

# A Study on Quality Classification of Injection Molding Process by Kalman Filter

Shin Bong Deug<sup>†</sup> · Oh Hyuk Jun<sup>††</sup>

## ABSTRACT

It is important factors for a production system to get a profitable result in quality and reliability process. For this reason, there's are various type of research papers in a certain type of data acquisition and application to reliability and quality of the level of M2M devices. In general, a classification problem of slightly different signal such as sensing data is difficult to do with classical statistical methods. There's required real-time and instantaneous calculation properties in machine process. Especially a type of injection molding machine which has a property to be decided in accordance with short-term cycle process needs a solution that can be done a certain type of decision like as good or bad quality immediately. This paper presents a simple application of Kalman Filtering by single sensing data to injection molding process in order to get a correct answer from the real time sensing data.

**Keywords :** Kalman Filtering, Injection Molding Machine, Real-Time, Sensor Data Process, Injection Speed

## Kalman Filter를 이용한 사출성형 제품의 품질 분류에 대한 연구

신 봉 득<sup>†</sup> · 오 혁 준<sup>††</sup>

### 요 약

생산 시스템의 신뢰도와 공정에서의 품질관리는 수익과 직결되는 중요한 요소이다. 이런 이유로 M2M 디바이스 레벨에서 데이터를 획득하는 방법 그리고 그것을 응용하여 신뢰도 및 품질 등과 연결하는 연구에서 최근 많은 성과를 보이고 있다. 본 논문은 이러한 연구 결과의 연장선으로 획득한 데이터의 처리방법과 결과에 관한 것이다. 일반적으로, 센서 데이터와 같은 미세한 차이를 가지는 신호를 이용하여 제품의 품질을 식별하는 것은 기존의 통계적인 방법에서는 어렵다. 그러나 최근 기계 공정에서 정보를 실시간적이고 즉시적으로 처리를 해야 하는 요구가 증대되고 있다. 특히 사출성형 공정의 경우 프로세스가 짧은 Cycle 갖고 있어 프로세스의 진행과 동시에 제품의 양-불량을 판별할 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문은 Kalman Filter를 적용하여 사출공정의 센서 데이터를 실시간적으로 처리하여 제품의 상태를 판단할 수 있는 방안을 제시한다.

**키워드 :** 칼만필터, 사출성형, 실시간, 센서 자료처리, 사출속도

### 1. 서 론

생산 생산정보화 시스템은 대량생산라인의 출현과 함께 컴퓨터 시스템을 생산라인에 적용하면서 1980년대부터 여러

제조 및 생산 공장 분야에서 적용되어 왔다. 1980년대 초반에 FA(Factory Automation) 공장자동화란 이름으로 생산 공장을 중심으로 생산라인과 설비에 컴퓨터 시스템을 연결하여 자동화를 이루어 내면서 생산현장에서의 자동화는 인력의 감축, 효율성 등을 기반으로 원가절감 등이 실현하였다. 이러한 기술적인 발전은 보다 효율적인 생산 시스템의 개발이라는 분위기를 만들었으며, 즉각적인 의사결정과 관리방법의 하나로 실시간 모니터링의 방법과 의사결정을 의한 분류 및 판단 등에 대한 연구가 진행되고 있는 시점이다[1]. 본 논문은 이러한 연구 경향의 하나로 사출성형 생산시스템에 대한 응용방법을 기술한 것이다.

※ 이 논문은 2016년도 산업통상자원부(No.20143030011710, 태양광 발전 제어 및 감시를 위한 태양광 전용 Soc 국산화 개발) 지원을 받아 수행된 연구임.  
※ 본 연구는 2015년도 광운대학교 교내 학술연구비의 지원을 일부 받아 수행된 연구임.

