

## 자기상관이 있는 장치산업에서 공정 진단 및 부적합품을 제어모형에 관한 연구

구자환 · 조진형<sup>†</sup>

금오공과대학교 산업시스템공학과

### A Study on a Control Model for the Diagnostic and Nonconformity Rate in an Instrumental Process Involving Autocorrelation

Ja-Hwal Koo · Jin-Hyung Cho<sup>†</sup>

Department of Industrial and Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Because sampling interval for data collection tends to be short compared with the overall processing time, in chemical process, instrumental process related tanks or furnace collected data have a significant autocorrelation. Insufficient control technique and frequent control actions cause unstable condition of the process. Traditional control charts which were developed based on iid (independently and identically distributed) among data cannot be applied on the existence of autocorrelation. Also unstable process is difficult to identify or diagnose. Because large-scale process has a lot of measurable variables and multi-step-structures among data, it is difficult to find relation between measurable variables and nonconformity. In this paper, we suggested an applicable model to diagnose the process and to find relation between measurable variables (CTQ) and nonconformity in the process having autocorrelation, unstable condition frequently, a lot of measurable variables, and multi-step-structure. And we applied this model to real process, to verify that the process engineers could easily and effectively diagnose the process and control the nonconformity.

**Keywords** : Instrumental Process, Autocorrelation, CTQ(Critical to Quality), Nonconformity, Multi-Step-Structure

#### 1. 서론

근래 응용 측정기술과 샘플링 빈도의 증가로 많은 제조공정에서 나쁜 품질의 제품 생산과 관련된 비용을 감소시키기 위해 제조공정을 자동화시키고 온라인(on-line) 검사를 실시함에 따라 대부분의 제품들에 대한 관측이 가능하게 되었다. 특히, 이러한 관측에 사용되는 측정 센서들은 탱크, 반응로나 자재 흐름과 관련된 화학산업이

나 장치산업(instrumental process)에서 널리 이용되고 있다. 이러한 데이터 측정과정에서 공정의 일정한 프로세싱 시간에 비해 샘플링 빈도가 짧을 경우에는 공정의 관측치들이 자기상관(autocorrelation)을 하게 된다. 이러한 자기상관의 존재는 독립적인 관측치라는 가정하에서 개발된 관리도에서는 잘못된 결과를 초래하게 된다[1, 2, 3, 8, 9, 12]. 이 자기상관의 시간에 따른 효과는 우선 일부 모형으로 모델링함으로써 이해될 수 있으며, 그 공

정의 관리상태(control in/out) 여부에 대한 진단은 잔차를 이용해서 확인할 수 있다[10, 11]. 하지만, 공정이 거대하고 물성 변화의 측정이 어렵고 관리해야할 공정변수의 수가 대단히 많은 경우, 그 공정 자체의 진단과 관리 뿐만 아니라 많은 측정변수들과 부적합품간의 관계 규명이 어렵다. 또한 이 측정변수들은 상호관련되어 있기 때문에 핵심변수를 선정하고 그 핵심변수를 제어함으로써 공정관리를 보다 쉽고 효율적으로 하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 자기상관이 있는 장치산업에서 공정을 진단하고 그 공정의 측정변수를 통해 부적합품률을 제어하기 위한 제어모형을 제시하고자 한다.

## 2. 공정특성과 연구모형

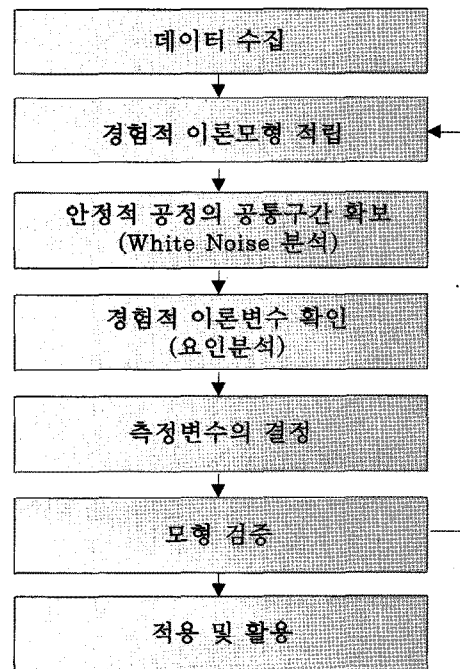
과학기술의 발전으로 열악한 환경에서도 측정 정밀도가 높고 수명이 오래가는 각종 센서들과 대형 컴퓨터 및 대용량 저장장치의 등장으로 인해 현장의 상황이 실시간으로 측정 저장되어 즉각적으로 활용가능하게 되었다. 특히 센서에서 측정되는 측정데이터의 간격이 반응속도보다 빠르면 데이터들간에 자기상관이 생기게 되며, 이는 관리도와 같은 기법의 활용을 어렵게 만든다 [1, 2, 7, 8, 9, 12]. 또한 공정이 거대하여 측정변수들이 많고 측정변수들간에 다층구조를 형성하고 있는 경우 관리의 어려움은 더 가중된다. 따라서 공정의 측정변수들간의 상관관계와 연관구조를 검증하여 명확히 할수 있다면 공정을 관리하는 데에 있어 복잡한 구조를 좀더 단순화하고, 핵심변수를 중심으로 관리함으로써 공정관리를 좀더 효과적으로 할 수 있을 것이다. <그림 1>에 공정의 데이터간에 자기상관이 존재하고, 관리를 위한 측정변수가 많고, 그 측정변수들 간에 복잡한 다층구조를 형성하고 있는 경우 그 공정을 진단하고 부적합품률을 제어하기 위한 모형(절차)을 제시하였다.

