

사출성형기의 제어방식에 따른 사출장치 정밀도 검사

정현석^{1*}, 유중학²

¹한국엔젤기계(주), ²한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

Injection Unit Precision Inspection according to Control Method of Injection Molding Machine

Hyun-Suk Jung^{1*}, Joong-Hak Yoo²

¹Engel Machinery Korea Limited

²School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 본 연구는 사출 성형기의 제어 방법에 따른 정밀 검사에 대한 연구를 수행하였다. 실험을 통하여, 유압사출 성형기와 전동식 사출성형기의 스크루 스트로크, 보압, 용융 수지온도에 대하여 정밀도에 미치는 영향을 조사하였다. 또한, 실험에서 얻어진 데이터 편차에 대한 가설 테스트를 수행 하였다. 연구를 통하여 스크루 스트로크, 용융 수지온도, 보압 순으로 편차가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 유압식 사출성형기가 전동식 사출성형기에 비해 제품 간의 산포가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 또한 통계프로그램인 미니탭을 활용하여 스크루 스트로크, 용융 수지온도, 보압에 대한 가설을 설립 한 후 P값을 확인하여 스크루 스트로크, 용융수지온도는 귀무가설(H_0)을 채택하였으며, 보압은 상호차이가 발생한 대립가설(H_1)을 채택하였다.

Abstract A study of a precision test according to the control method of an injection molding machine was carried out. The effects of the screw stroke, holding pressure, melt temperature on both the hydraulic and electric injection molding machine were examined. In addition, hypothesis testing was performed to determine the deviation of the data obtained in the experiments. The conclusions obtained in this study were as follows. Significant deviations in the screw stroke, melt temperature and holding pressure occurred in that order. The hydraulic type showed significantly more variation between the products compared to the electric type. In addition, using a mini tab from the statistics program, a hypothesis was proposed and the P value of the injection stroke, holding pressure, melting temperature injection stroke and melting temperature had adopted a null hypothesis (H_0). The holding pressure, which showed mutual differences, adopted an alternative hypothesis (H_1).

Keywords : Electric injection molding machine, Hydraulic injection molding machine, Holding pressure, Melt temperature, Screw stroke

1. 서론

플라스틱 사출성형기 시장은 전방 산업인 가전, 전자 부품, 컴퓨터, 휴대폰, 자동차 등의 수요에 따라 성장을 같이하며, 향후에는 IT산업, 차세대 이동통신, 항공산업 등 고정밀 성형품의 신규수요 증가로 안정적인 성장을

보일 것으로 전망된다. 플라스틱 산업의 가장 큰 변화는 비철화에 편승하여 가볍고 내구성, 내열성, 내화학성이 뛰어난 플라스틱 성형품에 대한 활용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 플라스틱 성형품의 품질을 보증하기 위한 사출성형 관리항목으로는 금형온도, 수지물성, 사출 압력, 용융 수지온도, 보압 등이 있다. 2015년 사출성형

*Corresponding Author : Hyun-Suk Jung(Engel Machinery Korea Limited.)

