

근사알고리즘을 적용한 금형온도 제어 방법

박성수* · 구형일**

*(주)에이비엔아이티 · **아주대학교

Mold temperature control method using Approximation Algorithm

Seong-su Park* · Hyung-il Ku**

*AB&IT Co.,Ltd. · **Ajou University

E-mail : himrparky@daum.net

요 약

플라스틱 사출물의 불량 감소 및 사이클 타임 축소를 통한 생산성 향상은 사출업계의 오랜 숙원 사항이다. 특히 중국 등 후발 주자의 추격과 좁혀지지 않는 독일, 일본과의 기술격차 사이에 끼어 있는 국내 사출업계에게 생산성 향상은 매우 절실하다. 30여년 국내 사출업계의 연구와 경험을 통해 금형 내 사출물 표면 온도 제어가 품질 관리의 핵심임을 알게 되었고 PID 제어 등 고급제어 기법을 활용한 다양한 시도가 있었으나 독일, 일본의 우수 업체의 생산성에는 아직 부족하다. 이에 근사알고리즘 중 "Knapsack" 개념과 "Minimum Makespan Scheduling" 기법을 활용하여 PID 제어로 풀기 어려운 수렴하지 않고 주기적인 반복 데이터 패턴을 지닌 대상을 효율적으로 제어할 수 있는 방법을 소개하고 또한 실제 사출 현장에서 추출한 데이터 분석으로 사출품의 생산성 향상에 근사알고리즘을 이용한 제어가 충분히 효과적임을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Productivity through reduced defects in plastic injection molding and reduced cycle times is a long-standing need in the injection industry. In particular, productivity is very urgent for the domestic injection industry, which is caught between the pursuit of latecomers such as China and technological gap with Germany and Japan which will not be narrowed down. Through 30 years of research and experience in the domestic injection industry, we have found that controlling the surface temperature of injection molds is the key of quality control. There have been various attempts to utilize advanced control techniques such as PID control, but the productivity against leading companies in Germany and Japan is still insufficient. Using Approximation Algorithm - "Knapsack" and "Minimum Makespan Scheduling", We want to show how to efficiently control objects with periodic repetitive data patterns that are difficult to solve with PID control. In addition, We want to propose that the control by Approximation Algorithm is effective enough to improve the productivity of the product by analyzing the data extracted from actual injection site.

키워드

근사알고리즘, 금형온도 제어, 플라스틱 사출, 주기 반복 데이터 제어

Approximation Algorithm, Mold Temperature Control, Plastic Injection, Periodic Repetitive Data Control

1. 서 론

금형과 사출분야는 기존의 단순 대량생산 적합성 기술을 넘어 고품질, 특수 기능 제품까지도 대량생산이 가능하도록 하는 첨단 기술 분야로 발전하고 있다. 금형온도의 변화는 제품 품질의 변화에 큰 영향을 미친다. 사출성형 시 금형 설계 변수와 성형공정 변수 등을 고려해야하는데 이런

변수들 중에서 금형 온도는 수지의 유동특성이나 금형내부의 열전달 특성에 영향을 미치는 중요한 변수이다. 일반적으로 현장에서 사출성형 시 사출기의 초기 가동 후 안정화에 이르기까지 환경이 달라지면 시간도 달라진다. 이는 대기온도, 냉각수, 공정조건 등 다양한 조건에 의해 안정화 사이클이 바뀌기 때문이다. 안정화 사이클이 변하면 제품생산 시 금형온도가 달라짐으로 제품품질과

생산성에 영향을 줄 수 있다.

특히 합성수지 사출성형용 금형은 고온으로 녹여진 재료를 고압을 이용하여 각 금형사이로 재료를 충전시켜 금형의 내부 형상대로 제품이 생산되도록 하는데, 이때 고온의 재료를 사용함으로써 인하여 불량품이 생산되는 원인을 제공하므로 성형하는 제품의 품질향상을 위해 금형의 온도를 정확하게 조절해주도록 되어 있다. 이는 금형의 온도를 조절하지 않고도 사출성형이 가능하지만 금형의 정확한 온도조절이 제품의 외관미, 전기적 특성, 수축을 내지는 치수 등에 상당한 영향을 끼치게 됨으로 사출성형 작업시 금형온도를 성형하는 사출성형품에 맞추어 적절하게 조절해주도록 되어 있다.