### 2.1 자료 특성

생산현장의 측정센서, PLC(programmable logic controller)와 MMI(man-machine interface) 프로그램을 통해 수집되는 데이터는 초단위로 대용량 저장장치에 자동으로 저장된다. 하지만 이렇게 측정된 대용량의 데이터를 저장하기 위한 저장장치와 측정센서를 포함한 제반 시스템 가격은 일반적으로 그 가격이 비싸고 업그레이드 주기가 짧기 때문에 기업 측면에서는 초기 투자비용은 물론이고 주기적인 업그레이드 비용도 만만치가 않다. 이는 원가상승으로 이어져 기업경쟁력을 악화시키는 요인으로

로 작용하게 된다. 이렇듯 고가의 장치를 통해 방대한 데이터가 저장장치에 실시간으로 측정과 저장을 계속하고 있지만 방대한 데이터의 이용 비율은 매우 낮은 수준이다.

우선 PLC 등을 이용한 자동 측정시스템에서 자사의 각 상황에 맞는 샘플링 빈도에 대해서 충분한 검토가 있는 후 적정 샘플링 빈도에 맞게 데이터 수집이 이루어져야 만이 측정시스템 및 자료 저장장치에 대한 대규모 투자 비용을 줄이고 이용률을 높일 수 있을 것이다. 하지만 아직까지 이러한 데이터 수집에 대한 검토나 고민이 부족하기 때문에 데이터는 초단위 이하로 수집되어 계속 대용량 저장장치에 저장이 되고 있다. 따라서 데이터의 수집단계부터 각 기업의 품질특성, 설비 특성과 운영특성 등을 고려하여 적절한 데이터 수집 주기를 합리화하는 것은 측정시스템에 대한 투자비용을 줄이고 이후 공정을 운영하면서 제품의 품질특성을 최적화하기 위한 측정변수들의 적절한 관리를 가능하게 해 준다. 일반적으로 통계적공정관리 기법을 이용하기 위해서는 어느 정도 시차를 두고 데이터를 추출하는 것이 좋다[9].

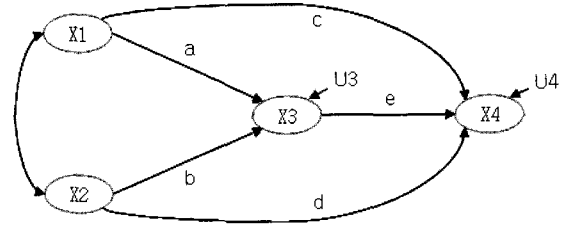


<그림 1> 부적합품률 제어모형 적용 절차

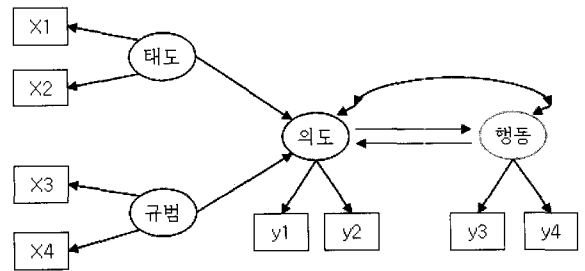
### 2.2 연구모형

6시그마와 같은 선진기법의 전파로 인해 기업의 생산현장에서도 생산성과 품질향상을 위해 통계적 관리기법들을 배우고 적용해 왔다. 그 중에서도 활용도가 높은

