

# 통계적 공정 제어에 전문가 시스템의 적용에 관한 연구

## Applying an Expert System to Statistical Process Control

윤건상\* (성균관대 대학원), 김훈모 (성균관대 기계공학부), 최문규 (성균관대 대학원)

G. S. Yun (Graduate School, S.K.K. Univ.), H. M. Kim (S.K.K. Univ.)

M. K. Choi (Graduate School, S.K.K. Univ.)

### ABSTRACT

Statistical Process Control (SPC) is a set of methodologies for signaling the presence of undesired sources of variation in manufacturing processes. Expert System in SPC can serve as a valuable tool to automate the analysis and interpretation of control charts. In this paper we put forward a method of successful application of Expert System to SPC in manufacturing process.

**Key Words :** Statistical Process Control(통계적 공정 제어), Semiconductor(반도체), Control Chart(관리도), Expert System(전문가 시스템)

### 1. 서 론

제조 현장에 있어서 통계적 공정 제어(statistical process control)는 '끊임없는 개선'을 기본 사고로 불량품이 생산 과정에서 발생되기 전에 생산 공정을 올바르게 관리하여, 불량 발생을 원천적으로 봉쇄함으로써 제조업체의 주요 지수인 품질(quality)을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 궁극적으로 통계적 공정 제어는 생산성을 향상시킬 뿐 아니라 제조 공정의 안정화에 도움이 된다.

그러나 실제 현장에서의 통계적 공정 제어는 단지 관리도(control chart)를 이용한 제품 품질의 모니터링 도구로써 사용되고 있을 뿐이다. 이러한 한계를 극복하고자 기존의 연구는 통계적 공정 제어에 각종 인공지능 이론을 적용하였다.

전문가 시스템(expert system)은 통계적 공정 제어에 있어서 가장 유용한 도구로 인식<sup>(1,2,3)</sup>되고 있으며 관리도의 해석과 이상 원인(assignable cause)을 추론할 때 숙련된 엔지니어의 판단에 근접한 결과를 출력한다. 지금까지 제조업을 위한 통계적 공정 제어에 대한 논문은 주로 이상 상태에 대한 원인 규명을 생산 장비의 상태에서만 찾으려 하였다. 그러나 실제 현장에서는 장비 외적인 요인에 의한 이상 상태 원인 규명이 보다 어렵고 품질에 치명적인 경우가 많다. 협업 엔지니어가 이상 원인을 추론할 때 판단의 기준이 되는 정보는 장비의 각종 입력 변수뿐만 아니라 생산 시점의 작업 환경 그리고 관리도의

분석 결과를 종합적으로 판단하여 최종 결론을 내리고 있다. 그러나 통계적 공정 제어에 전문가 시스템을 적용하였던 기존 연구들은 단순히 장비의 상태를 지식 베이스(knowledge base)화 하는 수준에 머물러 있을 뿐이다. 따라서 실제 생산 현장의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 공정 분석 프로그램(process analyzer)을 개발하고 이를 전문가 시스템에 연동하여 보다 강력한 통계적 공정 제어를 실현하도록 한다.

논문의 구조는 2장 통계적 공정 제어 활동의 문제점에 대하여 서술한다. 3장 문제점을 해결하기 위한 공정분석 프로그램의 개발과 전문가 시스템의 적용에 대하여, 4장은 실제 적용 사례, 5장 결론 및 향후 연구과제의 순서로 이루어져 있다.

### 2. 통계적 공정 제어 활동

관리도를 사용한 통계적 공정 제어 활동에 있어서 다음과 같은 문제점이 되풀이되는 것으로 조사<sup>(9)</sup>되었다.

#### (1) 재발 방지를 고려하지 않음

관리도는 이상이 발생되면 그 원인을 규명하고 그것을 제거할 수 있는 조치를 취하며 재발 방지를 도모하는 것이 목적<sup>(7)</sup>이다.

## (2) 관리 한계내의 이상을 무시

관리 상태는 관리도의 데이터가 모두 관리 한계내에 있고, 또한 일정한 패턴을 갖지 않아야<sup>(4)</sup> 한다.

### 2.1 재발 방지를 고려하지 않는 문제점

현업의 전문 엔지니어는 자신의 노하우(know-how)를 문서화하는데 매우 수동적이다. 통계적 공정 제어 활동이 한 두 사람을 중심으로 진행되는 현상이 나타나게 되면, 현장의 작업자들이 공정의 상태를 신속히 파악하고 이상 원인을 분석하는 데에 한계를 갖게 된다. 결과적으로 엔지니어들이 공정에 대한 지식을 습득하는데 많은 시행착오를 필요로하게 된다.

통계적 공정 제어 활동의 이러한 문제점을 해결하기 위한 시스템의 개발이 필요하다.