Tel: +82-31-610-0272 email: junghs@engel.co.kr

Received February 1, 2016

Revised March 9, 2016

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

기 시장 규모는[1] 국내 제조업체인 LS엠트론, 우진플라임, 동신유압 및 FUNUC, SODIC, JSW, SUMITOMO, ENGEL, KRAUSS MAFFEI 등에서 생산하는 유압식 및 전동식 사출성형기는 약 10조억원 이상으로 추산된다. 사출성형기는 형체 및 사출층 각 동작부분에 유압 비례밸브에 의한 유량 및 유속을 제어하는 유압식 사출성형기와 AC 서보 모터의 회전수를 직선운동으로 변환하여 각 동작 부분을 제어하는 전동식 사출성형기로 구분한다. 일반적으로 유압식 사출성형기는 자동차범퍼, 포장용 파렛트, TV 프레임 등 형체력을 많이 필요로 하는 대형제품 사출성형에 사용되며, 전동식 사출성형기는 핸드폰 렌즈, 컨넥터 등 정밀하면서 소형인 제품을 성형할 때 주로 사용된다. 사출성형기 정밀도 검사에 대한 연구 사례를 살펴보면, Jung과 Yoo[2-5]는 유압식 사출성형기의 사출 층 기능부에 대한 실험적 연구를 통하여 screw stroke, 사출압력, 사출온도에 대한 정밀도 검사 평가방법을 수립하였고 성능을 향상하기 위한 실험 및 개선안을 제안하였다. 사출성형 공정 시 사출온도, 사출 속도에 따른 사출성형품 표면의 젓팅 결함에 대한 현상의 이론적 해석과 기초실험에 관한 연구는 Lyu와 Choi[6]등이 ASTM규격에 따른 형상을 제작하여 금형 내 캐비티와 게이트 치수와의 결과를 비교하였다. Lee와 Han[7]은 플라스틱 인장시편의 기계적 특성에 영향을 주는 사출성형조건의 변화 및 측정이 가능한, 인장시편용 금형을 설계, 제작하여 사출성형조건의 변화에 따른 사출성형 실험을 수행하였으며, 각각의 성형과정에서 발생하는 금형 내 온도와 압력데이터를 획득하여 상호 비교하였다.

본 연구에서는 엔겔사의 유압식과 전동식 사출성형기의 스크루 스트로크, 보압, 용융 수지온도에 대한 정밀도 검사를 통하여 성형품에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 사출성형기의 제어방식에 따라 성형품에 미치는 영향을 통계적 기법으로 확인하고자 한다.

2. 실험장치 및 검사방법

본 실험은 엔겔사의 유압식 사출성형기(VC 330/110, Engel Co.)와 전동식 사출성형기(E-MAX 330/100, Engel Co.)를 평가대상으로 선정하였다. Fig. 1은 유압식 사출성형기의 개략도이다. 사출성형 시 속도가 +, - 발생 시 그림에 표시된 화살표의 사판센서가 자동 감지

하여 원활한 유량을 보완하고, 압력 부족 시에는 압력제어 밸브로 보정이 가능한 원리이다. 유압식에 채택된 폐쇄회로(closed loop) 제어방식은 사출성형 시 재현성이 뛰어나고 정밀 성형품 성형에 주로 사용된다. 전동식 사출성형기는 형체기구에 AC 서보모터, 타이밍벨트, 볼스크루 등을 매개로 이동형판을 움직여서 형체력을 발생시킨다. 각 동작은 NC 프로그램에 의하여 제어되기 때문에 스트로크 및 속도의 전환점이 정밀하게 설정되어 주로 정밀성형에 사용된다.

Fig. 2와 같이 사출성형기의 중요 기능부에 계측기를 장착하였다. 인젝션 스크루 스트로크에 대한 평가를 위하여 버니어캘리퍼스를 사출 램에 고정된 후 0~200mm 구간에 대하여 20mm 간격으로 위치 정밀도를 측정하였다. 정밀압력계(PT600, Wika Co.)를 이용하여 제품사출성형 시 필요한 보압을 100bar로 설정한 후 10회 반복성 평가를 실시하였다.

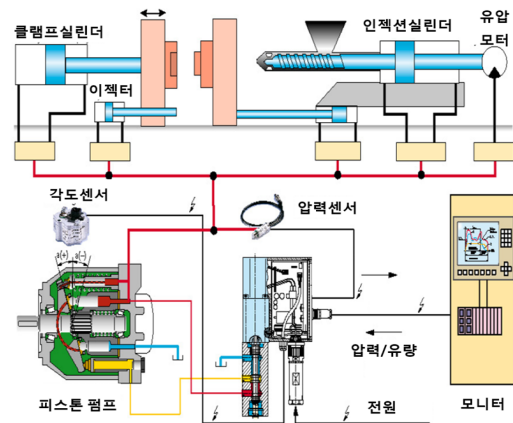


Fig. 1. Operating principle of hydraulic injection molding machine



Fig. 2. Experimental device set-up

Table 1. Injection molding conditions

Mold temperature(℃)	80~100
Melt temperature(℃)	275~295 (280, 285, 290, 295)
Coolant temperature(℃)	90
Coolant time(sec)	15
Packing time(sec)	8
Packing pressure(MPa)	50