것이 회귀분석이다. 회귀분석은 2개 이상의 예측변수와 결과변수를 동시에 고려할 수 있는 강점을 가지고 있다. 회귀분석은 하나의 결과변수(품질불량)만을 고려할 수 있다는 단점도 있다. 여러 개의 결과변수와 예측변수를 동시에 고려할 수 있는 기법으로는 정준분석(canonical analysis)법이 있다. 회귀분석과 경로분석의 차이를 <그림 2-1>을 이용하여 설명을 하면, 식 (1)과 식 (2)를 도형으로 표시하면 <그림 2-1>과 같은 도형이 된다. 식 (2)를 고려하지 않고 식 (1)에 의해서 세 개의 예측변수가 한 개의 결과변수에 가지는 직접효과만을 설명하고자 할 경우, 이는 전통적인 회귀분석이 된다. 그러나 다수의 회귀식들(예컨대 식 (1)과 식 (2))이 서로 연결된 상태에서 변수들간의 관계를 설명하고자 하면 이는 경로분석이 된다. 또한 다수의 회귀식이 동시에 얽혀 있으므로 계량경제학(econometrics)에서는 동시방정식모델(simultaneous equations model)이라고도 한다. 경로분석에서는 모든 변수들간의 이론적으로 필요한 경로들을 일단을 모두 고려 대상에 넣는 반면 회귀분석은 모든 예측변수들이 결과변수에 대해 가지는 직접효과만을 대상으로 한다[6]. 하지만 공정변수들에 자기상관이 존재하고 변수들간에 상관도가 높고 다층구조(경로)를 형성하고 있는 많은 장치산업에서는 그 구조를 설명하기 위해서는 회귀분석, 정준분석이나 경로분석만으로는 설명할 수가 없는 부분이 있다. 즉, 여러 개의 결과변수(불량항목)가 있고, 공정간의 다층구조(경로)를 형성하고, 여러 개의 측정변수들이 모여서 잠재변수를 가지는 경우에는 회귀분석, 정준분석이나 경로분석만으로 분석하기는 무리가 있다는 뜻이다. 여기서 이러한 다변량 다중회귀모형에 다층구조(경로)를 형성하고 있는 장치산업은 많이 존재한다. 예를 들면, Glass Furnace, Crystal Grower, Semiconductor Oxiding, 연신용 Chamber(tenter), Sputtering 등을 가진 공정들이 대표적이다. 이러한 다층구조(경로)를 갖는 다변량다중인과모형을 공변량구조모형이라 한다[4, 6]. 회귀분석법, 정준분석법과 공변량구조모형의 차이점을 <표 1>에 간략히 나타내었다.



<그림 2-1> 경로도형의 예[6]



<그림 2-2> 공변량구조모형의 예[6]

$$X4 = c \cdot X1 + d \cdot X2 + e \cdot X3 + U4 \quad (1)$$

$$X3 = a \cdot X1 + b \cdot X2 + U3 \quad (2)$$

실제 생산현장에서는 공정변수들의 적절한 운영을 통해 부적합품률과 같은 생산지표를 효과적으로 관리하는 것이 중요하다. 이에 부적합 항목들과 공정변수들간의 구조를 설정하고 규명하는 것이 관리의 출발점이 된다. 따라서 공정의 특성과 구조를 충분히 이해하고 검토가 있는 후 경험적 모형을 구축하고, 그 모형에 대한 검증 작업을 수행하고 구축된 모형을 이용하여 공정변수들의 관리에 활용하여야 한다. 따라서 산업 혹은 공정에 따라 그 구조적 모형은 다양할 수 있다. 공정을 관리하는 관리자나 엔지니어는 우선 경험적 지식을 토대로 경험적 모형을 정립하는 것이 좋다.

<표 1> 회귀, 정준, 경로 및 공변량구조모형 비교

구 분	예측 변수	결과 변수	다층구조 설명	잠재 변수
회귀모형	2개 이상	1개	×	×
정준모형	2개 이상	2개 이상	×	×
경로모형	2개 이상	2개 이상	○	×
공변량구조 모형	2개 이상	2개 이상	○	○

### 3. 장치산업에서 공변량구조모형 적용방법

#### 3.1 단계 1 : 공통 구간 확보(White Noise 분석)

데이터의 샘플링 빈도가 반응속도보다 짧을 경우 데이터간에 자기상관이 발생하게 되어 iid(independently and identically distributed)를 가정으로 하는 통상적인 통계 분석방법을 적용하는 것은 무리가 있다. 따라서 Box and Jenkins 등은 수학적 시계열 모델링을 통한 예측모형을

