

## 100nm 급 Pattern 전사성 향상을 위한 나노 사출 성형 공정 최적화 연구

이재숙, 이해곤, 손성기, 이종훈

### Study on Optimization of Nano Injection Molding Process for Improving Transcription of 100nm-level Pattern

J.S. Lee, H.G. Lee, S.K.Son, J.H.Lee

#### Abstract

In this study, we have been examined nano Injection Molding process which can improve transcription of 100nm-level pattern. We changed the various parameter (temperature of injection mold, clamp force, temperature of nozzle) which can be influence for improving transcription. And we measured and analyzed shapes of 100nm-level pattern by Atomic Force Microscope for proving transcription. We made the Blu-ray Disc sample for proving transcription. And we measured HF-Signal and jitter. As a result, when the temperature of mold is more than 120 °C and the clamp force is more than 10 ton, We reached over 95 percent of transcription compared with stamper pattern. And we reached in-spec. value for HF-Signal and Jitter. Then we reached over 95 percent of transcription compared with stamper pattern.

**Key Words** : Nano Injection Molding (나노 사출 성형), Transcription (전사성), Blu-ray Disc (블루레이 디스크)

#### 1. 서론

플라스틱을 이용하는 제품의 필요성은 고도화 되어가는 현대 사회에 필수적인 것이다. 여러 형태의 플라스틱 가공 기술 중 사출 성형 기술은 플라스틱 성형품 가공의 40% 이상을 점유하고 있는 주요 기술이다.<sup>1</sup> 사출성형 기술의 장점은 고속 생산에 적합하고, 저비용으로 나노 급 Pattern 을 갖는 제품 성형에 용이하며, 초정밀/나노 사출성형 기술은 최근 널리 이용되고 있는 추세이다.

나노 사출 성형에 의해 생산되는 미세 광학제품, CD, DVD 와 같은 광 저장매체, Display 제품 등이 점점 작은 Pattern 을 요구하게 되었다.

나노 급 Pattern 을 갖는 제품의 생산을 위해서는 아직도 해결되어야 할 문제점들이 산재하여 있다. 채널 내에서의 재료의 유동 제약, 표면의 거칠기, 마찰력, 재료의 특성 등에 연관되어있는

문제점을 해결하여야 한다.<sup>2</sup> 또한 패턴의 크기가 마이크로 급에서는 비교적 제어가 용이했던 Pattern 의 형상 정밀도나 전사 특성 등이 나노 단위에서는 제어가 극히 어려운 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 나노 급 Pattern 에서의 전사특성 향상을 위한 사출 성형 실험을 하였다. 사출 금형의 온도, 사출기의 형체력, 사출 수지의 용융온도 등과 같은 조건을 변화시켜 Stamper Pattern 대비 사출성형 제품의 패턴 전사성을 향상 시킬 수 있는 사출 조건을 규명할 수 있었다.

또한 150nm 급 Pattern 을 갖는 Blu-ray Disc 의 사출 성형 공정에 적용하였고, 후 공정을 통하여 Blu-ray Disc 를 제작하여 Pattern 의 전사성과 관련 되어 있는 전자 특성 평가 항목인 HF Signal 과 Jitter 값을 측정하여 Pattern 의 전체적인 전사특성을 알 수 있었다.

## 2. 실험

### 2.1 나노 사출 성형

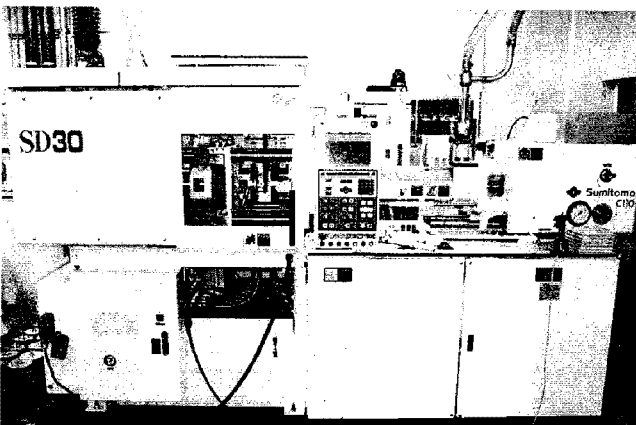
본 연구에서는 일반적으로 광디스크 제조에 사용되는 폴리카보네이트 (Mitsubishi M7020AD2)를 사용하여 직경 120mm, 두께 1.1mm Disc 를 성형하여 조건에 따른 Pattern 의 전사성을 실험하였다.