II. 본 론

- Fuzzy 알고리즘을 이용한 PID 제어

PID 제어로는 Ziegler and Nichols 조정법이 소개된 이래로[1] IMC control strategy처럼 적절한 이득 값을 조정하여 사용하여 왔다.[2,3] 이러한 더 개량된 IMC-PID 제어는 비교적 양호한 이득값 추적이 가능하여 10여년 산업현장에서 잘 사용되어 왔으나[4,5] 교란 응답이 느린 단점으로 인해 First Order + 시간 지연 (FOPTD)과 Second Order + 시간 지연 (SOPTD) 의해 근사화 된 고차원 모델을 이용한 방법으로 발전하여 왔다.[6]

이러한 근사적인 고차원 모델을 적용하여 산업현장에 적용하려는 노력은 이미 예전에 Fuzzy를 이용한 PID 제어하려는 연구와 결합되어 실용적인 방법으로 소개되었다.[7] 기존의 데이터를 보다 더 면밀히 분석하여 교란 응답 시간을 줄이는 것은 분명 이점이 있으나 유동적인 변수들에서 정확한 값을 찾아내는 것은 대단히 어려운 작업으로 정교한 시도와 검증(Trial-and-error)프로세스가 필수적이다. 이러한 복잡한 처리를 단순하고 효율적으로 구현한 모델이 아래의 On/Off 제어와 소스 값을 연동시켜 구현한 모델이 많이 사용되었다.[6]

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (5)$$

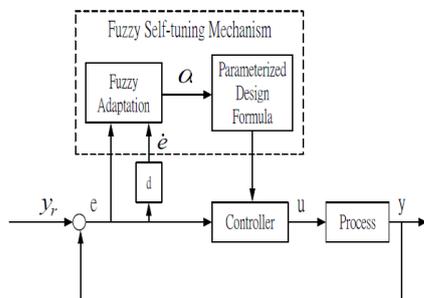


그림 1. Fuzzy-PID 제어 시스템 도해도 [7]

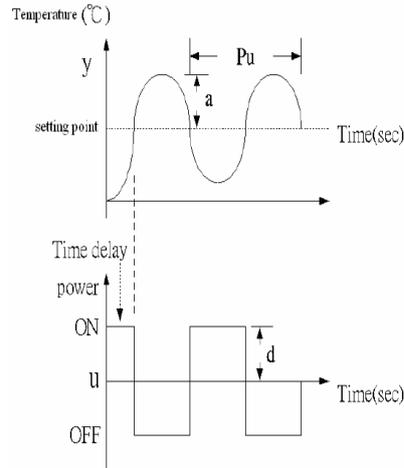


그림 2. On/Off 제어에서 임계 구간과 임계 이득 값을 추정 [7]

하지만 주기성 데이터 패턴을 이루는 경우 그림2의 온도변화에 따라 바로 On/Off 제어를 수행한다고 하더라도 장비 운영 환경에 따라 시간 지연이 생긴다. 이를 개선 하기 위해 FOPTD와 SOPTD 모델을 적용한다면[6] Pu의 불일치 문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 그러나 설계가 복잡해지고 비용 증가는 피할 수 없다. 위의 모델은 발전소용 제어기 용도로 개발되었기 때문에 저렴한 비용으로 범용화 시키기에는 한계가 있다. 그래서 근사알고리즘을 이용한 제어를 고려하게 된다.

- 근사알고리즘을 이용한 제어

좀 더 실용적인 방법으로 극점과 영점을 근사적인 접근 방법으로 재귀적으로 찾아 가는 방법을 Charef는 제안 하였고 이를 표현하면 아래 그림 3과 같은 모습이 된다.[8] 이러한 방법은 Fractional order pole 시스템에도 적용되어 위상 최적화에도 잘 사용되었다.[9]

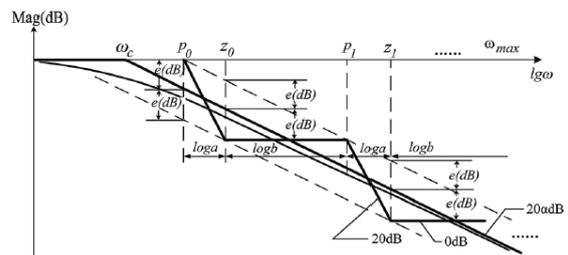


그림 3. Sharef 근사알고리즘을 적용한 보드 플롯 [9]