수립하여 활용하는 방안을 소개하였고, 이후로 많은 분야에서 이 모형을 이용하고 있다[10]. 하지만 많은 제조 공정에서는 현장 엔지니어의 잦은 조치와 공정설계시 환경변수와 같은 중요한 변수를 고려하지 못한 결과로 인해 시계열 모델링이 쉽지 않다. 따라서 단계 1에서는 ARIMA(autoregressive integrated moving average) 모형 구축 절차의 I(identification)단계에서 수행하는 White Noise 분석(공정의 안정여부 확인)을 이용하여 각 변수들의 White Noise 구간(안정된 구간)의 형성구간을 확인하고 많은 변수를 포함하는 공통된 White Noise 구간을 확보한다[19, 12]. 이때 White Noise 구간에 포함되는 데이터수는 200개 이상이면 좋다[4, 6]. 여기서 200개 이상의 데이터가 좋은 이유는 경험적 이론모형을 검증하기 위해서 필요한 적절한 데이터의 수이며, 또한 공정변수들의 다중구조와 부적합품률과의 관계를 설명하기에 무리가 없을 정도의 기간 데이터를 의미하는 것이다.

### 3.2 단계 2 : 경험적 이론변수의 정립

앞서 정립된 경험적 이론모형에서 이론변수의 구성이 합당한지를 확인하기 위해 다변량분석기법의 하나인 요인분석(factor analysis)기법을 이용한다. 이때 측정변수들 간에도 상관관계 혹은 다중공선성이 존재할 수 있기 때문에 이를 최소화하기 위해서 회전방식을 직각회전으로 수행하는 것이 좋다. 많은 산업 현장에서는 공기단축 및 조기양산 등의 이유로 설계에서 양산까지의 충분한 검토와 검증을 거치지 못한 상태에서 각종 측정장치나 기구가 무분별하게 설치되는 경우가 많다. 또한 생산공정은 이러한 측정장치나 기구에서 수집되는 데이터를 기초로 하여 공정관리를 수행하게 된다. 따라서 이들 공정변수들 중 많은 변수들이 다중공선성 및 상관관계를 가지고 있다. 이렇게 요인분석을 통해 이론변수들의 구성이 합당하다고 판단되면 다음 단계3을 수행한다.

### 3.3 단계 3 : 측정변수의 결정

경험적 이론모형에서 이론변수의 구성이 합당한 것으로 확인이 되었다면, 이제는 이론변수를 설명하기 위한 측정변수를 결정하여야 한다. 단계2에서 요인분석을 수행한 결과에서 한 이론변수 내에는 여러개의 측정변수들이 존재하게 된다. 이때 측정변수의 선택은 두 가지 사항을 고려하여 결정을 하는 것이 바람직하다. 첫째, 현장전문가의 경험과 판단을 고려하여야 한다는 것이다. 실제 현장에서는 이 측정변수들 전체 혹은 개개를 확인하여 조치를 취하고 있지만 이 중에서도 특히 경험상 중요한 핵심변수가 존재한다는 것이다. 이를 무시하

고 단지 통계적 기법에 의존하여 변수를 결정하는 것은 바람직하지 않기 때문이다. 둘째, 한 이론변수의 측정변수들간에 다중공선성 혹은 상관관계의 정도를 고려하여야 한다는 것이다. 만약 하나의 이론변수내의 측정변수들간에 상관관계가 높은 경우 완전구조모형을 검증하는데 문제가 발생하기 때문이다. 또한 측정변수가 너무 많은 경우 실제 현장에서 이를 재현하는데도 어려움이 있기 때문이다. 하나의 이론변수내의 측정변수의 수는 2~4개 정도를 추천한다[4, 5, 6].

### 3.4 단계 4 : 모형 검증

이론변수간의 구조를 설명하는 이론모형과 이론변수를 설명하는 측정변수를 포함하는 측정모형으로 구성된 경험적 이론모형, 즉 완전구조모형(full structural model)을 구축하고, 이 완전구조모형에 대한 검증 분석 작업을 수행한다. 이때 완전구조모형의 분석에서 수렴을 하여야 모형을 채택할 수 있다. 모형이 수렴하지 않을 때는 약간의 모형 변형을 통하여 수렴하는 모형을 탐색 채택할 수도 있다. 이때 완전구조모형이 수렴하는 경우 적합도를 참조하여야 하며, 어느 정도 적합도가 높게 나와야 재현성의 여부를 판단할 수 있다. 특히, 완전구조모형이 수렴하지 않을 때, 약간 변형된 완전구조모형으로 수렴을 시킬 경우 현장전문가의 경험적 판단을 중요하게 고려하여야 한다.

