

사출금형 안에서 코팅을 위한 충돌혼합에 관한 해석

김슬우¹ · 이호상[†]

한국교통대학교 항공·기계설계학과^{1,†}

Analysis of impingement mixing for coating in injection mold

Seul-Woo Kim¹ · Ho-Sang Lee[†]

Dep. of Aeronautical & Mechanical Design Eng., Korea Nat'l Univ. of Transportation^{1,†}

(Received December 11, 2019 / Revised December 23, 2019 / Accepted December 31, 2019)

Abstract: In-mold Coating is a method that can simultaneously perform injection molding and surface coating in injection mold. The material used for coating is two-component polyurethane which is composed of polyol and isocyanate. L-type mixing head can be used to mix polyol and isocyanate uniformly, and inject them inside the mold cavity. The surface quality of the injection molded products by using in-mold coating depends on the mixing uniformity between main agent and hardener. In this study, flow analysis was performed to design a mixing head for uniform mixing of two-component polyurethane. Especially the effects of design parameters of mixing head on mixing uniformity and nozzle pressure were investigated. The parameters of mixing head were mixing chamber diameter, cleaning cylinder diameter, nozzle alignment angle in the horizontal and vertical direction, and cleaning piston position. It was found that optimal design values were mixing chamber diameter of 3.5 mm, cleaning cylinder diameter of 5.0 mm, nozzle horizontal/vertical alignment angles of 140°/160°, and cleaning piston position of 1.8 mm. The optimal values would be used to develop a two-component mixing head achieving an uniform mixing for in-mold coating.

Key Words: Impingement Mixing, Injection Mold, In-Mold Coating, Mixing Head, Polyurethane

1. 서 론

사출성형과 표면 코팅을 사출금형 안에서 동시에 구현하기 위한 공법은 기재 사출성형, 캐비티 교체, 코팅소재 주입 및 경화 등 연속공정으로 이루어진다¹⁾. 휘발성 유기용제를 사용하지 않으므로 친환경적이며, 금형의 가공표면을 따라 코팅이 이루어지기 때문에 코팅재의 손실이 없고 균일한 코팅 두께를 얻을 수 있다는 큰 장점이 있다. 폴리우레탄은 내스 크래치성, 고광택, 내후성 등이 매우 우수하고, 다양한 물성을 구현할 수 있기 때문에 가전, 자동차 등 다양한 종류의 내·외장 플라스틱 부품의 표면 코팅에 많이 사용된다. 폴리우레탄은 주제인 폴리올(Polyol)과 경화제인 이소시아네이트(Isocyanate)로 구성되며, 화학적인 반응에 의하여 발열과 함께 고

체 상태로 경화된다. 최종제품의 우수한 표면품질을 구현하기 위하여 주제와 경화제가 일정한 비율로 균일하게 혼합된 후 주입, 경화되어야 한다. 지금까지 주제와 경화제를 균일하게 혼합하고 금형 안으로 주입하기 위하여 L자형 믹싱헤드가 효과적인 것으로 알려져 있다²⁾. 믹싱헤드는 두 개의 노즐을 통해 주입된 주제와 경화제가 혼합챔버 안에서 고압으로 충돌하여 혼합되고 클리닝 실린더를 통해 최종적으로 금형 안으로 주입되도록 한다.

믹싱헤드에 관련된 기존 연구는 직선형 믹싱헤드의 형상 및 레이놀즈수에 따른 온도 상승에 대한 실험적 연구²⁾, 동일 유체를 사용한 직선형 믹싱헤드의 유동 시각화³⁾, 레이놀즈수에 따른 L 자형 믹싱헤드의 혼합 특성⁴⁾ 등이 있다. 기존 연구들 대부분은 직선형 믹싱헤드에 대하여 고찰하였고, L 자형 믹싱헤드의 설계인자에 대한 체계적인 연구결과는 발표되어 있지 않다.

1, † 교신저자: 한국교통대학교 항공·기계설계학과

E-mail: lhs@ut.ac.kr

따라서 본 논문에서는 주제와 경화제의 혼합에 사용되는 L자형 믹싱헤드를 설계하기 위하여 충돌 혼합에 관한 유동해석을 수행하고, 해석 조건 및 믹싱헤드 설계인자에 따른 노즐압력, 혼합특성 등을 고찰하였다.

2. 충돌혼합 해석

2.1. L자형 믹싱헤드

Fig. 1은 L자형 믹싱헤드의 단계별 동작 상태를 나타낸다. Fig. 1(a)는 믹싱헤드 안으로 주입된 주제와 경화제가 서로 만나지 않고 재순환되는 상태를 나타낸다. 원료를 금형 안으로 토출할 경우에는 믹싱헤드에 연결된 유압 펌프를 작동하여 Fig. 1(b)와 같이 클리닝 피스톤이 후진 한 뒤 Fig. 1(c)와 같이 혼합챔버 피스톤이 후진하게 된다. 이때 혼합챔버 피스톤에 의해 막혀있던 주제와 경화제의 노즐이 열리면서 폴리올과 이소시아네이트가 고압으로 분사된다.