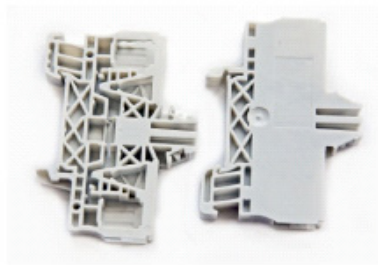


Fig. 3. Injection molding parts

용융 수지온도 평가에 사용된 계측장비는 k 타입 열전대 센서가 장착된 정밀온도계(QE1008, Fluke Co.)를 사용하였다. 가열실린더 벽 주위에 구멍을 뚫고 삽입되어 있는 J 타입 열전대를 접촉시켜 공급부, 압축부, 계량부의 3군데를 측정하여 비교 분석하였다. 또한 본 실험에서는 폴리아미드(PA66, Dupont Co.) GF30 수지를 사용하여 Fig. 3과 같이 성형된 터미널 하우징을 이용하여 재현성 실험을 실시하였으며, 수지 제조업체에서 추천하는 성형온도 270~300℃를 실험조건으로 설정하였다. 제품은 1회 사출성형 시 좌우로 제품 2개가 동시에 사출되는 캐비티 구조이며, 핫러너 금형을 사용하였다. 이 수지는 270~300℃ 구간에서 용융되므로 사출온도에 대한 평가기준을 300℃로 선정하였다. 장비 설치가 완료되면 온도측정기의 사출온도를 300℃로 조정된 뒤 각각의 열전대를 온도측정기 감지부에 동시에 삽입하였다. 1분 간격으로 10회 측정하여 시간 변화에 따른 온도 변화를 확인하였다. 본 연구에서 사용된 수지의 성형조건은 Table 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 인젝션 스크루 스트로크 정밀도 검사를 위하여 버니어캘리퍼스를 사출 램에 고정된 후 0~200mm

구간을 20mm 간격으로 측정한 결과를 나타내며, 실험을 통하여 유압식은 20mm 구간에서 0.09mm, 160mm 구간에서는 -0.11mm의 편차가 발생되어, 0.2mm의 치수 편차가 발생하여, 0.1%의 위치 정밀도 오차가 발생하였다. 전동식은 40~180mm 구간에서 0.02mm의 치수 편차가 발생하여, 0.01%의 위치정밀도 오차가 발생하였다. 그러므로 인젝션 스크루 스트로크 위치 정밀도 평가를 통하여 유압식이 전동식보다 정밀 제어가 낮은 수준임을 확인할 수 있다. 여기에서 관리공차는 평가구간을 기준으로 0.5%의 공차를 적용하였으며, ±0.4mm를 상하관리구간으로 설정하였다.

Fig. 5는 유압식과 전동식 사출성형기에서 각각 보압을 100bar로 작용시켰을 때, 나타나는 보압에 대하여 1분 간격으로 10회 반복평가를 통한 측정 결과이다. 평가시 관리공차는 해당 보압을 기준으로 0.5%의 공차를 적용하였다. 그러므로 99.5~100.5bar 구간을 관리구간으로 설정하였으며, 실험을 통하여 보압의 크기는 유압식에서 99.9~100bar의 편차가 발생되어, 0.1%의 차이를 나타내었다. 전동식은 99.7~99.9bar의 편차가 발생하여, 0.2%의 차이가 확인되었다. 이 값은 모두 허용공차 구간 내에 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 이 실험을 통하여 보압이 얼마만큼의 크기로 정확하게 캐비티에 전달되는지를 알아 볼 수 있다. 보압의 크기는 공차범위 내에 존재하지만 압력 전달 측면에서 전동식보다 유압식이 우위에 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 용융 수지온도 300℃를 설정하였을 때, 계량부, 압축부, 공급부에서의 온도 변화를 유압식과 전동식에 대하여 측정한 결과이다. 실험을 통하여 유압식은 300~300.3℃로서, 0.1%의 편차가 발생하였다. 전동식은 299.8~300.3℃로서, 약 0.17%의 편차가 발생됨을 알 수 있다. 본 실험 시 적용한 용융 수지온도에 대한 관리공차는 제조회사에서 추천하는 ±2℃를 적용하였다. 따라서 제어방식에 따른 용융 수지온도의 변화는 공차범위 내에 존재함을 알 수 있지만, 전동식 사출성형기가 용융 수지온도 변화에 대한 민감도가 높지만 유압식이 안정적이라고 볼 수 있다. 또한 제어방식이 다른 유압식과 전동식 사출성형기의 중요 인자에 대하여 얻은 실험 데이터를 통계적 기법[8-9]으로 분석하기 위하여 통계프로그램인 미니탭을 이용하여 Table 2와 같이 가설조건을 설립하였다.