사출 성형에 사용된 Stamper 은 Minnum Pit 150nm, Track Pitch 320nm 를 갖는 Blu-ray Rom Stamper 를 사용하였다.

사출 성형을 위해 사용된 사출기는 형체력 30 Ton, 1730 kgf/cm<sup>2</sup> 사출 압력, 300mm/s 의 최대 사출 속도를 갖는 사출기를 사용하였고, 사출 금형의 온도제어를 위한 금형 온도 조절기와 수지의 수분 제거를 위한 수지 건조기를 이용하여 실험을 진행하였다. Fig.1 은 나노 사출 성형에 사용된 사출 성형기 이다.

사출 금형 온도는 금형 온도 조절기를 이용 이동축과 고정축 금형 모두 동일하게 조정하였으며, 이때 금형 온도는 90 ~ 120 °C로 10°C씩 온도를 증가시키면서 진행하였다.

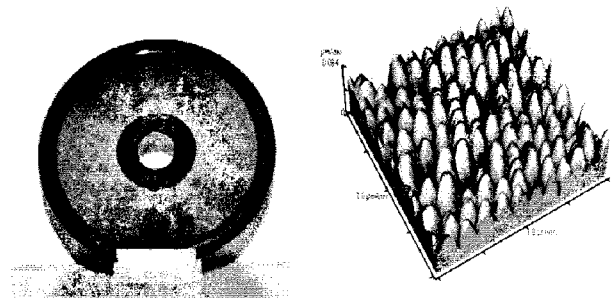
또한 사출기의 형체력은 10, 20, 30Ton 순으로 증가시켜가며 실험하였고, 노즐 온도는 360°C, 370°C, 380°C로 증가시켜가며 변화시켜 실험을 진행하였다. 냉각시간은 동일하게 5 초를 적용하였으며, 사출 후 3초의 Interval Time 을 적용하여 연속적으로 사출 성형하였다. 또한 사출 금형 온도, 사출 성형기의 형체력, 노즐 온도 등 실험 조건이 바뀌면 초도 사출물 15~20 개 이후 조건이 안정화되었을 때 시료를 채취하였다.



< Fig 1. Injection Molding Machine >

### 2. Pattern 측정

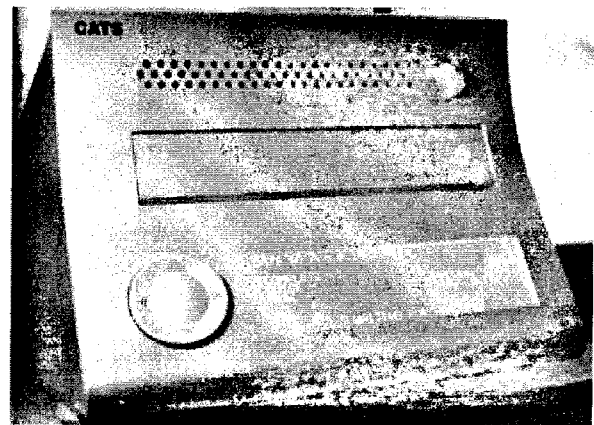
Stamper Pattern 대비 사출물의 Pattern 전사성 확인을 위하여 AFM(Atomic Force Microscope) 을 이용하여 Pattern의 형상을 측정하였다. 측정위치는 사출물의 중간부분 (반경 35mm)을 측정하였다. AFM에 의해 측정된 면적은 가로 세로 4um 이다. 본 연구에서 Stamper 와 Pattern의 형상을 비교하여 전사성을 판단하였다.