폴리올과 이소시아네이트는 Fig. 2에서와 같이 혼합챔버 안에서 강한 1차 충돌을 하고, 다시 혼합챔버 벽면에 2차 충돌하면서 난류 운동에너지에 의해 매우 큰 와류를 형성한다. 또한 클리닝 피스톤에 의하여 형성된 좁은 공간을 통과하면서 추가적인 혼합을 이루게 된다. 최종적으로 혼합 유체는 클리닝 피스톤을 지나 토출관을 통과하면서 충돌유동이 되어 금형 안으로 주입된다. 이후 Fig. 1(a)와 같이 혼합챔버 피스톤이 전진하여 주제와 경화제는 더 이상 충돌하지 않고 각각의 탱크 쪽으로 순환하게 되고, 이때 클리닝 피스톤이 전진하면서 믹싱헤드 내부에서 잔류하고 있는 혼합 유체를 금형 안으로 밀어낸다. 서로 다른 두 유체가 직접 충돌하면서 형성되는 노즐압력은 180bar 일 때 균일한 혼합을 이룰 수 있다고 보고되어 있다⁵⁾.

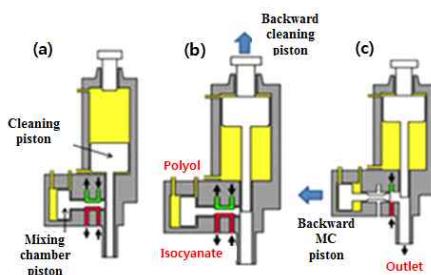


Fig. 1 Cyclic sequence of L-type mixing head

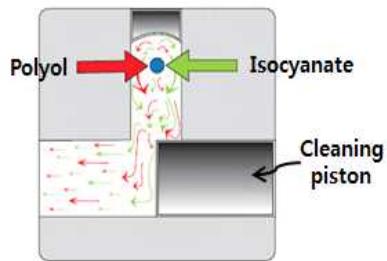


Fig. 2 Impingement mixing in mixing head

2.2. 해석방법

유동해석을 위해 ANSYS-CFX⁶⁾를 사용하였으며, 혼합되는 두 유체는 비압축성 유체로 가정하였다. 또한 설계인자의 변화에 따른 유동 및 혼합 특성 차이를 비교하기 위하여 정상상태로 가정하고 유동해석을 수행하였다.

계산 영역은 실린더 형태를 갖는 혼합챔버, 혼합챔버 내부벽면에 대칭으로 형성되어있는 양쪽 두 개의 노즐, 혼합챔버와 직각으로 이루어져 혼합된 코팅재가 토출되는 실린더로 구성된다.

믹싱헤드 안에서 두 유체의 충돌이 일어나는 부분은 완전한 난류이므로 챔버 내부의 유동에 대하여 난류 유동 지배방정식⁷⁾을 적용하였다.

유동해석에서 두 유체의 혼합 정도를 정량적으로 표현하기 위하여 혼합 균일도(Mixing uniformity)를 식(1)과 같이 정의하였다.

$$\text{Mixing uniformity}[\%] = \frac{A_1}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 A_0 는 클리닝 실린더의 출구 단면의 전체 면적이며, A_1 은 출구 단면에서 혼합 비율(Volume fraction) 0.5를 기준으로 $\pm 10\%$ 범위 안에 있는 영역의 면적을 나타낸다. 즉, 출구 단면 모든 영역에서의 혼합 비율이 $\pm 10\%$ 범위 안에서 균일할 경우 완벽한 혼합으로 가정하였다.

2.3. 재료 및 모델링

2.3.1. 재료

폴리우레탄은 낮은 온도에서는 점도가 매우 크기 때문에 유동성이 좋지 않아 혼합이 균일하게 이루어지지 않으며, 온도가 너무 높을 경우에는 경화반응으로 인해 코팅이 불가능하다⁸⁾. 본 연구에서 유동해석을 위하여 독일의 Votteler 사에서 제조하는 2

액형 폴리우레탄(PURIFLOW : Polyol, Isocyanate)을 사용하였으며, Table 1은 물성테이터를 나타낸다.

Table 1 Material properties of two-component polyurethane

Parameter	Polyol	Isocyanate
Viscosity (mPa·s)	170	90
Density (g/cm ³)	1.052	1.102
Mixing ratio	100	130
Fluid temperature (°C)	80 (isothermal)	

2.3.2. 형상 모델링

믹싱헤드에서 내부 유동은 노즐, 혼합챔버, 클리닝 실린더에서 발생하며, 혼합챔버 피스톤과 클리닝 피스톤의 후퇴로 인해 생기는 빈 공간이 계산영역이다. 믹싱헤드는 노즐이 이루는 각도와 혼합챔버와 클리닝 실린더의 구조, 클리닝 피스톤의 위치 등에 따라 일자형, L자형, V자형 등이 있다. 본 연구에서는 2 액형 폴리우레탄을 혼합하기 위해 L자형 믹싱헤드의 내부 구조를 사용하였다⁹⁾.