<sup>†</sup> 준 회 원 : 광운대학교 전자통신공학과 박사과정

<sup>††</sup> 비 회 원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수

Manuscript Received : October 4, 2016

Accepted : October 5, 2016

\* Corresponding Author : Oh Hyuk Jun(hj\_oh@kw.ac.kr)

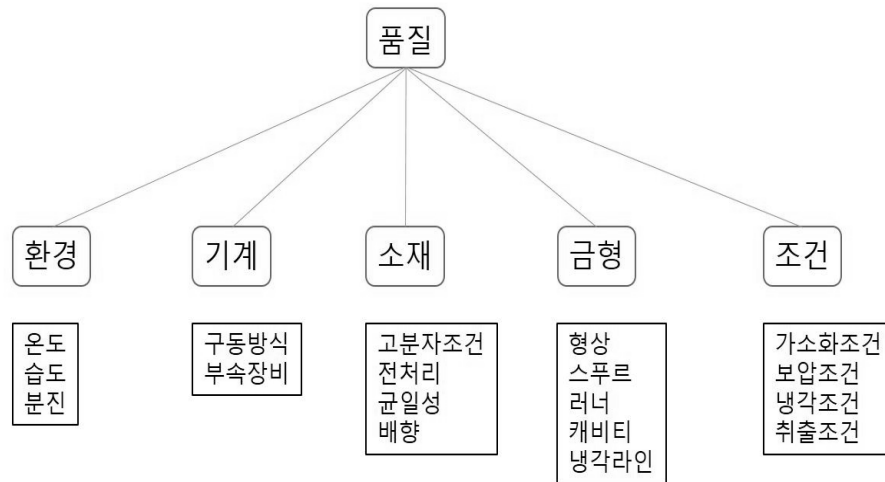


Fig. 1. Factor Affecting Quality of Injection Molding Process

사출성형의 과정과 그 결과물의 품질에 관한 연구는 다양한 분야에서 연구되었으며 사출성형의 기술을 발전시키는 계기가 되었다. 특히 최근 급속한 발전을 거듭하고 있는 센서 기술 등을 이용한 간접적인 품질진단 방법은 Big Data와 Machine Learning 등의 개념이 센서 기술과 융합하면서 많은 성과를 내고 있다[2]. 하지만 사출성형의 특징이라 할 수 있는 “Cycle이 짧고 대량생산이 가능”이라는 장점은 품질과 효율성의 관점에서는 단점이 되는 경우가 많이 있다. 즉 여기에는 광범위한 수지의 성형능력, 자동제어 가능성, 성형품의 대형화, 그리고 복잡한 모양 및 정밀도 등의 요구사항이 품질의 관점에서는 반대급부로 작용하기 때문이다. 더구나 Cycle의 시간간격이 짧아지면서, 다량의 제품을 생산할 수는 있지만 모든 생산품이 양품이라 단정하기 어려운 점이 있으며, 다량으로 생산된 제품에 대해 양품 또는 불량품을 식별하는 것은 많은 인적-시간적 비용소요를 필요로 한다[3].

본 논문은 이러한 문제를 가진 사출성형기를 연구의 대상으로 설정하고, 사출의 과정과 그 결과에 대해 인과관계를 정의할 수 있는 센서를 선택하여 Cycle의 진행과 동시에 사출물의 양-불량을 판별할 수 있는 방법을 연구하였다. 특히 기존의 통계적 데이터처리방법(Batch Process)을 이용한 양-불량 판정방법의 근본적인 문제인 “사후처리”, 즉 데이터가 축적된 이후 판정을 위한 데이터 처리방법은 Cycle이 보다 더 짧은 경우 비용 측면에서 비효율적이라는 것을 식별하였다. 따라서 이러한 시간적인 제약을 해결하기 위해 실시간(Real Time)으로 센서의 데이터를 처리할 수 있는 방법으로 칼만 필터(Kalman Filter)를 적용하기로 했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 사출성형의 과정을 설명하고, 3절에서는 사출성형의 품질에 영향을 주는 요소를 알아보고, 4절에서는 본 논문에서 제안하는 Kalman Filter 모델링 방법을 제안하고, 5절에서 분석결과를 통해 유효성을 보이고 6절은 결론이다.