### 2.2 관리 한계내의 이상을 무시하는 문제점

샘플 데이터(sample data)가 일정한 패턴을 나타내어도 이상 원인이 없다고 판단하는 오류는 생산 공정이 방대하고 공정 변수가 많이 있을 때 흔히 발생한다. 관리도의 특정한 패턴을 파악하는 데는 오랜 시간이 요구되며, 이상 원인을 분석하는 것은 생산 장비 외에도 폭넓은 조사를 필요로 한다.

위의 사항을 보완하기 위해 분석 데이터를 수집하고 여러개의 관리도를 비교 분석할 수 있게 해주는 소프트웨어의 개발이 요구된다.

## 3. 전문가 시스템의 적용

### 3.1. 전문가 시스템의 개발

일반적으로 제조 현장의 숙련된 엔지니어가 지닌 노하우(know how)는 회사의 중대한 무형 자산이다. 반면 그들의 축적된 지식을 이용하는데는 상당한 어려움이 따르고 있는 실정이다. 전문가들의 노하우는 상당한 회소성을 가지고 있으나, 반면 그들의 전문성을 공유하는 점에 있어서는 지금까지 많은 한계<sup>(5), (6)</sup>가 있었다. 특히 관리도의 이탈점 처리에 대한 방대한 지식은 소수 엔지니어만이 보유하고 있음으로 인해 제조 현장에서 발생하는 크고 작은 품질 사고에 신속히 대응하지 못하는 원인이 되어 제품 품질을 악화시키고 있다. 이에 대하여 본 연구에서는 통계적 공정 제어 활동에서 발생하는 이탈점 처리 과정을 지식 베이스화하여 이탈의 원인을 신속히 분석하고 효율적인 현장 관리 체계를 실현하도록 한다. 전문가 시스템 구축을 통하여 다음의 사항을 기대할 수 있다.

- 전문 엔지니어들의 지식을 집대성
- 개개인의 차이에 의한 판단 착오를 줄임
- 이탈 발생시 공정 분석 시간을 대폭 단축
- 문제의 원인을 체계적으로 분석 가능
- 분석 결과를 공유 가능한 지식으로 축적

### 3.2. 공정분석 프로그램의 개발

통계적 공정 제어에 전문가 시스템을 적용한 연구는 모든 문제를 전문가 시스템을 사용하여 해결하려는 경향이 있다. 그러나 엔지니어의 추상적인 지식을 전문가 시스템으로 구축하는 것이 일반적인 절차형 프로그래밍보다 어려운 경우도 종종 발생한다.

따라서 본 연구에서는 공정 분석 프로그램을 개발하도록 한다. Fig. 1은 공정 분석 프로그램의 자료 흐름도이며, 주요 기능은 엔지니어가 관심있는 공정의 정보를 수집하여 차트를 생성하고 이를 바탕으로 공정을 분석하도록 하는 것이다.<sup>(10)</sup>

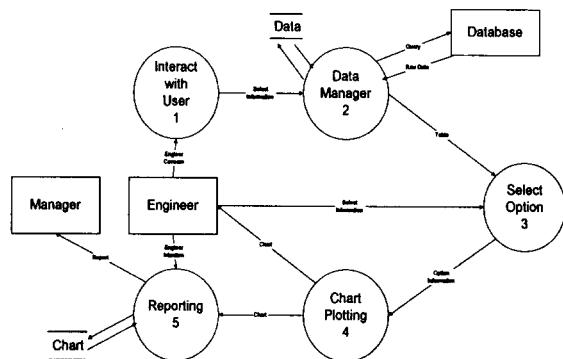


Fig. 1 Data flow diagram of process analyzer

### 3.3. 공정분석 프로그램과 전문가 시스템의 연동

일반적으로 통계적 공정 제어 활동에서는 제품이 생산 장비를 통해 만들어진 즉시 계측 공정으로 옮겨진다. 계측 공정에서는 각 계측 장비별로 통계적 공정 제어 활동을 수행한다.<sup>(4), (7)</sup> 만일 관리도상에 이탈이 발생하면 그에 대한 원인을 찾기 위해 관련된 데이터를 공정 분석 프로그램을 통해 수집하고 가공하여, 일차적으로 엔지니어가 이상 원인을 추측한다. 이탈 현상과 분석가의 추측은 전문가 시스템의 입력으로 사용되어 지식 베이스를 이용한 검증을 거쳐 보다 정밀한 원인을 찾아낸다. Fig.2의 공정 분석 프로그램과 전문가 시스템을 통합한 시스템은 기존의 전문가 시스템만을 사용한 방식 보다 다음과 같은 두 가지 장점을 갖는다.