Fig. 3은 해석조건 선정을 위하여 사용된 믹싱헤드 모델을 나타내고 있다. 혼합챔버 직경(D_M) 3.5mm, 클리닝 실린더 직경(D_C) 5.0mm, 클리닝 피스톤의 위치(L_{C0}) 1.8mm, 폴리올과 이소시아네이트가 주입되는 노즐의 직경은 각각 0.12mm, 0.13mm이다. 또한 두 노즐이 이루는 각도는 수평 120°, 수직 100°를 기본으로 설정하였다.

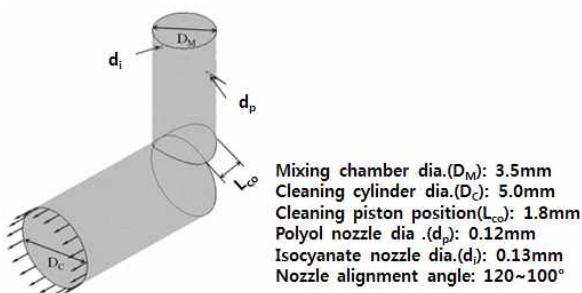


Fig. 3 Mixing head design parameters

2.3.3. 경계조건

각 노즐로 주입되는 폴리올과 이소시아네이트는 제조사에서 정한 혼합비 100:130을 사용하였고, 균일한 혼합을 위해서는 노즐에서의 압력이 170~190bar를 만족해야한다. 폴리올과 이소시아네이트가 믹싱헤드에서 혼합되어 토출될 때의 총 유

량 3.9g/s를 기준으로 하였다. 따라서 폴리올과 이소시아네이트 각각의 노즐 입구에서 토출유량 1.69g/s, 2.204g/s을 경계조건으로 설정하였다. 그리고 클리닝 실린더의 출구에는 상대압력을 0으로 설정하였다. Fig. 4는 해석에 적용된 경계조건과 혼합비, 난류 운동에너지 등의 분포를 확인하기 위한 단면을 나타내고 있다.

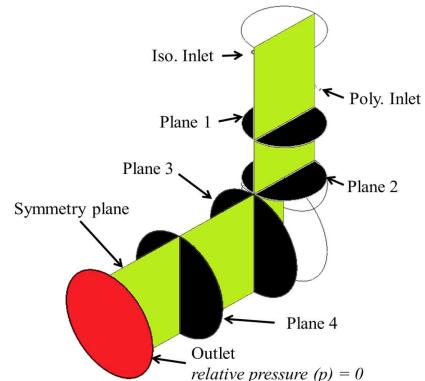


Fig. 4 Boundary conditions and planes

2.4. 해석조건

2.4.1. 난류모델

두 노즐에서 분사되어 충돌하는 유체의 레이놀즈수에 따른 혼합 특성을 비교한 연구에 따르면 레이놀즈수 150 이상에서 두 유체가 충돌 후 혼합되기 위한 충분한 난류를 형성할 수 있다고 보고되어 있다¹⁰⁾. 본 연구에 사용된 폴리우레탄은 폴리올과 이소시아네이트의 각 노즐에서 레이놀즈수가 각각 약 150, 239이다⁹⁾. 따라서 충돌에 의한 난류 형성에 적합하다고 판단하였으며, 믹싱헤드의 유동해석을 위해 난류모델을 적용하였다. 챔버 내부의 난류 유동을 기술하는 방정식은 연속 방정식과 운동량 방정식, 난류 점성계수의 계산에 필요한 난류 운동에너지 보존 방정식, 에너지 소산을 보존 방정식 등이다.

3 차원 전산유체해석에서 난류 유동을 모사하기 위해 $k-\epsilon$ 난류 모델¹¹⁾, SST(Shear Stress Transport) 난류 모델¹²⁾ 등이 있다. 본 연구에서는 $k-\epsilon$ 모델과 SST 모델에 대해 각각 비교하고 실제 믹싱헤드 내부 유동을 가장 잘 모사할 수 있는 난류 모델을 선정하였다.

Fig. 5는 각 난류 모델에 대한 대칭 단면에서 속도 분포를 가시화한 것이다. 두 난류 모델 모두 혼합챔버 안에서 두 원료의 충돌 시 높은 속도를 가지

며 혼합챔버 상부 벽면과 충돌 후 속도가 감소하고 혼합챔버 출구 근처에서 대부분 낮은 속도를 가지게 된다. 혼합챔버 출구를 지나 클리닝 실린더에서 $k-\varepsilon$ 모델은 클리닝 피스톤의 선단 면을 따라 충류 유동을 나타내는 반면, SST 모델은 혼합챔버 출구를 지나면서 클리닝 실린더 하부의 피스톤 선단과 맞닿는 위치에서 작은 와류가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 SST 모델에 의한 유동패턴은 클리닝 실린더에서 완전한 충류 유동을 나타내는 실제 실험 현상¹⁰⁾과 다른 결과를 보여주는 것이다. 따라서 본 해석의 경우 $k-\varepsilon$ 난류 모델을 사용하였다.