<Fig 2. Stamper & Stamper AFM Image>

### 2.3 전자특성 평가

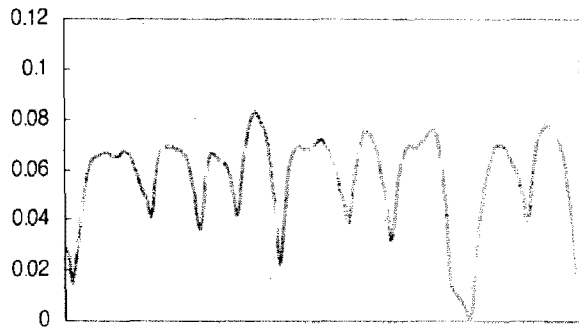
AFM 을 이용하여 측정한 결과는 극히 일부분에 대한 분석만 가능하다. 제작된 Disc 를 광디스크의 측정 항목 중 Pattern 의 전사성과 형상에 의하여 영향을 받는 요소를 측정하기 위하여 전자특성 측정기를 이용하여 HF Signal 과 Jitter 값을 측정하였다. 측정은 Blu-ray Disc Rom 의 전자특성을 평가할 수 있는 측정기인 Audio Dev 사의 B100 BD Pro 으로 측정하였다.



< Fig.3 AudioDev B100 BD Pro >

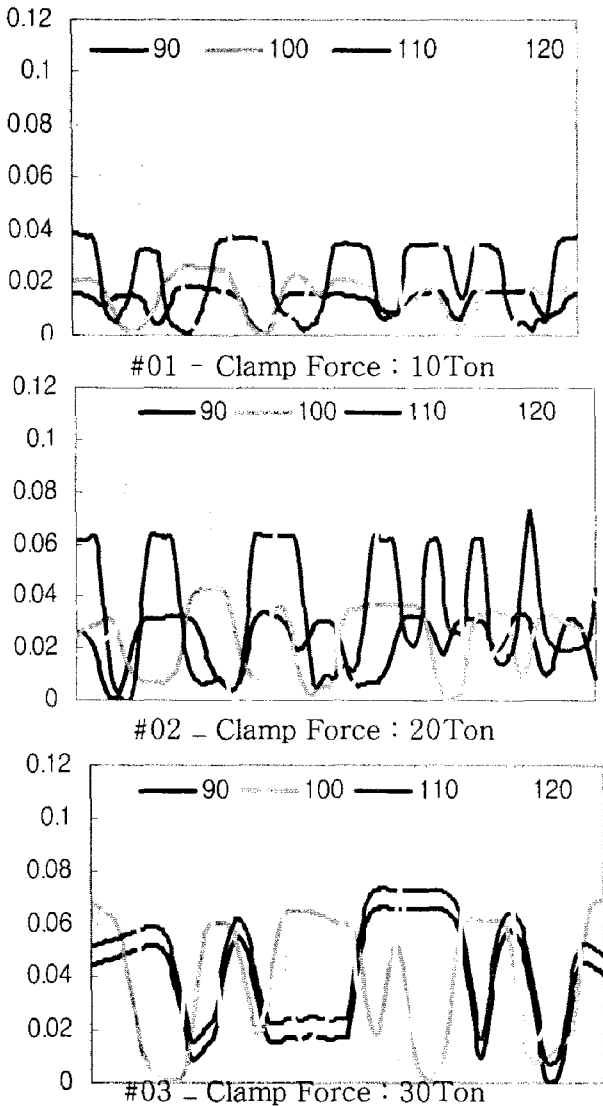
## 3. 실험 결과

### 3.1 금형온도에 따른 전사성

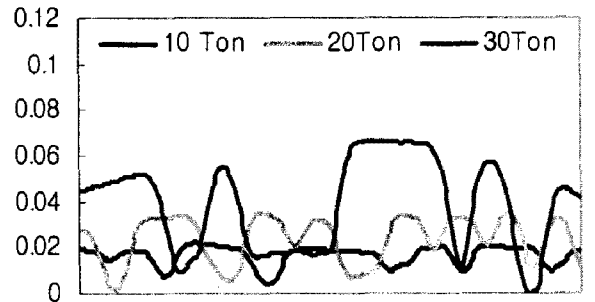


<Fig 4. Depth of Stamper Pattern >

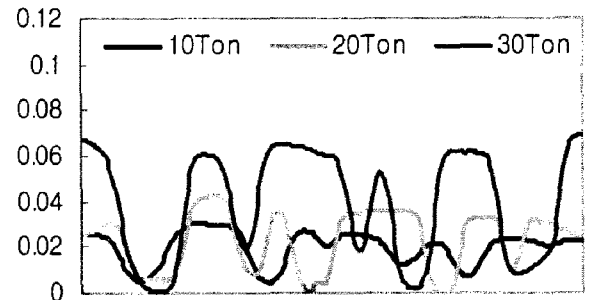
Fig 4 는 실험에 사용된 Stamper 의 Pattern 의 AFM 측정 결과 이다. Pattern 의 높이는 70~ 80 nm 이다.