### 3.5 단계 5 : 모형의 적용 및 활용

채택된 모형을 실제 현장에서 적용하여 활용하기 위해서는 다소 불편하지만 좀더 안전성을 확보하기 위해 타당성 분석 혹은 시뮬레이션을 수행해 보는 것이 바람직할 것이다. 안전성을 확보하기 위해 수행하는 타당성 분석 방법에는 두 가지가 있다. 첫째, 동일한 시점에서 수집한 데이터를 절반은 모형식별에 활용하고 나머지 데이터를 이용하여 모형 확인 분석을 수행하는 것이다. 이 방법은 데이터의 수집이 어려운 경우에 적합하다. 둘째, 시간적으로 다른 시점의 데이터를 확보하여 채택된 모형을 확인 분석하는 것이다. 이 방법은 데이터 수집이 용이한 경우에 적합하다. 타당성이 확보되면 모형내의 이론변수를 중심으로 핵심변수(CTQ)를 이용하여 공정관리에 적용 및 활용한다.

## 4. 사례

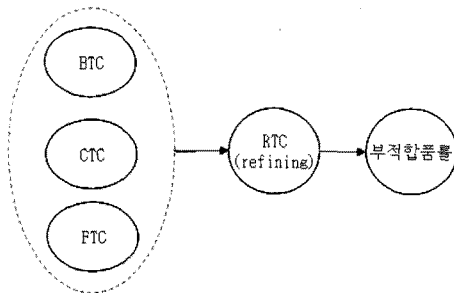
전형적 거대 장치산업의 하나인 “Glass Furnace” 공정

예를 통해 부적합품률 제어모형 적용 사례를 소개한다.

#### 4.1 자료 수집과 모형 정립

부적합품률을 제어하기 위해 공정에서 측정 및 관리 되는 변수는 모두 22개로 이루어져 있다. 물론 환경적 변수들도 존재하지만 제어 불가능하다고 판단되어 분석에서 제외하였다. 따라서 부적합품률과 공정 측정변수 22개를 대상으로 샘플링 간격을 1시간으로 하여 약 1개월치 700개의 데이터를 수집하였다. 그 이유는 데이터 간의 자기상관을 최소화하고 실제 현장에서 조치 시간 간격을 고려하여 시차를 1시간(60분)으로 정하였다.

현장 전문가들(엔지니어, 작업자 등)의 도움을 받아 브레인스토밍(brainstorming)을 실시하였고, 경험적 이론모형을 수립하기 위해 각 이론변수를 설정하였다.



〈그림 3〉 경험적 이론모형

이론변수 중 외생변수로는 FTC(front thermo-couple), BTC(bottom thermocouple)와 CTC(crown thermocouple)로 정하였고, 내생변수로는 RTC(refining thermocouple)과 부적합품률로 정하였다. 이를 통해 수립한 경험적 이론모형을 <그림 3>에 나타내었다.

#### 4.2 공통 구간 확보(단계 1)

수집된 1개월(30일)간의 약 700개의 데이터를 이용하여 모든 측정변수들에 대해 White Noise 구간 확인 분석을 실시하였다. White Noise 분석을 위해 SAS 9.1 소프트웨어를 이용하였다. 그 결과는 <부록 1>에 나타내었다.

#### 4.3 경험적 이론변수의 정립(단계 2)

단계 3에서 White Noise 분석결과에서 모든 측정변수들에 대해 공통된 White Noise 구간(230~440)을 설정하였다. 이 공통된 White Noise 구간(230~440)의 211개의 데이터를 활용하여 경험적 이론모형에서 수립한 이론변

수의 확인을 위해 요인분석(factor analysis)을 실시하였다. 소프트웨어는 SPSS 12를 이용하였다. 요인분석결과 는 <부록 2>와 같다.

#### 4.4 측정변수의 결정(단계 3)

단계 2의 요인분석을 통해 확인된 각 이론변수(요인)에서 변수간 상관정도(통계적 분석결과 고려사항)와 중요도(경험적 고려사항)를 검토하여 측정변수를 2~3개로 압축 선정하였다.