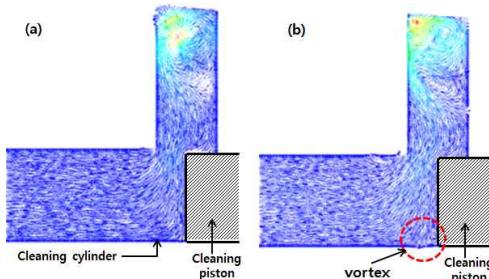


Fig. 5 Velocity vectors at symmetry plane: (a) $k-\varepsilon$ (b) SST

2.4.2. 경계면 길이 척도(Interface length scale)

운동량, 열 및 질량의 경계면에서 물질전달은 접촉 표면적에 직접적으로 의존하며 경계면 면적 밀도(Interface area density)를 특징으로 한다. 경계면 길이 척도(Interface length scale) 값은 중요한 특징 변수인 경계면 면적 밀도(Interfacial area density)를 정의하는 변수로써 Mixture model 에서는 두 유체를 대칭적으로 처리하고 그 식은 다음과 같다⁶⁾.

$$A_{\alpha\beta} = \frac{r_\alpha r_\beta}{d_{\alpha\beta}} \quad (2)$$

여기서, $A_{\alpha\beta}$ 는 Interfacial area density [mm^{-1}] 를 나타내고, r_α , r_β 는 α , β 상 각각의 부피 비율, $d_{\alpha\beta}$ 는 Interface length scale [mm] 을 나타낸다. $d_{\alpha\beta}$ 값이 작아지게 되면 $A_{\alpha\beta}$ 값이 커지게 되고 α , β 상 사이의 교환량이 증가하게 된다.

따라서 $d_{\alpha\beta}$ 값을 나타내는 경계면 길이 척도를 기본 값인 1mm 에서 10^9mm 까지 줄여가며 해석을 수행하고 그 영향을 분석하였다.

Fig. 6은 경계면 길이 척도 변화에 따른 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서의 혼합 균일도를 나타낸 것으로 노즐압력의 경우 10^6mm 까지는 거

의 일정하지만, 그 이상 커지면 노즐압력이 크게 떨어지며 실험과 다른 결과⁵⁾를 나타내고 있다. 혼합 균일도 또한 10^6mm 까지는 거의 일정하지만, 그 이상 큰 값에서는 균일도가 떨어지며 부정확한 결과를 나타낸다. 따라서 본 적용 모델에 대해서 경계면 길이 척도 값을 10^6mm 로 설정하였다.

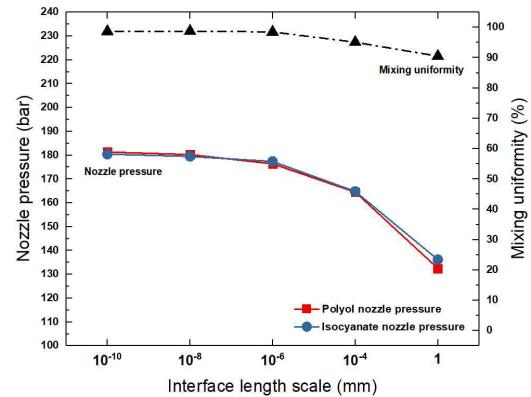


Fig. 6 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of interface length scale

3. 해석결과 및 고찰

L자형 믹싱헤드의 설계인자 변화에 따른 유동해석을 수행하였다. 설계인자는 Fig.7에서 도시한 바와 같이 혼합챔버 직경(D_M), 클리닝 실린더 직경(D_C), 노즐 수평/수직 정렬각(Θ_H/Θ_V), 클리닝 피스톤 위치(L_{C0})로 나타낼 수 있다. 각 설계인자에 대하여 주제와 경화제가 충돌하면서 발생하는 노즐에서의 압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도 등을 비교, 분석하여 L자형 믹싱헤드 설계를 위한 기초데이터로 사용할 수 있도록 하였다.

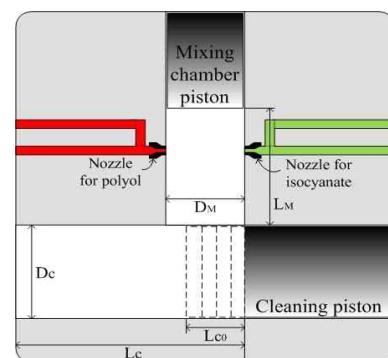


Fig. 7 Design parameters for L-type mixing head

3.1. 혼합챔버 직경

혼합챔버는 두 유체가 노즐에서 고압으로 분사되어 충돌하는 공간을 나타내며, 코팅재의 혼합이 대부분 혼합챔버 안에서 이루어지게 된다. 혼합챔버 직경을 변경하면 두 유체가 분사되고 충돌하기까지의 거리와 충돌 후 발생한 난류 유동에 의해 혼합이 이루어지는 공간이 변하게 된다. 따라서 혼합챔버 직경을 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5mm로 각각 설정하여 각 직경에 따른 노즐압력, 혼합 균일도 등을 비교하였다. 이때 클리닝피스톤 직경 5mm, 노즐의 수평/수직 경사각 180°, 클리닝피스톤 위치 0mm로 고정된 값을 사용하였다.