## 2. 사출성형의 과정

사출성형의 기본과정은 건조-재료이동-가소화-사출(투입-가압-고정)-냉각 및 이형 등으로 하나의 Cycle을 갖는다. 이러한 각 단계는 사출된 제품의 품질을 결정하는 변수로 작용하게 되는데 세부적인 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

사출기에 투입되는 수지의 재료는 공정에서 발생하는 온도의 변화와 공기 중의 수분 등의 영향으로 건조와 동시에 제습이 병행되어야 한다. 즉 적당한 건조시간과 이슬점 온도의 식별과 관리는 품질에 중요한 요소가 된다. 적절하지 못한 건조과정은 제품의 외관과 제품의 물성변화를 야기하여 품질에 영향을 주는 요소이기 때문이다[4]. 한편 플라스틱 성형의 경우 공급(feed)-압축(transition)-계량(metering) 등의 과정을 통해 열가소화 단계가 진행된다. 즉 마찰과 압력을 통해 가소화단계가 진행되는데 적절한 압력 조절이 품질의 대부분을 결정한다고 볼 수 있다. 기타, 다른 공정 또한 품질에 영향을 줄 수 있는 부분이지만 기계적인 메커니즘으로 구동이 되거나 이미 결정된 공정요소이므로 품질을 예측하는 변수로 사용하기는 어려운 측면이 있다.

## 3. 사출성형의 품질에 영향을 주는 요소

사출성형의 품질에 영향을 주는 요소는 다음 Fig. 1과 같이 정리할 수 있다. 사출성형 Cycle에 대해 직접적으로 Sensing이 가능한 영역의 데이터를 획득하여 간접적으로 품질을 측정하는 방법을 사용하는 것이 경제적이고 효율적이라 할 수 있다[5]. 이 중에 환경적 요인과 조건의 요인 등이 최종 제품의 품질에 가장 많은 영향을 준다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 압력센서를 통해 수집된 데이터를 사용했다.

#### 4. Kalman Filter 모델링 방법

품질의 등급 또는 형상의 세분화된 분류를 위해서는 많은 종류의 센서와 그 수만큼의 데이터의 종류가 필요하다. 하지만 품질의 등급을 양품과 불량 등과 같이 이분법으로 분류하는 경우 모델을 단순화할 수 있는 장점이 있다. 압력이  $P$ , 힘은  $F$ , 면적이  $A$ 일 때 간단한 물리법칙에 의하면 압력은 Equation (1)과 같다.

$$P = F/A \quad (1)$$

따라서 센서를 통해 압력 데이터를 얻을 수 있다면, 면적은 일정하므로 압력을 가속도로 정의할 수 있다. 즉 Kalman Filter를 구성하는 State-Space 모델은 다음과 같다[6, 7].

$$\dot{x} = Fx + Gu + w \quad (2)$$

여기서  $G$ 는 제어요소를 의미하지만, 본 모델에서는 제어요소를 고려하고 있지 않으므로  $G=0$ 이다. 압력을 가속도로 정의하고 관측 가능한 데이터라 가정하면, 물리적인 운동법칙에 의해 Equation (3)과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{bmatrix} dx/dt \\ d^2x/dt^2 \\ d^3x/dt^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} \quad (3)$$

따라서, Equation (2)에서 Kalman Filter 시스템  $F$ 는 다음의 Equation (4)와 같다.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

한편 센서로부터 얻어지는 데이터를 Equation (5)와 같이 정의할 수 있으며,

$$z = Hx + v \quad (5)$$

관측에 따르는 오차  $R = E[vv^T]$ 이다. 따라서 센서로부터 관측되는 데이터를 정의하기에 따라  $H$ 가 결정된다[8].

##### 4.1 Kalman Filter 관계식

위 Equation (1)에서 (5)의 관계식을 이용하면 일반화된 Linear Kalman Filter 관계식을 얻을 수 있다.

$$\hat{x}_t = \Phi_t \hat{x}_{t-1} + K(z_t - H\Phi_t \hat{x}_{t-1}) \quad (6)$$

여기서,  $\Phi_t$ 는  $F$ 를 Discrete으로 근사화한 것이며,  $K_t$ 는 Kalman Gain을 말한다.

$$M_t = \Phi_t P_{t-1} \Phi_t^T + Q_t \quad (7)$$

$$K_t = \Phi_t H^T (H M_t H^T + R_t)^{-1} \quad (8)$$

$$P_t = (I - K_t H^T) M_t \quad (9)$$

여기서, Equation (7)부터 (9)는 추정과 예측의 오차를 최소화하는 Riccati방정식을 의미한다[9]. 따라서 적절한 시스템의 오차에 대한 초기조건  $P_0$  관측의 오차  $R_t = R$ 을 통해 Recursive한 관계를 얻을 수 있다. 단 여기서  $\Phi_t$ 와  $Q_t$ 아래와 같다.