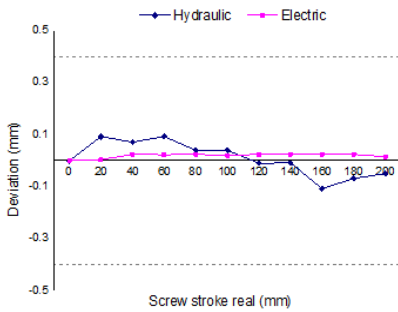


Fig. 4. Experiment result of screw stroke at 0~200mm

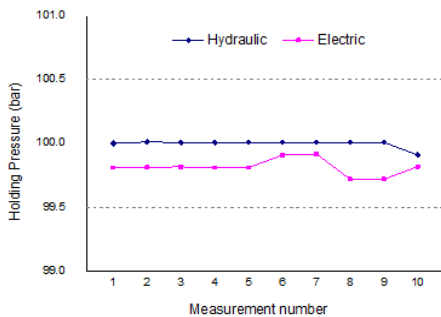


Fig. 5. Experiment result of holding pressure at 100bar

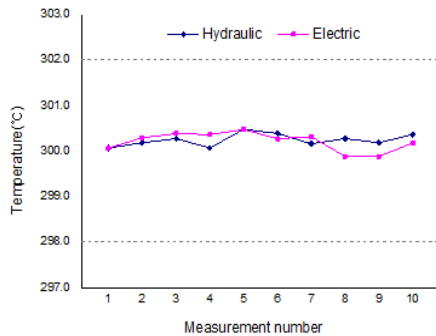


Fig. 6. Experiment result of temperature at 300°C

Table 2. Hypothesis testing of flow

step	flow
1	Establish null hypothesis(H ₀) and alternative hypothesis(H ₁)
2	Level of significance make a choice(α:5%)
3	Calculate of sample statistics
4	Calculate of verification statistics value(P)
5	Reach a verdict about a null hypothesis

Fig. 7은 Fig. 4에 나타난 실린더 스크루 스트로크 정밀도 검사 시 발생한 편차에 대하여 데이터 간의 정규성 관계 검증을 실시하였다. P값이 0.577로 $P \geq \alpha(0.05)$ 이므로 신뢰구간 95% 수준 내에서 산포 변화에 따라 유의수준 차가 작으며, 각 집단 간의 차가 발생하지 않는 귀무가설(H₀)이 성립되었다. 이것은 인제션 스크루 스트로크가 성형품의 품질에 미치는 영향이 적은 인자임을 의미한다.

Fig. 8은 Fig. 5에 나타난 보압 100 bar에서 실시한 정밀도 측정 시 발생한 편차를 이용하여 데이터 간의 정규성 관계에 대한 검증을 실시하였다. P값이 0에 근접한 상태로 $P \leq \alpha(0.05)$ 이므로 신뢰구간 95% 수준 내에서 유의수준의 차가 크며, 각 집단 간의 차이가 발생하였다. 따라서 검증을 통하여 보압 작용에 따른 변동량에는 차이가 없다는 귀무가설(H₀)을 기각하고, 집단 간 차이가 발생하는 대립가설(H₁)이 성립되었다. 이것은 보압이 성형품의 품질에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 Fig. 6에 나타난 용융 수지온도 300 °C에서의 데이터 값에 대한 통계적 기법을 적용한 결과, P값이 0.613으로 $P \geq \alpha(0.05)$ 이므로 신뢰구간 95% 수준 내에서 산포 변화에 따라 유의수준의 차가 작으며, 각 집단 간의 차이가 발생하지 않는 것으로 판단되어 귀무가설(H₀)을 채택하였다. 이것은 용융 수지온도가 성형품의 품질에 미치는 영향이 적은 인자임을 의미한다.