Fig. 8은 혼합챔버 직경 변화에 따른 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서의 혼합 균일도를 나타낸다. 노즐압력은 혼합챔버 직경 3.5mm 까지는 감소하다가 3.5mm 이상에서는 일정해지는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 혼합챔버 직경이 감소하게 되면 노즐에서 두 유체가 충돌하는 위치까지의 거리가 짧아지게 되고, 두 유체의 충돌에 의해 발생하는 반발력의 영향으로 압력이 증가하는 것으로 판단된다¹³⁾. 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도는 혼합챔버 직경 3.5mm 까지 선형적으로 증가하다가 4.0mm 이상의 직경에서 약간 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 혼합챔버 직경 2.5mm인 경우는 3.5mm인 경우에 비해 혼합챔버의 부피가 약 50% 작아 혼합을 위한 충분한 공간이 형성되지 않기 때문이라 판단된다.

Fig. 9(a) 와 (b) 는 혼합챔버 직경 3.5mm 경우에 대해 클리닝 실린더 출구 단면과 대칭 단면에서의 주제와 경화제간의 부피 비율을 나타낸 것으로 0.4 ~ 0.6 범위의 값은 회색으로 나타난다. 혼합챔버에서 부피 비율이 출구 단면에서의 혼합 비율과 큰 차이가 없어 두 유체 혼합 과정의 대부분이 혼합챔버에서 이루어지는 것을 알 수 있다.

3.2. 클리닝 실린더 직경

클리닝 실린더는 혼합챔버와 수직으로 이어져 있으며, 혼합된 유체가 토출되기 전 층류 유동을 형성하고 일정한 속도로 흐르기 위한 통로이다. 클리닝 실린더에서 유체의 층류화는 금형 안으로 토출될 때 제품 표면에 발생하는 기포, 혼합 불균일 등의 표면 불량을 방지하기 위해 요구된다. 클리닝 실린더 직경이 혼합 과정에 미치는 영향에 대해 고찰하기 위해 혼합챔버 직경을 3.5mm로 고정하고 클리

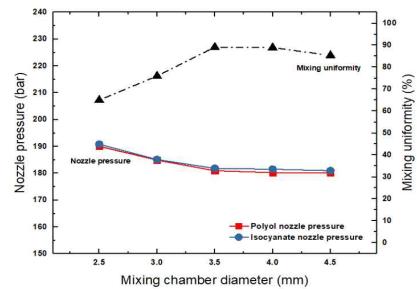


Fig. 8 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of mixing chamber diameter

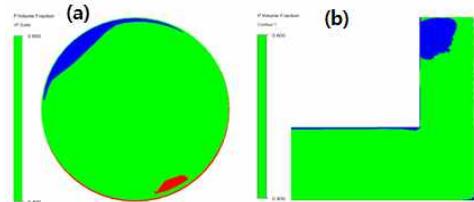


Fig. 9 Volume fraction at (a) outlet (b) symmetry plane

닝 실린더 직경을 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0mm로 각각 설정하여 해석을 수행하였다.

Fig. 10은 클리닝 실린더 직경에 따른 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서의 혼합 균일도를 나타낸 것이다. 노즐압력과 혼합 균일도 모두 클리닝 실린더 직경 변화에 대해 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 Fig. 4에서 도시된 Plane 3, 4 그리고 Outlet에서 난류 운동 에너지의 평균값과 편차를 나타낸 것이다. Plane 3은 혼합챔버 출구와 클리닝 실린더가 90°를 이루는 위치를 나타내고 있으며, 4.0mm 직경에서는 잔류하는 난류 운동에너지가 크고 편차도 크게 나타났다. 또한 클리닝 실린더를 통해 유체가 흐르면서 출구에서의 잔류 난류 운동 에너지는 감소하지만 다른 경우에 비해 상대적으로 크게 나타난다. 5.0mm 직경 이상에서는 난류 운동 에너지의 크기와 편차가 크게 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

클리닝 실린더 직경은 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도에 큰 영향을 주진 않지만 난류 운동에너지의 감소와 유동의 안정화에 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서 클리닝 실린더에서 난류 운동 에너지의 분포를 고려하여 클리닝 실린더 직경 5.0mm가 적정한 것으로 판단된다.

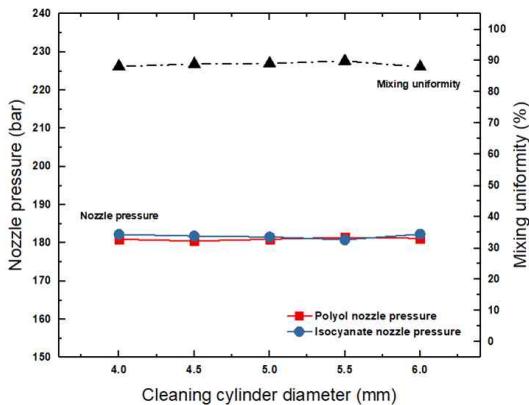


Fig. 10 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of cleaning cylinder diameter