#### 4.5 모형 검증(단계 4)

앞서 단계 2에서의 이론모형과 단계 3에서 선정된 측정변수를 종합하여 부적합품률 제어모형을 구축하였다(<그림 4> 참조). 이 부적합품률 제어모형에 대한 검증을 위해 LISREL 8.3을 사용하였으며, 공분산행렬을 이용하여 모형에 대한 검증을 실시하였다(<부록 3> 참조). 최종적으로 수립된 모델의 적합지수를 <표 2>에 요약하였다. 검증결과를 보면, 카이제곱( $\chi^2$ ) 통계량은 표본공분산행렬과 적합행렬의 차이정도를 나타내는 값으로 카이제곱( $\chi^2$ ) 통계량은 크고 확률값이 작아 그 적합정도가 떨어지고 있다. 하지만 확률값이 낮아도 모델이 잘 적합되지 않았다고 확인적으로 말할 수는 없다[4]. 또한 기초부합치(GFI)는 통상 0.9이상일 때 모델이 잘 적합되었다고 판단하지만 이는 절대적인 기준은 아니다. 충분한 경험과 이론에 근거해 모델을 설정하였다고 판단할 수 있을 때는 기초부합치(GFI)가 다소 낮더라도 모델을 채택하는데는 무리가 없다[7]. AGFI는 회귀분석에서 조정된 다중상관계수(Adjusted- $R^2$ )와 비슷하게 해석되는 수치이다. RMR 값은 잔차공분산행렬을 이용하여 계산되기 때문에 그 값이 작을수록 좋으며 그 값은 0.2이하일때 좋다[4, 7]. 본 연구에서는 0.63으로 0.2보다는 크게 나타났다. 하지만 RMR은 분석되는 표본자료의 측정단위들에 의해 좌우된다[4, 6]. 분석에 사용된 측정값은 온도로서 1000℃ 이상의 데이터로 되어 있기 때문에 측정단위에 영향을 받는다고 판단된다. 이론모델의 부합정도가 다소 떨어지고 있지만, 실제 현장에서는 제품의 공정간 이동 중 유실되는 부분과 재작업이 존재하고, 현재 공정의 중요변수 중 제어가 불가능한 외란이 존재하기 때문에 부합도가 떨어진다고 판단하였다. 모델 수립

〈표 2〉 부적합품률 제어모형 검증결과

$\chi^2$	df	P값	GFI	AGFI	RMR
275.7	58	0.0	0.80	0.68	0.63

정도, 기초부합치 그리고 실제 전문가의 관리 및 조치 경험에 토대로 구조모형이 성립한다고 결론을 내렸다.

4.6 모형의 적용 및 활용(단계 5)

부적합률제어 모형 분석 결과 FTC는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 FTC는 맨 앞쪽 공정의 측정변수들로서 외기의 영향을 가장 많이 받으며, 완제품으로의 물성 변화가 이루어지기 시작하는 공정으로서 완제품의 품질에 직접적으로 영향을 미치는 RTC에 영향이 거의 없다고 해석된다. RTC는 BTC, CTC와 부적합률과의 중간에서 매개역할을 하고 있는 것으로 나타났으며, RTC는 BTC와 CTC는 영향을 받고 있다. 따라서 부적합률을 제어하기 위해서는 RTC를 직접적으로 관리해야 하며, RTC는 BTC와 CTC를 관리해야 한다.

BTC, CTC와 RTC는 많은 측정변수를 모두 관리할 것이 아니라 BTC는 BTC10, BTC16, BTC21을 핵심변수(CTQ)로 선택하고, CTC는 CTC2, CTC4, CTC6을 핵심변수(CTQ)로 선택하고, 그리고 RTC는 CTC9, BTC22를 핵심인자(CTQ)로 선택하여 집중 관리함으로써 부적합률을 좀더 쉽고 효과적으로 제어할 수 있다. 부적합률 제어 모형분석에 사용한 공분산행렬은 <부록 2>를 참조 바란다.

검증된 <그림 4>의 모형에서 많은 공정변수들은 아래와 같은 모델로 설명될 수 있으며, 공정관리자는 이 모델을 기초로 부적합률 제어방안을 수립하여 공정관