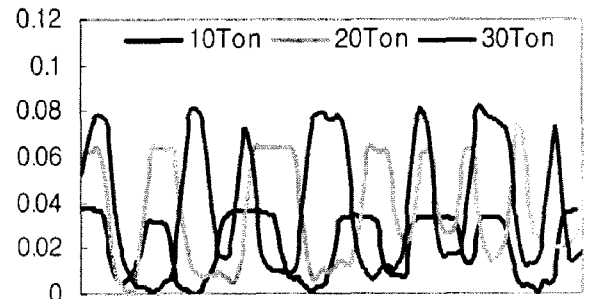
<Fig 5. Depth of Pattern - Mold Temp. Change>



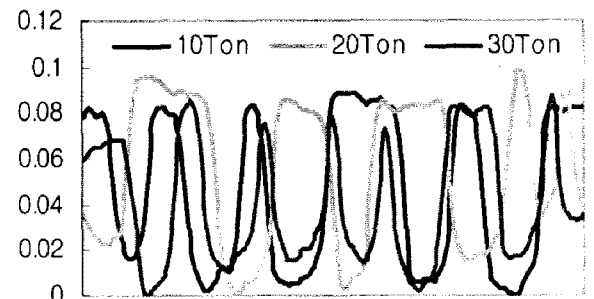
#01 - Mold Temp. : 90 °C



#02 - Mold Temp. : 100 °C



#03 ? Mold Temp. : 110 °C

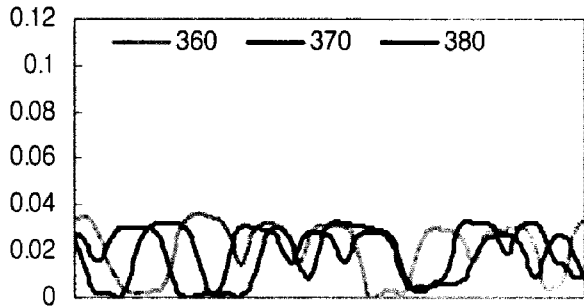


#04 Mold Temp. : 120 °C

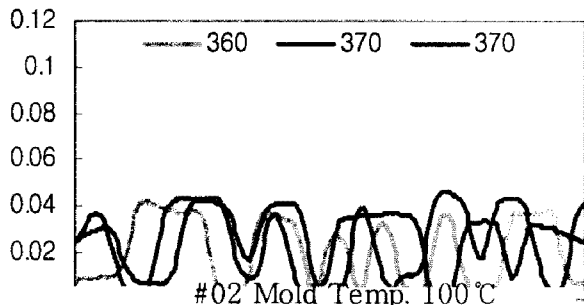
<Fig 6. Depth of Pattern - Clamp Force Change>

#01, #02 의 경우 형체력(Clamp force)이 10, 20 Ton 을 적용하였으며, 사출 금형의 온도가 증가함에 따라 Pattern 의 깊이 또한 증가하는 것을 볼 수 있으며, 사출 금형의 온도 120 °C에서 Pattern 의 깊이는 80nm 이며, Stamper 대비 95% 이상 전사되었음을 확인할 수 있다.

