

사출성형의 냉각 파라미터가 플라스틱 롤러의 수축에 미치는 영향

조성기¹ · 한성렬[†]

공주대학교 테크노융합대학원 산업디자인 · 금형융합과¹
공주대학교 금형설계공학과[†]

The effect of injection molding cooling parameters on shrinkage of plastic roller

Sung-Gi Cho¹ · Seong-Ryeol Han[†]

Department of Industrial Design and Metal mold Convergence, Kongju National University¹

Department of Metal mold Design Engineering, Kongju National University[†]

(Received November 15, 2021 / Revised December 29, 2021 / Accepted December 31, 2021)

Abstract: A plastic roller for opening and closing the safety door of the injection molding machine was molded. The dimensional change of the measurement position of the roller was studied when the cooling time was applied differently among the molding conditions, and when the temperature of the coolant applied for mold cooling was also applied differently. Cooling times of 300 seconds and 400 seconds, hot and low-temperature coolant were applied. When the low-temperature coolant was applied, the measuring point of the roller shrank by 0.03 mm. However, when the high-temperature coolant was applied, the measuring point shrank by 0.3 mm. It was found that the application of low-temperature coolant among coolants was more suitable for the reference dimension of the molded article compared to the application of high-temperature coolant. Among the cooling water applied for the molding of plastic rollers, when high-temperature coolant is applied, the shrinkage rate measured immediately after ejection was smaller than when low-temperature coolant is applied. However, it was found that post shrinkage, which occurs over time, occurs much larger when high-temperature coolant is applied.

Key Words: Coolant Temperature, Cooling Time, Injection Molding, Plastic Roller, Shrinkage

1. 서 론

플라스틱 사출성형은 대량 생산에 최적화된 공법으로 많은 장점을 갖고 있다. 한 번의 가공으로 복잡하고 정밀한 부품을 만들 수 있을 뿐만 아니라, 도장과 도금처럼 2차 가공을 하지 않고 표면이 수려하고 원하는 색상을 갖춘 부품을 만들 수도 있다. 최근에는 플라스틱 합성 기술의 발전으로 첨가제를 혼합하여 금속을 대체할 수 있는 정도의 강도를 갖춘 플라스틱이 사용되고 있다¹⁻³⁾.

많은 장점에도 불구하고 사출성형을 위하여 적용되는 여러 가지 공정 변수들을 단번에 최적화하기란 무척 어려운 부분이다. 여러 변수 중에서 금형의

냉각 조건은 성형품의 품질뿐만 아니라 사출성형 사이클의 장단을 좌우할 수 있을 만큼 중요하다. 또한, 성형품의 특성과 사용되는 플라스틱 재료에 따라서 적용되는 냉각라인을 포함한 냉각 시스템을 최적화하기는 어려움이 있다⁴⁾.

금형의 냉각 시스템은 성형품의 사이클뿐만 아니라 성형품의 정밀도에도 아주 큰 영향을 미친다. 높은 정밀도가 요구되는 성형품일 경우 냉각 시스템이 더욱 중요하다. 통상 현장에서 사용하는 냉각수 온도는 일반적으로 25~35℃를 권장하고 있다. 하지만 냉각수 온도를 어떻게 관리하느냐에 따라 성형품의 표면 품질과 정밀도가 많이 달라질 수 있다.

사출성형 조건 중에서 금형의 냉각과 관련된 성형인자의 연구는 상당히 많이 진행되었다.