$$1) \text{부적합률}(BL1, BL2, BL3) = f[RTC(CTC9, BTC22)]$$

$$2) \text{RTC}(CTC9, BTC22) = f[BTC(BTC10, BTC16, BTC21), CTC(CTC2, CTC4, CTC6), FTC(BTC11, BTC13)]$$

5. 결론 및 향후 연구과제

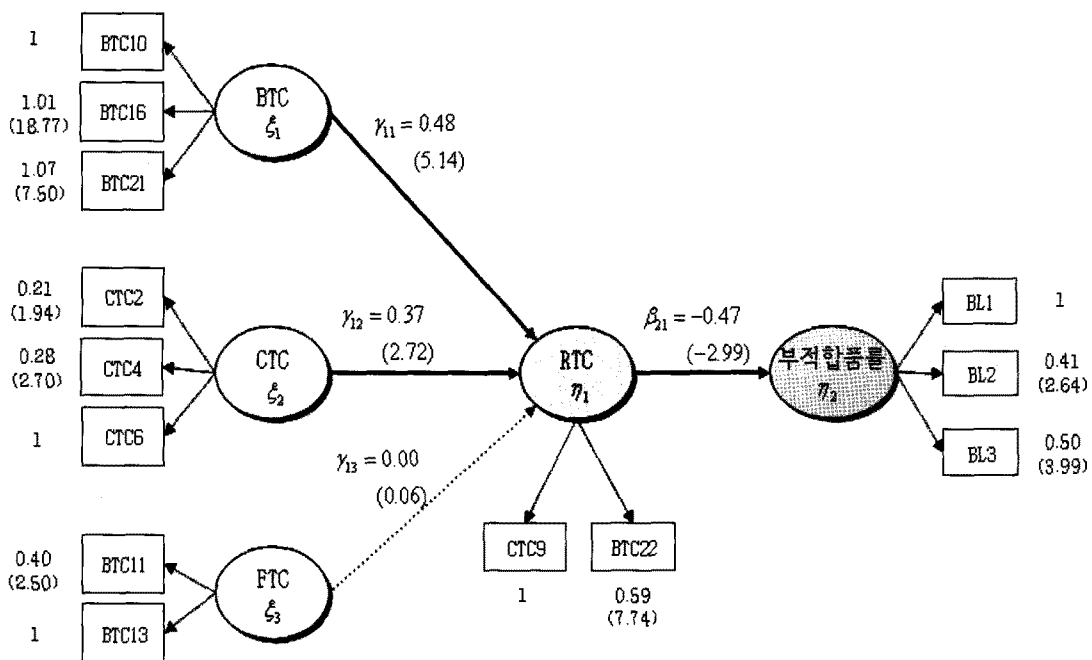
아직까지 장치산업의 많은 현장에서는 작업자와 엔지니어의 경험을 우선하여 생산조건을 자주 바꾸는 등의 기준없는 관리가 계속되고 있는 것이 현실이다.

본 연구의 성과를 몇 가지 나열하면 다음과 같다.

첫째, 자기상관이 존재하여 일반 관리도를 적용하기에 다소 무리가 있는 거대 장치산업의 공정에서 공정을 진단하고 부적합률을 제어할 수 있는 한 모형을 제시하였다는 것이다.

둘째, 측정변수가 많고, 변수들간의 상관 정도가 높고, 변수들간에 다층구조를 가지고 있는 경우, 단계별 중요 핵심변수(CTQ)를 선정하여 이용함으로써 부적합률 제어를 위한 간소화 방안을 제시하였다는 것이다.

셋째, 경험에 의존한 감각적 관리에 의존하던 관리방법을 제안모형 개발을 통해 자동제어에 활용할 수 있다



<그림 4> 부적합률 제어모형의 분석결과

는 것이다.

하지만, 본 연구에서 제안한 부적합품률 제어모형을 적용하여 활용하는 데는 약간의 주의사항을 필요로 한다. 경험적으로 검증된 제어모형이라 할지라도 장치산업의 양산공정에서 바로 적용하는 것은 위험하다. 따라서 관련 시뮬레이션 등을 통해 좀 더 많은 검토를 통해 적용하여야 할 것이다. 또한 이러한 근본적인 관리의 문제를 해결하기 위해서는 주변 환경인자 등을 고려한 주변관리(ambient control)에 대한 검토와 시뮬레이션(대류, 전도 등) 등을 충분히 실시하여 공정 및 설계시에 반영하는 것이 훨씬 효과적일 것이다.

향후 연구과제로는 검증된 부적합품률 제어모형을 생산공정의 자동화에 반영하기 위한 구체적인 적용방안과 모형에 대한 추가적인 연구와 방법의 제시가 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 구자활; “자기상관 있는 공정에서 공정진단과 관리방법에 관한 연구”, 석사학위논문, 금오공대, 1999.
- [2] 김대현; “장치산업에서 효율적인 부적합품을 제어모형에 관한 연구”, 석사학위논문, 금오공대, 2009.
- [3] 박치형; “통계적 공정관리와 자동공정제어의 특성과 결합에 관한 연구”, 석사학위논문, KAIST, 1992.
- [4] 배병렬; “LISREL 구조방정식 모델”, 도서출판 청람, 2006.
- [5] 이기중; “구조방정식모형 사용의 허와 실”, 교육평가연구, 16(1) : 1996.
- [6] 이순목; 공변량구조분석, 성원사, 1990.
- [7] 장도수; “장치공정에서 설비 주변 환경관리에 관한 연구”, 박사학위논문, 금오공대, 2006.
- [8] 정종원; “용해로온전에서 Setting 고정(4M 표준화)의 효율적 방안”, 석사학위논문, 금오공대, 2006.
- [9] 조진형; “A Diagnostic Method of Control- in/out in the Glass Furnace,” 산업경영시스템학회, 30(1) : 2007.
- [10] George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel; Time Series Analysis Forecasting and Control, Prentice Hall, 1994.
- [11] Ih Chang, George C. Tiao, Chung Chen; “Estimation of Time Series Parameters in the Presence of Outliers,” Technometrics, 30(2) : 1988.
- [12] Jin-Hyung Cho, Sung-Ho Chang, Sae-Jae Lee, Do-Soo Jang, Jung-Yul Suh, Hyun-Seung Oh; “Using Ambient Control to Prevent External Disturbances in Large-scale Furnace,” 한국산업경영시스템학회, 29(2) : 2006.