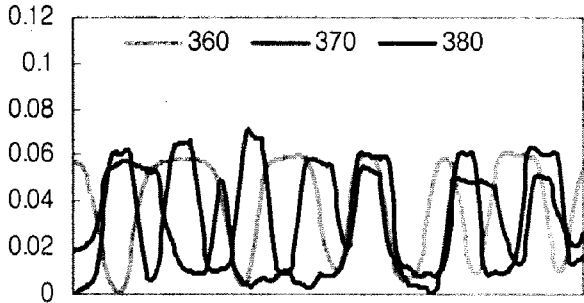
형체력 30Ton 을 적용한 #03 의 경우 #01, #02



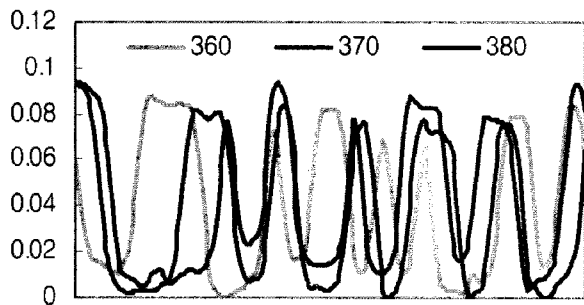
#01 Mold Temp.: 90°C



#02 Mold Temp. 100°C



#03 Mold Temp. 110°C

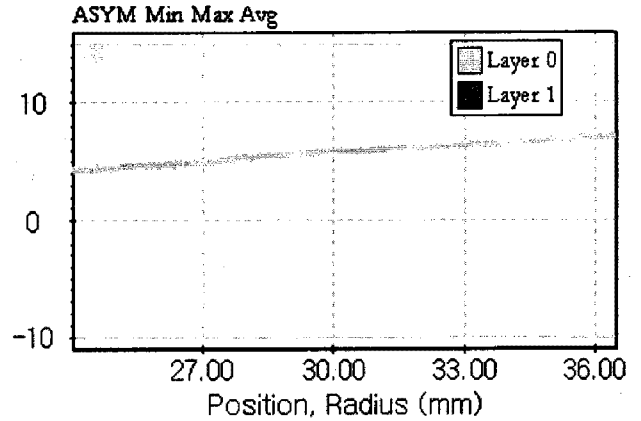


#04 Mold Temp. 120°C

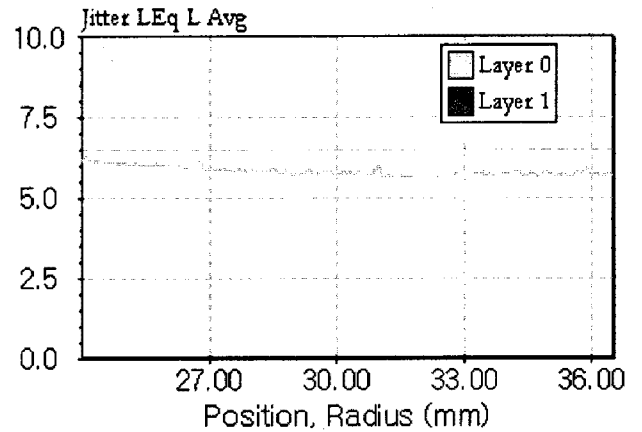
<Fig 7. Depth of Pattern – Nozzle Temp. Change>

와는 다르게 금형 온도 변화에도 Pattern 의 깊이가 20nm 이내의 편차 값을 갖고 있으며, 이는 사출기의 높은 형체력이 Pattern 의 전사에 영향을 주는 것을 알 수 있다<sup>3</sup>.

사출 금형의 온도가 110°C 이고, 형체력이 20 Ton 이하이면 깊이가 40~60nm 이고, 형체력이 30 톤 이상이면 Pattern 깊이 60~70nm 로 약 80%의 전사가 가능하며, 사출 금형 온도가 120°C 이상이면 깊이



#01 HF Signal Value



#02 Jitter Value

<Fig. 8 Value of Electron Property Measurement >

약 80nm 로 Stamper Pattern 대비 95% 이상 전사가 되었음을 알 수 있다.

### 3.2 형체력에 따른 전사성

사출 금형의 온도가 110°C 이하이고 형체력이 10Ton 이면 #01, #02, #03 과 같이 패턴의 깊이가 20~30nm 로 Stamper 패턴 대비 사출물의 패턴 깊이가 25~40% 전사되었으며, 형체력이 20Ton 으로 증가하면 Pattern 깊이 40~60nm 로 Stamper pattern 대비 40~75% 전사되었음을 알 수 있다.

#03 과 같이 사출 금형의 온도가 110°C, 형체력 30 Ton 이면 사출 금형의 온도가 120°C의 결과값에 근접한 80nm 깊이로 90% 이상 패턴의 전사가 가능함을 알 수 있다.

#04 와 같이 사출 금형의 온도 120°C 이면 사출기의 형체력 변화에 따른 패턴의 깊이 편차가 10nm 이내이다. 사출 금형의 온도가 120°C 이상 이고, 사출기의 형체력이 10Ton 이상 확보되면 Pattern 깊이 80nm 로 Stamper Pattern 대비 95%이

상 전사되었음을 확인하였다.