최 등은 냉각시간, 냉각수 온도를 매개변수로 설정하고, 사출조건 변화와 냉각 방법의 차이를 두

1. 공주대학교 테크노융합대학원 산업디자인·금형융합전공
[†] 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과
E-mail: srhan@kongju.ac.kr

고 성형하였을 때, 성형품의 경도 차이를 확인하였다⁵⁾. 김 등은 경도를 달리하는 에스테르계 및 에테르계 열가소성 폴리우레탄(TPU)의 금형 온도가 물리적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. TPU의 사출금형 온도에 따른 물리적 성질의 차이를 결정성 경질부의 결정화와 물리적 가교효과의 차이로 해석하였다⁶⁾. 우 등은 투명 사출품에서 성형조건에 따른 잔류응력의 분석에 대해 연구를 진행하면서 시편의 사출공정 후 금형 내에 체류하는 냉각시간이 증가할수록 시편의 잔류응력은 감소되는 결론을 내었다⁷⁾. Renkó 등은 사출성형 성형의 사이클 타임이 기존의 가공 방식 대신 적층 제조 방식을 사용하여 단축될 수 있는지를 조사하였다⁸⁾. Shen 등은 냉각 채널에 대한 열 및 기계적 해석에 대한 연구를 진행하면서 가로, 세로로 설계되어 있는 냉각 채널보다 직선 채널로 설계된 냉각이 냉각시간 및 온도분포로 인해 플라스틱 제품이 균일하다는 결과를 밝혔다⁹⁾. Rashid 등은 냉각채널의 효과에 대해 연구를 진행하면서 냉각제 및 채널 배치, 냉각시간 등이 사출성형의 소비 에너지에 미치는 영향을 연구하였다¹⁰⁾. Deepika 등은 금형 냉각 채널을 설계 소프트웨어를 이용하여 U자형 냉각 채널과 컨포멀 쿨링 채널을 설계하였고, 컨포멀 쿨링 채널이 U자형 냉각 채널보다 효율적인 것을 확인하였다¹¹⁾. 이 등은 유한요소 해석을 통한 성형조건에 대한 연구를 진행하면서 사출 전 금형에 대한 예열로 인해 제품의 냉각을 줄일 수 있다는 것을 밝혔다¹²⁾.

이번 연구에서는 롤러 성형품의 성형 시 저온과 고온의 냉각수를 적용하면서 금형의 냉각시간을 차등으로 적용했을 때의 성형품 특정 부분에서의 수축 변화를 연구하였다.

2. 실험

2.1. 롤러 성형품

본 연구에 사용되는 롤러는 사출성형기의 안전문을 여닫을 때 사용되는 것으로 정밀한 진원도(roundness)를 요구하지 않는다. 다만 롤러가 안전문을 여닫는 구름 운동 시 사출성형기의 안전문 레일과 접촉하는 내측 부분의 치수가 중요하다.

Fig. 1은 롤러 성형을 위한 금형과 롤러의 치수 정보를 나타낸 도면이다. 롤러는 원형의 보빈 형태를 갖추고 있으며, 핫 런너(hot runner)를 적용한 금형에서 성형되고, 성형품의 중앙에 다이렉트 게이트

(direct gate)가 적용되었다. 롤러의 내경은 약 Ø32이며, 외경은 약 Ø68이다. 특히, 내부와 외부에 약 5.5 mm의 두꺼운 부분이 포함되어 있다.

롤러와 안전문의 레일이 접촉하는 내측 25 mm가 본 롤러의 주요한 치수이다. 실제 금형에서의 치수는 수지의 수축율을 적용하여 약 25.5 mm로 제작되었다.