<부록 1> White Noise 구간 분석 결과

구분		100	200	300	400	500	600	700
1	CTC2		_____	_____	_____	_____		
2	CTC3		_____	_____	_____	_____		
3	CTC4		_____	_____	_____	_____		
4	CTC5		_____	_____	_____	_____		
5	CTC6		_____	_____	_____	_____		
6	CTC7		_____	_____	_____	_____		
7	CTC8		_____	_____	_____	_____		
8	CTC9		_____	_____	_____	_____		
9	CTC10		_____	_____	_____	_____		
10	BTC11		_____	_____	_____	_____		
11	BTC12		_____	_____	_____	_____		
12	BTC13		_____	_____	_____	_____		
13	BTC15		_____	_____	_____	_____		
14	BTC16		_____	_____	_____	_____		
15	BTC17		_____	_____	_____	_____		
16	BTC18		_____	_____	_____	_____		
17	BTC19		_____	_____	_____	_____		
18	BTC20		_____	_____	_____	_____		
19	BTC21		_____	_____	_____	_____		
20	BTC22		_____	_____	_____	_____		
21	BTC24		_____	_____	_____	_____		
22	BTC25		_____	_____	_____	_____		

<부록 2> 요인 분석 결과

성분	1	2	3	4
BTC12	<b>0.9323</b>	0.0877	-0.0052	-0.0859
BTC17	<b>0.8680</b>	0.3425	0.0581	-0.1290
BTC16	<b>0.7570</b>	0.4580	0.1377	0.1170
BTC10	<b>0.7252</b>	0.1559	0.2591	0.4608
BTC18	<b>0.7067</b>	0.0203	0.0546	0.2825
BTC21	<b>0.7000</b>	0.2819	-0.2461	-0.1564
BTC20	<b>0.6144</b>	0.4543	0.1498	-0.0298
BTC25	0.1783	<b>0.9264</b>	0.0249	0.0612
CTC9	0.2598	<b>0.9548</b>	0.1947	0.1751
BTC24	0.4262	<b>0.8279</b>	-0.0835	0.1546
BTC22	0.1597	<b>0.7901</b>	-0.1918	-0.1803
BTC19	0.5763	<b>0.7435</b>	-0.1270	0.1696
CTC5	0.0068	-0.0907	<b>0.8476</b>	-0.1177
CTC4	-0.1172	-0.2270	<b>0.8416</b>	-0.1407
CTC6	0.2016	0.4418	<b>0.8254</b>	0.0680
CTC8	0.1227	0.4925	<b>0.7912</b>	0.1733
CTC3	0.0389	-0.2931	<b>0.7620</b>	0.4157
CTC7	0.1444	0.5773	<b>0.7591</b>	0.0426
CTC2	0.0879	-0.4365	<b>0.6890</b>	0.3720
BTC11	0.1068	0.1417	0.1358	<b>0.9273</b>
BTC13	0.5340	0.0682	0.2774	<b>0.6716</b>
BTC15	0.6422	0.2306	0.1789	<b>0.6585</b>

<부록 3> 공분산행렬표]

3.390
0.865 0.821
0.537 0.334 0.530
-0.279 -0.088 0.433 1.095
0.831 0.050 0.436 0.568 1.747
1.191 0.003 0.401 0.667 1.574 4.363
-0.008 0.301 0.382 0.232 0.483 -1.810 3.035
-0.104 -0.072 0.325 0.651 0.977 0.619 0.760 0.922
-0.972 -0.680 0.168 0.786 0.890 -0.501 1.018 1.123 4.650
-0.874 -0.316 0.161 0.676 0.243 -0.129 0.468 0.403 0.893 1.280
0.269 0.035 -0.190 -0.633 -0.337 -0.663 0.046 -0.304 -0.525 -0.216 5.171
-0.707 -0.258 -0.148 0.069 -0.107 -0.290 -0.127 0.004 0.299 0.398 0.058 1.439
-0.095 -0.141 0.116 0.280 -0.372 -0.535 0.264 0.050 0.373 -0.046 -0.247 0.100 3.613