### 3.3 노즐 온도에 따른 전사성

사출기 노즐의 온도가 높아지면 수지의 용융성에 영향을 미쳐 수지의 흐름성이 향상된다<sup>4,5</sup>.

금형의 온도를 고정하고, 사출기의 형체력은 20Ton 으로 고정하여 실험을 진행하였다.

Fig. 6 의 #01~04 를 각각 살펴보면 노즐의 온도에 따른 Pattern 의 깊이 변화는 미세하다. 사출 금형의 온도가 높을수록 Pattern 의 깊이가 깊어지는 현상은 나타나지만 노즐 온도에 따른 변화는 거의 없어 노즐 온도가 Pattern 의 전사에 미치는 영향은 미세함을 확인할 수 있었다.

### 3.4 전자특성 평가 결과

AFM 을 이용한 측정은 Disc 의 극히 일부분의 Pattern 의 깊이만을 알 수 있고 사출물의 전체적인 전사 특성은 알 수 없다. 본 연구에서 도출된 결과를 Blu-ray Disc 의 사출 성형 공정에 적용하여 Blu-ray Disc 를 제작하여 Pattern 의 전사성에 관련 있는 전자 특성 항목들인 HF Signal 과 Jitter 값을 측정하여 전체적인 Pattern 의 전사 특성을 간접적으로 평가하였다. Fig 8 은 HF Signal 과 Jitter 의 측정값이다.

Blu-ray Disc 의 HF signal Spec 은 -15 ~ 10 %이며, Jitter 값의 Spec 은 6.5% 이다. 측정 결과 HF signal 값은 평균 5.8%, Jitter 5.81% 로 Spec In 하는 결과 값을 얻을 수 있었으며, 사출물의 전체적인 Pattern 의 전사가 95% 이상 되었음을 간접적으로 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 100nm 급 Pattern 을 이용하는 제품의 Pattern 전사성을 향상 시키기 위한 사출성형 공정 조건인 사출기의 사출 금형의 온도, 사출기의 형체력, 노즐의 온도를 변화시켜 공정을 최적화 시킬 수 있었다.

실험 결과 사출 금형의 온도가 110℃, 사출기의 형체력이 30Ton 이 적용되면 Stamper Pattern 대비 90% 정도의 전사가 되었으며, 사출 금형의 온도가 120℃ 이면 사출기의 형체력의 변화와는 무관하게 90% 이상의 Pattern 전사성을 확보하였다. 사출기의 노즐 온도 변화에 따른 Pattern 의 깊이 변화는 거의 없었다.

본 연구의 실험 결과 사출 금형의 온도가 120℃ 이상이고, 사출기의 형체력이 10Ton 이상 확보된다면 100nm 급 Pattern 은 Stamper Pattern 대비 사출물의 Pattern 전사를 95% 이상 확보 할 수 있다.

또한 사출물의 전반적인 Pattern 전사성을 확인하기 위하여 Blu-ray Disc 사출 공정에 적용하여 Blu-ray Disc 를 제작하여 Pattern 전사성과 관련 있는 HF Signal, Jitter 값을 측정하였다. 측정값은 각각 5.8%, 5.81% 의 Spec In 함을 알 수 있었으며, 이를 근거로 하여 Pattern 의 전사가 95% 이상 확보되었음을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] Russel G. Speight, "Optimization of Velocity to Pressure Phase Transfer for Polymer Injection Molding Process" J. of Injection Molding Tech, March, Vo.1, 1997
- [2] 김태완, 순천향대 대학원, 2004, 사출 성형 공정을 이용한 미세 패턴을 갖는 플라스틱 부품 제작에 관한 연구
- [3] Cox, H.W. and Mentzer,C.C., "Injection Molding: The Effect of Fill Time on Properties", Polymer engineering and Science, 26, 488-498, 1986
- [4] Isayev, A. I and Hariharan, T., "Volumeter Effects in the Injection Molding of Polymers", Polymer eng. & Sci., Mid-april, Vol.25 No.5 171-180, 1985
- [5] Chiu, C.P., Shin.M.C. and Wei,J.H., " Dynamic Modeling of Molding Filling Process In an Injection Molding Machine", Polymer Engineering and Science, 14(3), 212-222 (1974)