위의 방법은 아래의 Knapsack 알고리즘에서 이득 값을 찾아가는 방법과 유사함에 주목할 수

있고 FPTAS 문제에서도 비교적 잘 적용할 수 있다. [10]

1. Given $\epsilon > 0$, let $K = \frac{\epsilon P}{n}$.
2. For each object a_i , define $\text{profit}'(a_i) = \left\lfloor \frac{\text{profit}(a_i)}{K} \right\rfloor$.
3. With these as profits of objects, using the dynamic programming algorithm, find the most profitable set, say S' .
4. Output S' .

이 성능 향상의 주요 요소 중 또 다른 하나는 서론에서 언급한 것처럼 최적화 과정에 영향을 주는 많은 환경 변수들에 대한 처리를 어떻게 고려할 것인가 하는 점이다. 이는 Minimum Makespan Scheduling 기법으로 해결했는데 원리는 간단하다. 임의로 가장 적은 할당량의 작업을 수행하면 된다.[10]

위의 Knapsack 알고리즘과 Minimum Makespan Scheduling 기법을 이용하여 비교적 저전력 저성능 장비인 Cortex-M0 계열의 임베디드 HW만으로 근사알고리즘을 적용하였을 뿐만 아니라 TCP 통신 기능도 동시에 동작하게 하여 여유 있게 실시간 데이터 추출도 가능하였다. 과거 데이터 분석과 현재 데이터 설정치 그리고 온도 예측 방향성에 대한 적절한 이득값을 기준으로 적절한 동작을 판단하게 하였다.

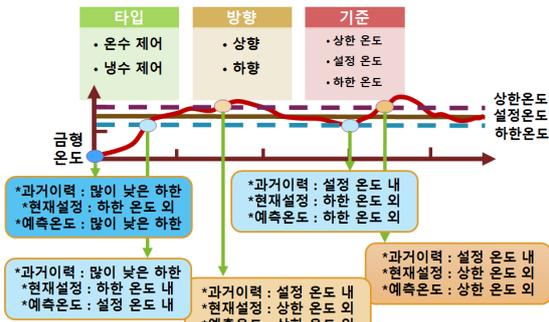


그림 4. 근사알고리즘을 적용 메커니즘

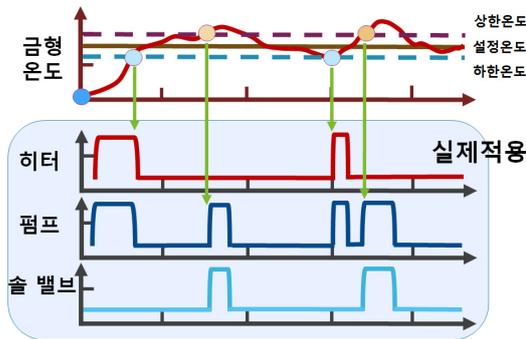


그림 5. 근사알고리즘을 적용한 금형온도조절기 모델

아래의 그래프는 실제로 장비를 동작하여 얻은 금형 출수 온도의 데이터를 그린 것이다. 사이클

타입은 약 30초이며 1Lot씩 반복하여 구동하였으며 목표 온도는 40°C와 50°C이다. 그래프에서 일반적으로 보이는 사출시 온도 증가, 형개시 온도 하강의 편차가 거의 없음을 알 수 있다. 첫 번째와 두 번째 그래프가 계단 형태의 제어를 띠는 것은 설정 온도를 ±2°C로 맞추었기 때문에 목표 범위 내에서는 불필요한 동작을 안 하도록 맞추었기 때문이다. 세 번째 그래프가 깔끔하지 않은 모습을 띠는 것은 2개의 온도조절기가 금형의 상측과 하측을 각각 제어 한 후 출수 시 하나의 배관으로 합쳐서 들어오기 때문에 난류를 생성하여 일정치 않은 온도편차를 보이고 있다. 하지만 설정 온도를 ±2°C 범위 내에서 움직임을 알 수 있기 때문에 각각의 온도조절기는 첫 번째나 두 번째 같은 온도 패턴을 보일 것으로 유추할 수 있다.