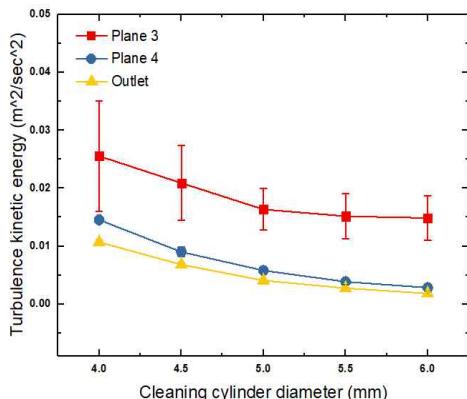


Fig. 11 Turbulence kinetic energy as a function of cleaning cylinder diameter at plane 3, 4, outlet

3.3. 노즐 수평/수직 정렬 각도

두 개의 노즐에 수평, 수직 방향으로 각도가 180° 로 서로 마주보는 형태인 경우 두 유체는 충돌 후 출구 방향으로 바로 흘러나가게 되어 혼합챔버 안에서 운동량, 난류 운동에너지 등이 상대적으로 빠르게 사라지게 된다. 따라서 노즐에 수평, 수직 방향으로 각도를 형성하여 유체의 운동량, 난류 운동 에너지 등이 가급적 혼합챔버 안에서 머물게 하여 난류 강도를 높이고 혼합을 용이하게 하는 것이 바람직하다.

Fig. 12는 수평, 수직 정렬 각도를 정의하기 위한 그림으로 수평정렬 각도(θ_H)는 혼합챔버의 길이 방향으로 경사진 두 노즐의 각도이며, 수직정렬 각도(θ_V)는 혼합챔버 단면의 원주방향으로 경사진 두 노즐의 각도로 정의하였다.

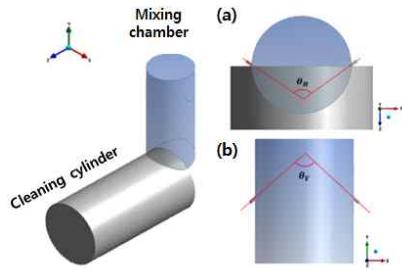


Fig. 12 Design parameters: (a) horizontal alignment angle (b) vertical alignment angle

3.3.1. 노즐 수평정렬 각도

수평정렬 각도의 영향에 대해 해석하기 위해 혼합챔버 직경과 클리닝 실린더 직경은 각각 3.5mm, 5.0mm로 고정하였다.

Fig. 13은 수평정렬 각도에 대한 노즐압력과 클리닝 실린더 단면에서 혼합 균일도를 나타낸 것이다. 노즐압력의 경우 각도가 증가함에 따라 선형적으로 증가한다. 이는 각도가 증가함에 따라 두 유체가 충돌하는 위치까지의 거리가 가까워지게 되고, 충돌에 의해 발생하는 반발력의 영향이 증가하여 노즐압력이 증가하는 것으로 판단된다. 반면 클리닝 실린더 출구에서 혼합 균일도는 정렬각 140° 까지는 증가하다가 그 이상에서는 반대로 감소하는 것을 볼 수 있다. 100° 의 경우 각도를 주지 않은 180° 의 값과 1% 차이로 큰 영향이 없으며 이 경우는 노즐 각도가 매우 작기 때문에 두 유체가 충돌하여 혼합되기보다는 혼합챔버 벽면을 따라 흐르는 유동을 형성하면서 혼합 균일도가 낮아지는 것으로 판단된다. 140° 의 경우 180° 에 비해 혼합 균일도가 약 6% 정도 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 14는 수평정렬 각도 140° 인 경우 클리닝 실린더 출구 단면과 대칭 단면에서 부피 비율을 도시한 것이다. 출구 단면의 대부분이 $0.4 \sim 0.6$ 범위로 나타나고 있으며, 각도가 없는 경우의 출구 단면 부피 비율인 Fig. 9에 비해 보다 균일한 혼합을 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.3.2. 노즐 수직정렬 각도

수직정렬 각도 $100^\circ, 120^\circ, 140^\circ, 160^\circ, 180^\circ$ 에 대해 각각 해석을 진행하였다.

Fig. 15는 수직정렬 각도에 대한 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도를 나타낸 것

으로 노즐압력은 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있으며 혼합 균일도는 160° 에서 95.87%로 180° 의 경우 보다 2% 정도 높게 나타났다. 160° 각도를 이루는 경우에 대한 클리닝 실린더 출구 단면과 대칭 단면에서의 혼합 균일도를 Fig. 16에 도시하였다. 출구 단면의 아주 작은 영역을 제외하고 대부분의 단면에서 균일한 혼합을 보여주고 있다. 대칭 단면에서는 혼합챔버 상부면을 제외하고 대부분의 단면에서 균일한 혼합을 보여주고 있다.