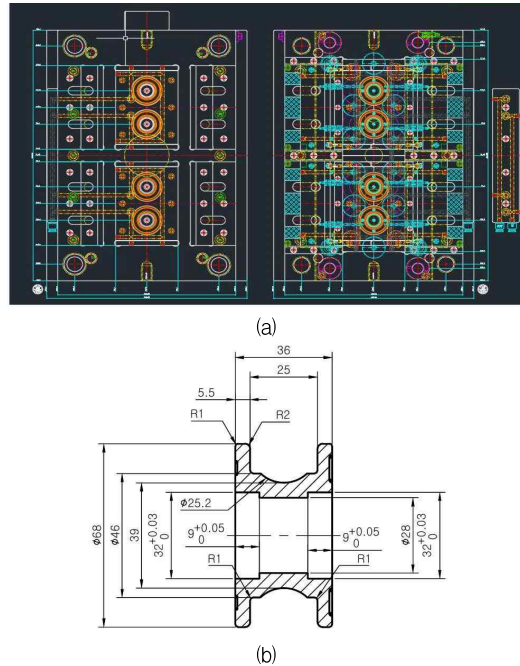


Fig. 1 Mold drawing and dimension for roller

롤러의 성형을 위하여 사용된 플라스틱은 코오롱플라스틱사의 KOCETAL K500로 폴리아세탈(polyacetal; POM)이다. 폴리아세탈 수지는 뛰어난 내마모성, 내화학성, 내열성 및 치수 안정성이 우수한 수지로서, 주로 기어와 롤러 등에 주로 사용된다. Table 1은 K500의 물성과 성형조건을 나타낸 것이다.

Table 1 Mechanical and thermal properties of K500

Process conditions	Unit	Value
Elastic modulus	MPa	2700
Poissons ratio	-	0.39
Shear modulus	MPa	1043
Conductivity	W/m · °C	0.2236
Specific heat	J/kg · °C	2425
Melt Density	g/cm ³	1.16
Mold temperature range	°C	60 ~ 80
Melt temperature range		180 ~ 200

Fig. 2는 롤러 성형에 사용된 금형으로 4 캐비티의 좌우가 대칭인 슬라이드 캐비티(slide cavity) 형식으로 구성되어 있다. 사출성형 실험에는 우진플라임사의 형체력 350톤 유압식 사출성형기가 사용되었다.

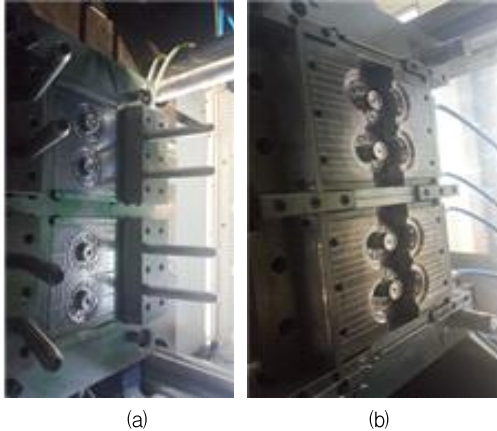


Fig. 2 Mold for roller molding : (a)fixed half (b)moving half

2.2. 사출성형

롤러의 성형 실험은 두 가지 성형조건에 초점을 맞춰서 진행하였다. 첫 번째는 금형의 냉각시간이며, 두 번째 조건은 금형 냉각에 적용하는 냉각수의 온도이다. Table 2는 사출성형 조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Injection molding conditions for experiment

Conditions	Unit	Value
Injection time	sec	0.9
Holding pressure	MPa	15
Holding time	sec	20
Injection speed	mm/sec	40 --> 80
Mold Cooling time	sec	300 400
Coolant temperature	°C	35 60

사출시간을 0.9초로 짧은 이유는 0.9초 이상으로 사출시간을 적용했을 때, 성형품의 표면에 플로우마크가 심각하게 발생하는 것을 확인하였기 때문이다. 관련하여 80 mm/sec 이하의 사출속도 적용 시에도 표면 품질에 문제가 되는 것을 확인하였다. 또한, 성형 후, 금형에서 300초와 400초의 냉각시간이 긴 이유는 본 롤러 성형품은 사출성형기 제작회사 자체 부품으로 사용될 목적으로 개발된 것으로 대량 생산이 필요치 않으며, 단순히 주요부위 치수의 만족 여부만 초점을 맞춰서 실험을 진행했기 때문이다.