Fig. 10은 유압 제어방식 사출성형기에 의해 성형된 터미널 하우징 성형품의 재현성 실험 결과로서, x-bar R 관리도를 이용하여 제품 무게 평균값과 산포의 크기로 나타내었다. 터미널 하우징 성형품의 무게 평균은 22.59g, 최대값은 22.61g, 최소값은 22.58g이다. 샘플 수량 20개, 사출성형 시 0.03g의 무게 차이가 발생하였으며, 평균값 기준으로 0.13%의 산포가 발생한 것을 확인하였다. 전동식 사출성형기에 의해 성형된 터미널 하우징 성형품은 Fig. 11에 나타난 것과 같이 무게 평균이 22.59g, 최대값은 22.60g, 최소값은 22.58g이다. 여기에서 0.02g의 무게 차이가 발생하는 것을 알 수 있으며, 평균값을 기준으로 0.09%의 산포가 발생하였다. 유압식이 전동식보다 사출성형품의 무게에 대한 산포가 0.04% 더 크게 발생하였다. 이것은 정밀 사출성형에서 유압식보다 전동식 사출성형기가 적합하다는 것을 통계기법을 활용하여 과학적으로 검증할 수 있음을 의미한다.

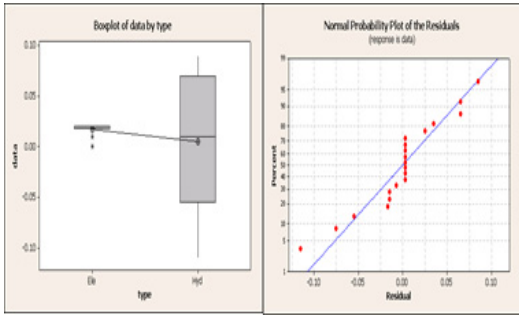


Fig. 7. Screw stroke experiment result of ANOVA

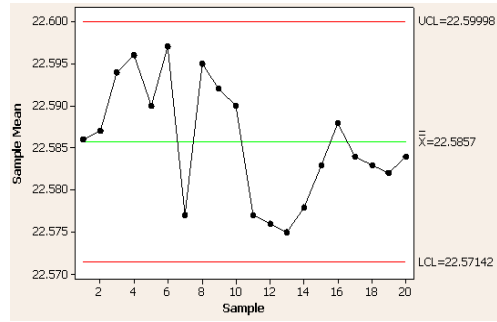


Fig. 11. Weight measurement results(electric)