$$\Phi_t = \Phi(t) = L^{-1}[(sI - F)^{-1}] \quad (10)$$

$$Q_t = \int_0^t \Phi(t) Q \Phi(t)^T dt \quad (11)$$

여기서  $Q_t$ 는 공정에서 발생하는 오차를 의미하며, Kalman Filter가 센서의 신호를 추정 및 예측하기 위해서 반드시 필요한 조건이다.

#### 5. 분석 결과

분석을 위해 실제 사출성형기의 금형부위에 압력을 수집할 수 있는 센서를 부착한 후 정상적으로 작동시킨 후 품질을 3개의 등급으로 사후적으로 분류하였다. Kalman Filter 모델에서는 압력, 힘 및 가속도가 같다는 개념을 적용하여, 관측 행렬은  $H=(0,0,1)$ 로 처리하였다. 또한 식별을 위해 Energy 개념을 적용하여,  $E = \dot{x}^2$ 을 식별의 기준으로 정의했다.

##### 5.1 센서 데이터의 종류

동일한 환경조건에서 사출성형기의 동일한 센서를 통해 수집한 자료는 Table 1과 같다.

Table 1. Type of Sensing Data

품질분류	Cycle 수 (1Cycle =13초)	샘플링간격
Class 1	34	100/초
Class 2	100	100/초
Class 3	34	100/초

### 5.2 사출압력을 이용한 경우

다음 Fig. 2에 나타난 것처럼 사출압력의 초기 34개 Cycle 데이터에 대해 각 Class 별로 Energy 레벨을 비교하면 쉽게 식별 가능한 것으로 나타난다. 즉 물리적인 의미의 압력을 Kalman Filter를 통해 예측한 속도로 분해하였을 때 각 Class는 쉽게 구별이 된다.

다음은 비교를 위해 계량스트로크데이터와 사출속도 데이터를 이용한 경우이다.

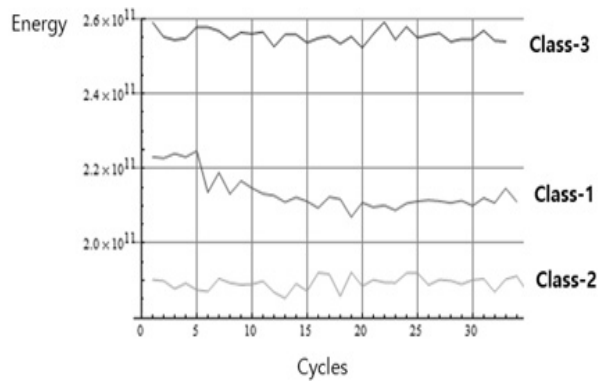


Fig. 2. Result of Classification for Injection Pressure Data

### 5.3 계량스트로크

Fig. 3은 계량스트로크 값을 Kalman Filter를 통해 예측한 것이다. 단 관측된 자료를 변위, 속도, 가속도 개념으로 정의했을 때, 변위의 경우 Fig. 3에 나타난 것처럼 식별이 어려웠으며 하며 Fig. 4의 속도와 Fig. 5의 가속도의 경우는 Class 3만 구분되었다.