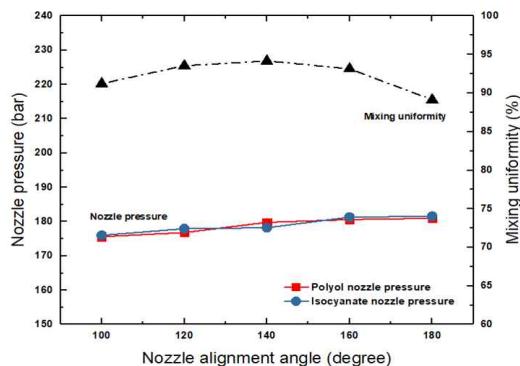


Fig. 13 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of horizontal alignment angle

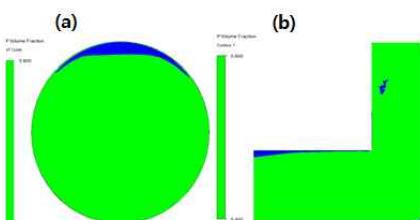


Fig. 14 Volume fraction at (a) outlet (b) symmetry plane

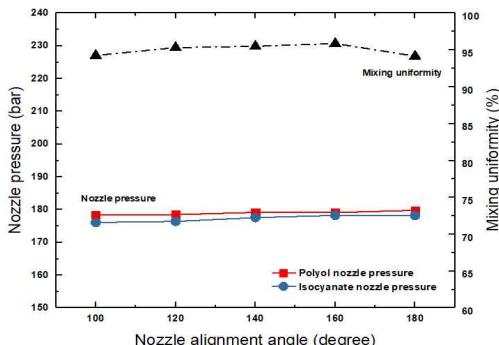


Fig. 15 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of vertical alignment angle

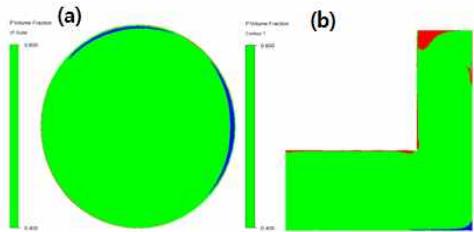


Fig. 16 Volume fraction at (a) outlet (b) symmetry plane

3.4. 클리닝 피스톤 위치

클리닝 피스톤은 코팅재가 금형 안으로 주입된 후 클리닝 실린더 안에 남아있는 코팅재를 금형 안으로 밀어내는 역할을 한다. 또한 클리닝 피스톤이 완전히 후퇴하지 않고 혼합챔버 출구의 일부를 막게 된다면 2 차 충돌에 의해 추가적인 혼합이 이뤄지게 된다. 그리고 줄어든 혼합챔버 출구 면적으로 인해 혼합챔버 출구와 클리닝 실린더 입구 근처에서 속도가 증가하게 되고 상대적으로 큰 직경을 가진 클리닝 실린더로 흐르면서 급격한 속도 감소로 클리닝 실린더에서 균일한 속도 분포를 형성하는데 효과적이다. 클리닝 피스톤의 위치를 -0.9, 0.0, 0.9, 1.8, 2.7mm로 설정하고 각각의 경우에 대하여 유동 해석을 수행하였다.

Fig. 17은 클리닝 피스톤 위치에 따른 노즐압력과 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도를 나타낸 것이다. 노즐압력은 클리닝 피스톤이 전진함에 따라 증가하고 있으며 한편 혼합 균일도는 클리닝 피스톤의 위치 1.8mm 까지는 지속적으로 증가하지만, 1.8mm 이상의 위치에서는 오히려 감소하는 것을 알 수 있다. 클리닝 피스톤의 위치가 1.8mm를 초과할 경우에 혼합챔버의 출구 면적이 지나치게 감소하여 오히려 혼합 균일도가 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 18은 Fig. 4에서 도시한 Plane 3, 4 그리고 출구 단면에서 난류 운동에너지의 평균값과 편차를 나타낸 것이다. 클리닝 피스톤의 위치가 2.7mm인 경우 Plane 3에서 난류 운동에너지 값과 편차가 비교적 크게 나타났으며, 이로 인해 클리닝 실린더 출구 단면에서 혼합 균일도가 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 19는 클리닝 피스톤 위치 1.8mm인 경우에 대하여 출구 단면과 대칭 단면에서의 부피 비율을 나타낸 것으로 혼합챔버에서 충분히 혼합되어 클리닝 실린더를 통해 최종적으로 출구 단면에서 완전한 혼합 균일도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

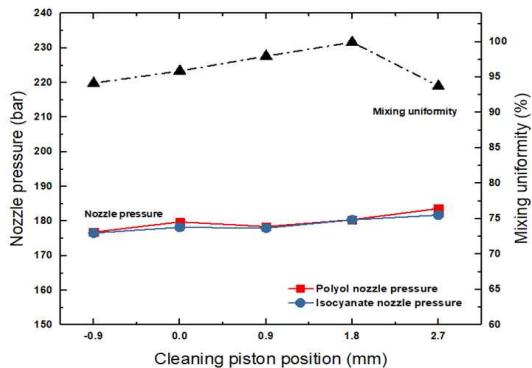


Fig. 17 Nozzle pressure and mixing uniformity as a function of cleaning piston position