3. 결과분석

3.1. 냉각수별 치수 변화 분석

Fig. 3은 table 1의 성형조건을 기준으로 35°C의 저온수를 적용하여 성형한 롤러의 취출 직후의 주요부의 치수를 나타낸 것이다. 금형 냉각시간 300초 적용 시 롤러의 측정 위부의 치수는 25.13 ~ 25.17 mm로 측정되었고, 400초에서는 25.17 ~ 25.18 mm가 측정되었다.

Fig. 4는 취출 후 30분 후의 금형 냉각시간 300초를 적용한 경우에는 25.09 ~ 25.12 mm가 측정되었고, 400초의 냉각시간을 적용한 경우에는 25.15 ~ 25.17 mm로 측정되었다. 금형 냉각시간과 관련 없이 성형 직후의 치수는 유사 400초를 적용할 경우 취출 후의 치수 변형은 거의 발생하지 않았지만, 300초의 냉각시간을 적용할 경우에는 취출 후에 약 0.04 ~ 0.05 mm의 수축이 더 발생함을 알 수 있었다. Fig. 5는 35°C 냉각수를 적용하여 성형한 롤러를 나타낸 것이다.

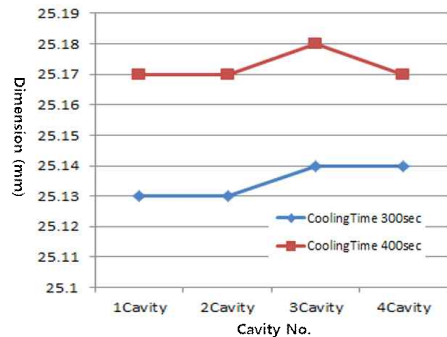


Fig. 3 Dimensional variation of measurement point immediately after ejection from the mold cooled by low temperature coolant

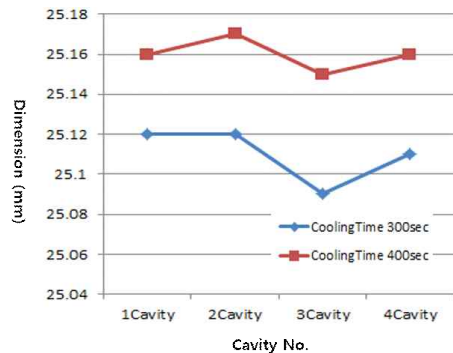


Fig. 4 Dimensional variation of measurement point 30 minutes after ejection from the mold cooled by low temperature coolant



Fig. 5 Roller molding from the mold cooled with low temperature coolant

Fig. 6은 60℃의 고온수를 적용하여 성형한 롤러의 취출 직후의 치수를 조사한 결과이다. 금형에서 냉각시간 300초 적용한 롤러는 25.20 ~ 25.30 mm로 측정되었고, 400초 적용 시에는 25.30 ~ 25.35 mm로 측정되었다. Fig. 7은 취출 후 30분 후의 치수는 금형에서 냉각시간 300초 적용한 롤러는 24.92 ~ 24.98 mm가 측정되었고, 400초의 냉각시간을 적용한 경우에는 24.95 ~ 25.00 mm 치수가 측정되었다.

300초의 냉각시간을 적용한 롤러의 경우에 취출 직후와 비교하여 30분 후의 수축이 약 0.28 ~ 0.32 mm 더 발생함을 알 수 있었고, 400초의 냉각시간을 적용할 경우 취출 후 약 0.35 mm의 수축이 더 발생하였다. Fig. 8은 60℃ 냉각수를 적용하여 성형한 롤러를 나타낸 것이다.