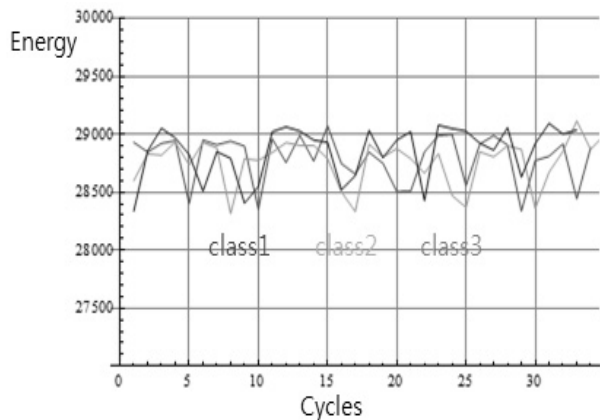


Fig. 3. Result of Classification for Displacement of Metering Stroke Data

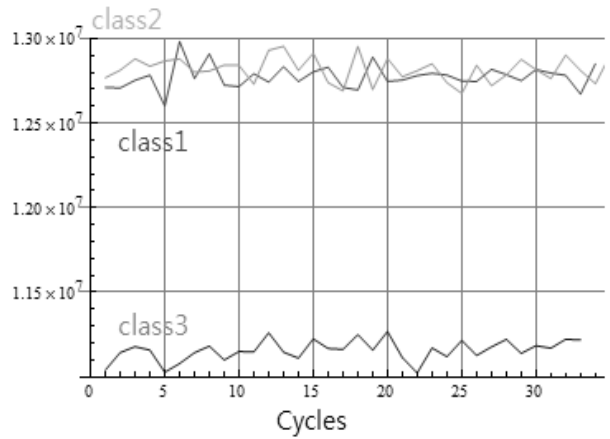


Fig. 4. Result of Classification for Velocity of Metering Stroke Data

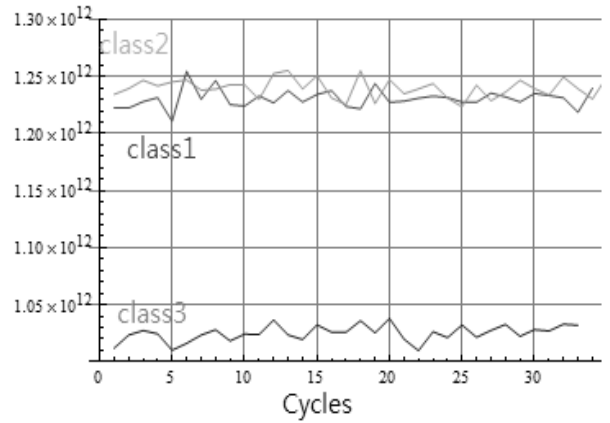


Fig. 5. Result of Classification for Acceleration of Metering Stroke Data

### 5.4 사출속도

다음 그림은 사출속도를 이용한 것으로 계량스트로크와 마찬가지로 개념을 적용하였다. 식별결과는 계량스트로크와 유사하게 Class-3만 구분되었다.

