 부분에 오버플로우 영역을 설치하여 충전 중 제품 표면에 기포가 발생하지 않도록 제어할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

자동차 암레스트용 인몰드코팅 금형을 개발하고 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 코팅채널, 실링에지, 오버플로우 영역 등을 고려한 인몰드코팅 금형을 설계/제작하여 코팅제 누설 방지와 기포 제거를 위한 새로운 금형설계 기준을 제시하였다.
- (2) 전체 토출유량 변화에 따른 주재와 경화제의 노즐부위 압력을 계산하고, 믹싱헤드의 압력센서에서 측정된 결과와 비교하였으며, 계산된 압력과 측정결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.
- (3) 코팅제의 토출유량이 증가할수록 주재와 경화제의 혼합특성이 향상되었으며, 노즐압력이 180bar 이상 유지되어야 함을 알 수 있었다.
- (4) 코팅제 주입 중량이 증가할수록 표면에 발생하는 기포가 감소하고, 오버플로우 영역을 설치하여 제품 표면에 기포가 발생하지 않도록 할 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업(과제번호 10040061)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌
(References)

- (1) Park, C. H., Ahn, H. J., Choi, D. H. and Pyo, B. G., 2010, "Two-stage Design Optimization of an Automotive Fog Blank Cover for Enhancing Its Injection Molding Quality," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 34, No. 8, pp.1097~1103.
- (2) Gruber, M., 2009, "Method for Producing a Coated Composite Component," *KraussMaffei Technologies*, US Patent, No. 0243148.
- (3) Lee, H. S., Kim, D. M. and Yoo, Y.E., 2013, "A Study on the Curing Characteristics of Two-component

- Polyurethane During in-mold Coating Processes," *Proc. KSMTE Conf.*, p. 103.
- (4) Lee, H. S., Kim, D. M. and Park, J. R., 2013, " Mold Design for Simultaneous Injection Molding and Surface Coating," *Proc. KSTP Conf.*, pp.42~44.
- (5) Lee, H. S. and Kim, D. M., 2014, "A Study on the Cavity Pressure and Mixing Characteristics in in-mold Coating Processes," *Proc. KSMTE Conf.*, p. 152.
- (6) KraussMaffei Technologies GmbH, 2013, Mixing Head and Pump Seminar.