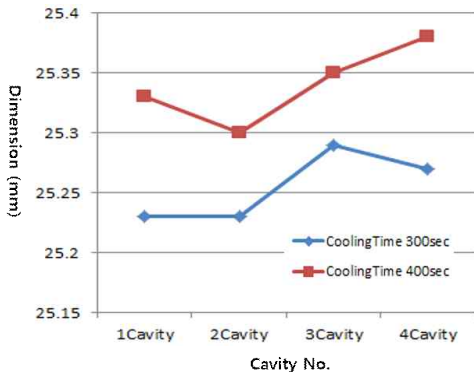


Fig. 6 Dimensional variation of measurement point immediately after ejection from the mold cooled by high temperature coolant

Table 3은 실제 제작된 금형 치수 25.5 mm에 대하여 성형품에서 측정된 치수를 기준으로 계산한 각 조건별 측정 위치의 최대 수축율을 나타낸 것이

다. 냉각수의 온도와는 상관없이 300초의 금형 냉각 시간을 적용한 경우가 더 큰 최대 수축율이 발생함을 확인하였다. 취출 30분 후의 최대 수축율은 60℃의 고온수를 적용하여 취출한 경우가 35℃의 저온수를 적용하여 취출한 롤러의 최대 수축율 보다 약 41 ~ 56% 이상 더 커짐을 알 수 있었다.

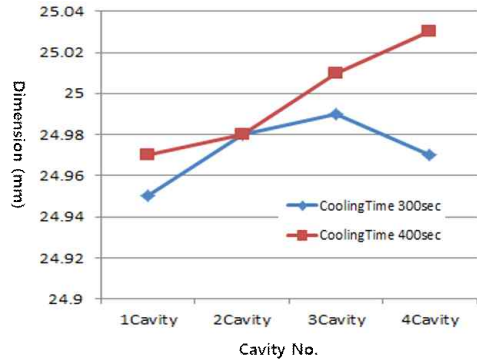


Fig. 7 Dimensional variation of measurement point 30 minutes after ejection from the mold cooled by high temperature coolant



Fig. 8 Roller molding from the mold cooled with high temperature coolant

취출 직후의 성형품의 수축율은 금형 냉각시간에 관계없이 60℃의 고온수가 적용되었을 경우가 35℃ 저온수를 적용하였을 때보다 적은 것을 알 수 있었다. 또한 35℃ 저온수를 사용하여 성형한 롤러의 후 수축율이 0.12 ~ 0.15% 증가하지만, 60℃의 고온수를 사용한 경우에는 약 1.10 ~ 1.37%의 후수축율이 훨씬 크게 발생함을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 본 롤러 성형에서는 금형 냉각시간의 장단(長短)이 성형품의 수축에 미치는 영향보다는 성형에 적용되는 냉각수의 온도가 성형품의 취출 후의 후수축(post shrinkage)¹³⁾에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

Table 3 The shrinkage rate and difference of the roller molded in a mold cooled by 35°C coolant [Unit: %]

Mold cooling time	Right after ejection	30 minutes after ejection	Difference	
Low temp.	300 sec	1.45	1.60	0.15 ↑
	400 sec	1.29	1.37	0.12 ↑
High temp.	300 sec	1.17	2.27	1.10 ↑
	400 sec	0.78	2.15	1.37 ↑

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 사출성형기의 안전문에 사용되는 플라스틱 롤러의 성형 시에 적용되는 고·저온의 냉각수와 금형 냉각시간이 롤러의 수축에 미치는 영향을 연구하였다.