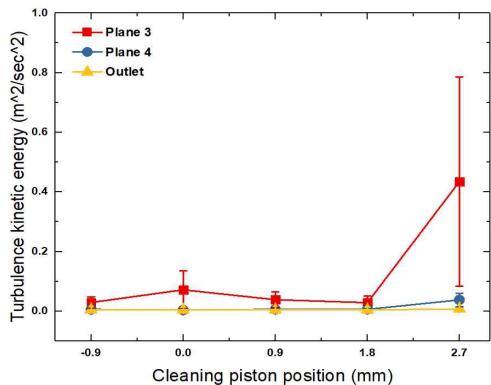


Fig. 18 Turbulence kinetic energy as a function of cleaning piston position at plane 3, 4, outlet

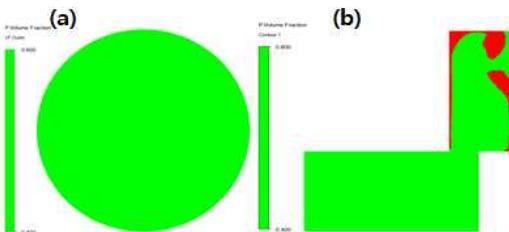


Fig. 19 Volume fraction at (a) outlet (b) symmetry plane

4. 결론

본 연구에서는 인몰드 코팅 공법에서 2 액형 폴리우레탄 혼합을 위해 사용되는 L자형 믹싱헤드의 충돌혼합 거동에 대하여 고찰하였다. 유동해석을 이용하여 주제와 경화제의 혼합 과정에서 믹싱헤드 설계인자들이 노즐압력과 혼합 균일도에 미치는 영

향을 고찰하고 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) 혼합챔버 직경이 증가할수록 노즐압력이 감소하였으며, 챔버 직경이 3.5mm일 때 출구 단면에 혼합 균일도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 클리닝 실린더의 직경은 노즐압력과 혼합 균일도에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

2) 두 노즐 사이에 수평, 수직 방향으로 각각 140°와 160°각도를 형성함으로써 마주보고 있는 노즐의 경우에 비해 혼합 균일도를 최대 6% 증가시킬 수 있었다.

3) 클리닝 피스톤의 위치가 전진함에 따라 혼합 균일도가 증가하였으나, 1.8mm이상에서는 반대로 감소하고 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 2019년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였으며, 또한 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 수행되었습니다.(No.2018 R1D1A3B07045339)

참고문헌

- Gruber, M., "Integrated system for producing composites", KraussMaffei Technologies, US Patent, No. 0317893, 2008.
- Lee, L. J., Ottino J. M., Ranz W. E. and Macosko C. W., Impingement mixing in reaction injection molding, Polym. Eng. Sci., Vol. 20, No. 13, pp. 868-874, 1980.
- Johnson, D. A., Wood, P. E. and Hrymak, A. N., The effect of geometrical parameters on the flow field of an opposed jet RIM mix head: equal flow and matched fluids, Can. J. Chem. Eng. Vol. 74, No. 1, pp. 40-48, 1996.
- Baser, S. A., Shetty, D. G. and Khakhar, D. V., Jet impingement mixing in an L-type mixhead: comparison of mixing criteria, Polym. Eng. Sci., Vol. 33, No. 24, pp. 1611-1618, 1993.
- 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.

- 6) ANSYS CFX User's Manual, ANSYS Inc., 2010.
- 7) Grotjans, H. and Menter, F. R., Wall functions for general application CFD codes, ECCOMAS, Vol. 1, No. 2, pp. 1112-1117, 1998.
- 8) Kim, D. M., A study on the processing conditions of in-mold coating for injection-molded plates, M.S. Thesis, Korea Nat'l Univ. of Transportation, 2014.
- 9) Kim, S. W. and Lee, H. S., An analytical study on the mixing characteristics of two-component polyurethane, Proc. KSMTE Spring Conf., pp. 131, 2017.
- 10) Tucker, C. L., Suh, N. P., Impingement mixing - a fluid mechanical approach, SPE Tech., Vol. 24, pp. 158-160, 1978.
- 11) Jones, W. P. and Launder, B. E., The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, pp. 301-314, 1972.
- 12) Menter, F. R., Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications, AIAA J., Vol. 32, No. 8, pp. 1299-1310, 1994.
- 13) Gomes, N. M. O., Fonte, C. P., Sousa, C. C., Mateus, A. J., Bartolo, P. J., Dias, M. M., Lopes, J. C. B. and Santos, R. J., Real time control of mixing in reaction injection moulding, Chem. Eng. Res. Des. Vol. 105, pp. 31-43, 2016.

저자 소개

김 슬 우(Seul-Woo Kim)



- 2019년 2월 : 한국교통대학교 항공기계설계학과 (공학석사)

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, 유동해석

이 호 상(Ho-Sang Lee)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1989년 1월~1995년 2월 : LG전자 생산기술원, 책임연구원
- 1995년 3월~1996년 7월 : 고등기술 연구원, 책임연구원
- 1996년 8월~현재: 한국교통대학교 항공기계설계학과, 교수

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, CAE해석