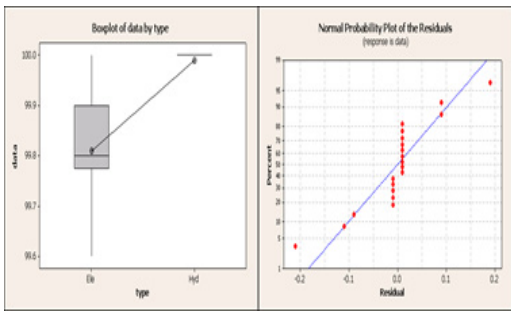


Fig. 8. Holding pressure Experiment result of ANOVA

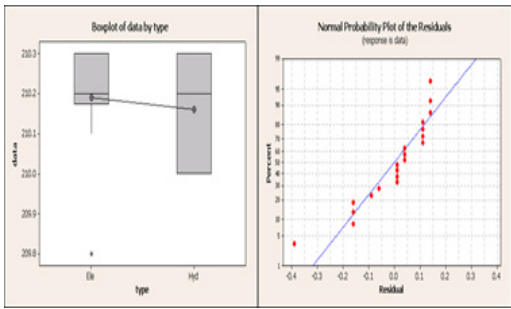


Fig. 9. Melt temperature experiment result of ANOVA

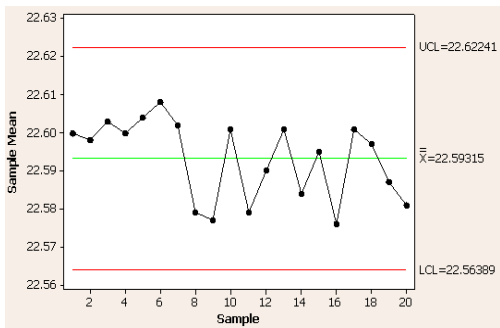


Fig. 10. Weight measurement results(hydraulic)

4. 결론

본 연구는 제어방식이 다른 유압식과 전동식 사출성형기의 사출부의 중요 기능부에 대한 정밀도 검사 및 성형품의 무게를 통계적 기법을 적용하여 영향의 정도를 분석하였으며, 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사출성형기 및 성형품에 대한 평가 결과, 스크루 스트로크는 전동식이 정밀하게 제어되었고, 보압은 캐비티 전달 측면에서 유압식이 우위를 보였으며, 유압식이 용융 수지온도 변화에 대한 민감도는 떨어지지만 안정적임을 확인할 수 있었다.
- 2) 통계적 기법을 적용하여 스크루 스트로크와 용융 수지온도는 제어방식에 따른 영향이 적음을 알 수 있었고, 보압은 성형품 간의 차이가 발생하여 대립가설이 성립되었다.
- 3) 사출성형품 무게 측정결과 유압식은 평균 0.13%의 산포가 발생하였으며, 전동식은 평균 0.09%의 산포가 나타났다. 따라서 유압식이 전동 제어방식보다 제품 간의 산포가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다.

References

[1] Global Information Premium Market Research Report: Global Injection molding machine market 2014-2018: <http://www.giikorea.co.kr>

[2] H. S. Jung, and J. H. Yoo, "An Experimental Study on Credibility Test of Hydraulic Injection Molding Machine", Journal of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference., pp. 471~472.

October, 2010.

- [3] H. S. Jung, and J. H. Yoo, "Tie bar Elongation Test of Toggle type Injection Molding Machine", Journal of the KSMTE., Vol.21, No.4 pp. 672-676, January, 2013.
- [4] H. S. Jung, and J.H. Yoo, "Uncertainty Evaluation for the Determination of Injection Temperature in Injection Molding Machine", Journal of the KSDME Summer Conference., pp. 8-12, June, 2010.
- [5] H. S. Jung, and J. H. Yoo, "An Experimental Study on the Measurement Performance of Injection molding machine", Journal of the KSMTE Spring Conference., pp. 134-135, May, 2011.
- [6] S. W. Kim, and J. H. Park., M. Y. Lyu, Y. J. Jin, and D. Kim, "Variation of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditional of Injection Molding", Proceedings of the JTMP autumn annual meeting, pp. 70-74, September, 2004.
- [7] D. M. Lee, B. K. Han, and S. H. Lee, "Injection Mold with Cavity Pressure/Temperature Sensors for Standard Tensile Test Specimen", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.24 No.11, pp. 84-90, November, 2007.
- [8] B. K. Choi, and D. G. Lee, "A Study on the Process Capability Analysis of MIM Product", Journal of the Korea Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No. 1, pp. 57~64, January, 2010.
- [9] H. S. Jung, and J. H. Yoo, "Mold Opening Stroke according to Injection Speed" Proceedings of the International Conference of Manufacturing Technology Engineers, pp. 254, October, 2010.

유 중 학(Joong-Hak Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 단국대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 8월 : 단국대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야>
사출성형 및 금형, 절삭가공

정 현 석(Hyun-Suk Jung)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 산업기술공학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학 (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 2001년 2월 : 대우 자동차기술연구소 주임연구원
- 2002년 1월 ~ 현재 : 한국엔젤기계(주) 품질경영팀 부장

<관심분야>
사출성형 및 금형, 정밀측정