플라스틱 롤러의 성형을 위하여 적용하는 냉각수 중에서 고온의 냉각수를 적용할 경우가 저온의 냉각수를 적용할 때보다 냉각시간의 장단과는 상관없이 취출 직후에 측정되는 수축률은 낮았지만, 시간이 경과 할수록 발생하는 후수축은 고온수를 적용한 경우에 훨씬 크게 발생하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Seong-Ryeol Han, Jea-Ii Park, Jin-Rea Cho, “Development of plastic passenger air bag (PAB) housing for replacing the steel PAB housing and reducing the automobile weight”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 40, No. 4, pp. 1-10, 2018.
- 2) Seong-Ryeol Han, Jin-Rea Cho, Sea-Kwon Beak, Jeong-A Hong, “Numerical and experimental studies on injection compression molding process for thick plastic gas valve stem”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 89, No. 1-4, pp. 651-660, 2017.
- 3) Ferenc Szabó, Andra Suplicz, Jozsef Gabor Kovacs, “Development of injection molding simulation algorithms that take into account segregation”, Powder Technology, Vol. 389, pp. 368-375, 2021.
- 4) Tae-Soo Kwak, Hitoshi Ohmori “Verification For transcription of spherical and prediction of birefringence in injection molding optical lens”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 55-60, 2005.
- 5) Yoon-Seo Choi, In-Seung Park, Dong-Ho Yang, Byeong-Cheol Ha, Jong-Chan Lee, “A Study on the Characteristics of Plastic Injection Molding Using Core in Core Cooling Technology”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 3, pp. 82-87, 2019.
- 6) Dai-soo Lee, Seong-Geun Kim, Vinh-Khanh Nguyen, Wing-Ji Lee, Su-Jin Pang, “Effects of Mold Temperatures on Physical Properties of Injection Molded Thermoplastic Polyurethanes”, Elastomers and composites, Vol. 39, No. 4. pp. 286-293, 2004.
- 7) Jeong-Woo Woo, Jin-Su Hong, Hyun-Ku Kim, Min-Young Lyu, “Analysis of Residual Stress and Birefringence in a Transparent Injection Molded Article for Molding Condition”, Polymer, Vol. 40, No. 2, pp. 175-180, 2016.
- 8) Jozsef Balint Renko, David Miklos Kemeny, Jozsef Nyiro, Dorina Kovacs, “Comparison of cooling simulations of injection moulding tools created with cutting machining and additive manufacturing”, Materials Today: Proceedings, Vol. 12, Part 2, pp. 462-469, 2019.
- 9) Suping Shen, Baris Burak Kanbur, Yi Zhou, Fei Duan, “Thermal and mechanical analysis for conformal cooling channel in plastic injection molding”, Materials today: Proceedings Vol. 28, Part 2, pp. 396-401, 2020.
- 10) O. Rashid, K.W.Q. Low, J.F.T. Pittman, “Mold cooling in thermoplastics injection molding: Effectiveness and energy efficiency”, Journal of Cleaner Production, Vol. 264, No. 10, pp. 45-49, 2020.
- 11) Singh S. Deepika, Bhushan T. Patil, Vasim A. Shaikh, “Plastic injection molded door handle cooling time reduction investigation using conformal cooling channels”, Materials Today: Proceedings, Vol. 27, Part 1, pp. 519-523, 2020.
- 12) Jung-Hyun Lee, Seon-Bong Lee, “Determined Car Door Latch Injection Molding Process Conditions through the Finite Elements Analysis”, Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 17, No. 10, pp. 499 - 508, 2016.

- 13) Bambang Waluyo Febriantoko, Agung Setyo Darmawan, Masyrukan, Abdul Hamid, “Post Shrinkage Comparison of Plastic Injection Products by Using Solid Mold, Laminated Steel Tooling Mold, and Soft Tooling Mold”, AIP Conf. Proc., 2114, 030009, 2019.

저자 소개

조 성 기(Sung-Gi Cho)

[학생회원]



- 2005년 6월~2010년 6월: (주)세신전자 사출팀 근무
- 2010년 6월~2015년 8월: (주)인탑스 사출부서 3팀장
- 2015년 9월~현재: 우진플라임 기술교육원 교수팀 팀장
- 2020년 3월~현재: 국립공주대학교 테크노융합대학원 (석사과정)

< 관심분야 >

사출성형, 사출금형, 플라스틱재료

한 성 렬(Seong-Ryeol Han)

[정회원]



- 2007년 2월: 부경대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 5월~2014년 2월: (주)화승알엔에이 성능평가팀 팀장
- 2014년 3월~현재: 국립공주대학교 금형설계공학과 부교수

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 유동해석