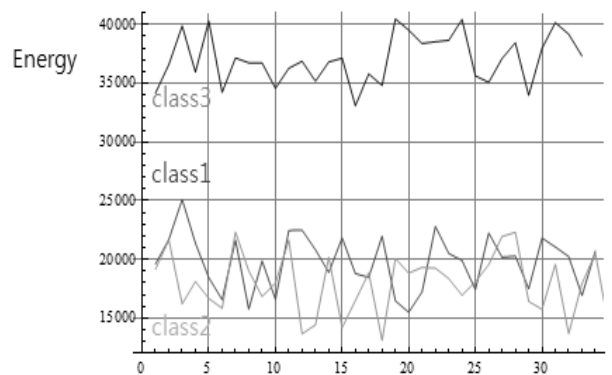


Fig. 6. Result of Classification for Displacement of Injection Speed Data

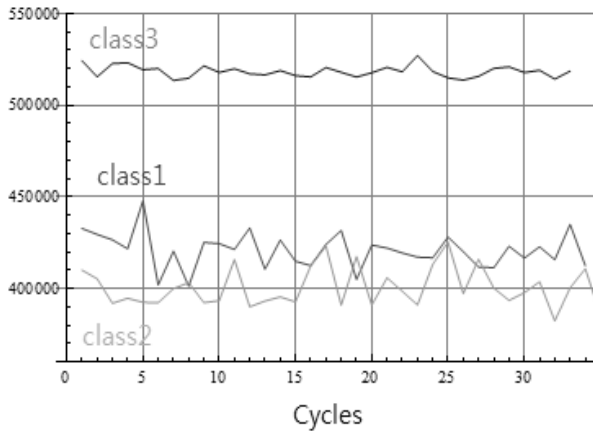


Fig. 7. Result of Classification for Velocity of Injection Speed Data

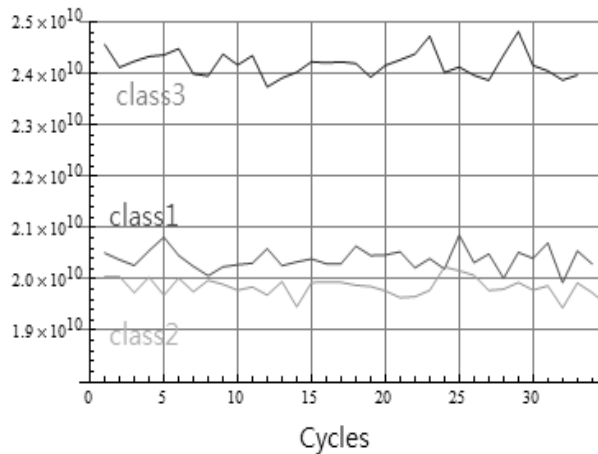


Fig. 8. Observational Data for Acceleration of Injection Speed Data

## 6. 결 론

사출공정은 물론이고 일반적인 공정이 진행되는 현장은 대개의 경우 전통적인 방식의 품질관리가 진행되며 데이터 획득과 의사결정 사이에 상당한 시간이 소요되는 경우가 대부분이다. 이러한 시간의 차이는 때로는 경제적으로 중요한 판단기준이 되기도 하는데 특히 짧은 사출주기를 가지는 공정에서 더욱 그렇다. 다량의 제품을 생산하는 공정에서 불량은 필연적으로 나타나는 현상이다. 따라서 빠른 시간에 불량과 양품의 차이를 식별하고 대체하는 방법은 경제적으로 큰 이득을 가져다 줄 수 있는 부분이다. 특히 복잡한 공정을 가지며 이득 및 손실에 대한 경제적 파급효과 큰 공정이라면 신속한 의사결정은 가장 좋은 생산계획이 되기 때문이다.

본 논문은 압력센서를 이용하여 Cycle의 진행과 동시에 사출물의 양-불량을 판별할 수 있는 방법을 연구한 사례로, 실제 현장에서 사용하는 사출성형기를 대상으로 하여 실시간 의사결정 문제에 대한 해결방안에 대해 찾아 본 것이다.

## References

- [1] H. G. Kim and J. S. Jang, "Black box technology of M2M device," *The magazine of IEIE*, Vol.38, No.3, pp.221-215, 2011.
- [2] H. G. Kim, J. S. Jang, S. K. Cha, J. Y. Song, and B. Y. Han, "Manufacturing System with Wireless Sensors," *Korean Society Precision Engineering, Spring Conference*, pp.399-400, 2010.
- [3] A. Gelb, "Applied Optimal Estimation," MIT Press, Cambridge, MA, 1974.
- [4] H. G. Kim and J. S. Jang, "Implementation of wireless Data Acquisition of Embedded System for IT Convergence," *Korean Society Precision Engineering, Spring Conference*, pp.723-724, 2011.
- [5] P. Zarchan and H. Musoff, "Fundamentals of Kalman Filtering : A Practical Approach," AIAA, 3rd Ed, 2009.
- [6] D. Catlin, "Estimation, Control, and the Discrete Kalman Filter," Springer Verlag, 1987.
- [7] R. Brown and P. Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering," Wiley, 2012.
- [8] M. Grewal and A. Andrew, "Kalman Filtering : Theory and Practice Using MATLAB," 2nd Ed, Wiley, 2001.
- [9] S. Challa, M. Morelande, D. Musicki, and R. Evans, "Fundamentals of Object Tracking," Cambridge, 2011.



## 신 봉 득

e-mail : shinbd04@gmail.com

1995년 공군사관학교 항공공학과(학사)

2005년 연세대학교 전기전자공학과(석사)

2006년~현 재 방위사업청

2009년~현 재 광운대학교 전자통신공학과  
박사과정

관심분야: 무선통신, 센서신호처리, 레이더시스템



**오 혁 준**

e-mail : hj\_oh@kw.ac.kr

1993년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학사)

1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학석사)

1999년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학박사)

2004년~현 재 광운대학교 전자통신공학과 교수

관심분야: 통신신호처리, 레이더신호처리, 진술통신 및 전자전