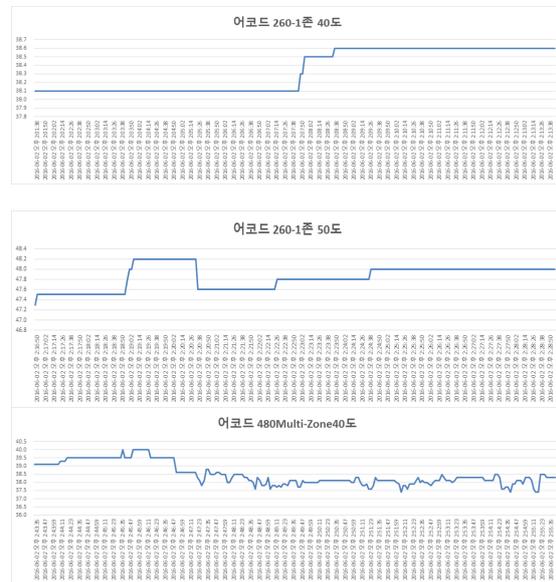


그림 6. 근사알고리즘을 적용한 장비의 금형 출수온도 분포

III. 결 론

온도제어 기술은 비단 사출금형 산업 뿐만 아니라 에너지/발전소, 산업용 냉각기, 군사용 정밀 냉각 시스템 등 활용처가 무궁무진한 기반 기술이다.

공정의 반복으로 인한 주기적인 반복 데이터 패턴일 경우 일반 PID제어로는 정확한 이득값을 찾아내지 않는 한 아무리 효율적으로 제어 한다고 하더라도 반복되는 데이터 편차를 피하기 어려웠다. 그리고 정교한 제어기 설계를 위해 가능한 많은 공정 변수들을 고려해야 했고 이로 인해 제어기가 복잡해지고 가격은 올라갔다. 하지만 근사알고리즘을 적절하게 이용한다면 비교적 저렴한 제어기로도 만족할만한 성능을 확보할 수 있음을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다.

그리고 온도조절 기본 기능뿐 아니라 이로 인한 불량감소 인건비 감소로 이어져 결국 기업의 수익성 개선 효과도 기대할 수 있을 것이다.

제시된 방법은 기존의 PID 제어를 사용했던 범용적인 산업용 온도조절기뿐 아니라 레이저 냉각기 등 LCD/반도체 관련 정밀기기의 온도제어에서도 충분히 연구해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Ziegler, J. G. and N. B. Nichols, Optimum Settings for Automatic Controllers, Transaction of the ASME, vol.64, pp.759~768, 1942.
- [2] Desborough, L. D. and Miller, R. M. 2002. Increasing customer value of industrial control performance monitoring-Honeywell's experience. Chemical Process Control-VI (Tucson, Arizona), AIChE Symposium Series No. 326. Vol. 98, Jan. 2001
- [3] Rivera, D. E., Skogestad, S., and Morari, M., Internal Model Control. 4. PID Controller design, Ind. Eng. Chemical Process Design Dev., 25, pp. 252~265, 1986.
- [4] Seborg, D. E., Edgar, T. F., and Mellichamp, D. A. "Process Dynamics and Control, 2nd ed.". Wiley, New York, 2004.
- [5] Liu, T. and Gao, F. New insight into internal model control filter design for load disturbance rejection. IET Control Theory and Applications, Vol. 4, 3: 448-460, 2010.
- [6] Saxena S. and Hote, Y. V. Load Frequency Control in Power Systems via Internal Model Control Scheme and Model-Order Reduction. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, No. 3: 2749-2757, 2013,
- [7] WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL - Issue 1, Volume 4, Metal Chamber Temperature control by Using Fuzzy PID Gain, January 2009.
- [8] Charef, A., Sun, H., Tsao, Y., and Onaral, B., "Fractional System as Represented by Singularity Function," IEEE Trans. Autom. Control, 37(9), pp.1465 - 1470, 1992.
- [9] Li Meng, Dingyu Xue, A New Approximation Algorithm of Fractional Order System Models Based Optimization, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 134 / 044504-7, JULY 2012
- [10] Vijay V. Vazirani, Approximation Algorithms, Springer p69-83, 2001.