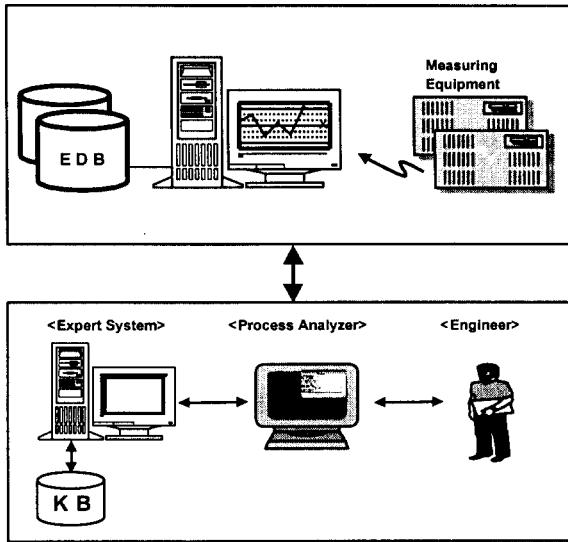


Fig. 2 Integrating Process analyzer with expert system

첫째 지식 추출의 부담을 경감시켜 준다는 점이고, 둘째 공정 분석 프로그램의 결과를 전문가 시스템의 입력으로 사용하므로 보다 강력한 추론이 가능하다는 것이다.

#### 4. 반도체 공정에의 적용 사례

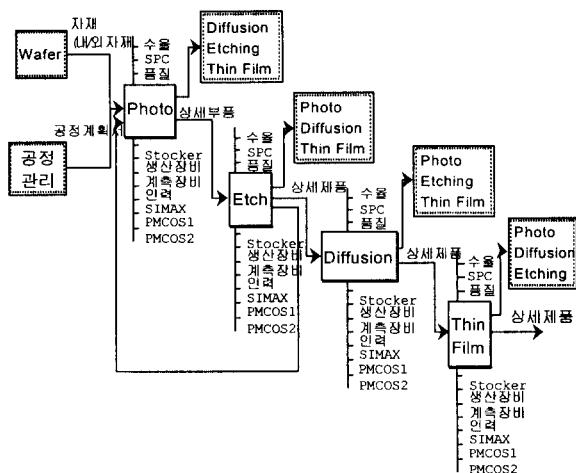


Fig. 3 IDEF modeling of semiconductor fab

위의 Fig. 3은 반도체 주요 제조 공정의 IDEF 모델이다. 웨이퍼에 회로를 형성하는 데는 다수의 복잡한 공정이 필요하다. 공정 단계는 회로의 형태와 복잡도에 따라 다르지만 기본적으로 다음의 세 가지 동작이 적용<sup>(8)</sup>된다.

#### ● 막(膜) 형성

여러 종류의 박막을 웨이퍼 표면에 성장시킴

#### ● 패턴 형성

웨이퍼로부터 박막을 선택적으로 제거

#### ● 이온 주입

전기적 성질의 변화를 위해 Dopant를 첨가

이 중 수율에 가장 큰 영향을 미치는 공정은 패턴 형성에 관한 것이다. 구체적으로 사진 식각 공정 (photolithography)이라고 하며 세부적인 내용은 다음과 같다.

- ① PR(Photoresist) Coating
- ② Soft Bake
- ③ 정렬(alignment), 노출(exposure)
- ④ 현상(development)
- ⑤ Hard Bake
- ⑥ 현상 검사(develop inspection)
- ⑦ 식각(etching)
- ⑧ PR(Photoresist) Stripping
- ⑨ 식각 검사(etch inspection)

Fig. 4는 반도체 제조 공정에 적용된 공정 분석 프로그램과 전문가 시스템의 자료 교환에 대한 개략도이다.

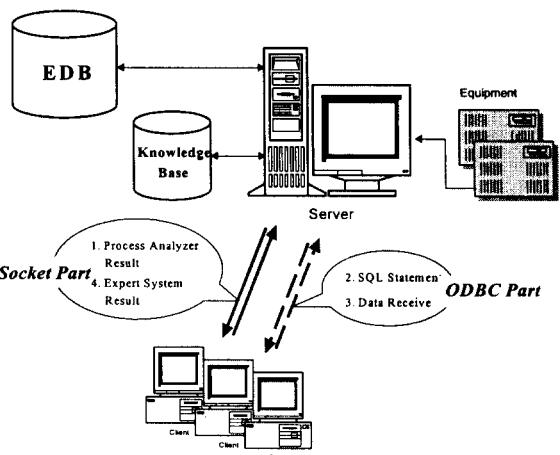


Fig. 4 Data exchange method

통계적 공정 제어 활동의 관리도에 이상 현상이 발생하면 곧바로 공정 분석을 사용하여 이상 원인을 조사한다. 보다 상세한 분석을 위해 엔지니어가 데이터를 요청하고 이를 바탕으로 공정 분석 프로그램의 결과를 검증하게 된다. Fig. 5는 ADI-CD(After Development Inspection Critical Dimension)값에 대한 공정 분석 프로그램 (process analyzer)의 화면이다. 만일 공정 분석 프로그램의 결과가 실제 공정에서 효과를 나타내지 못할 때는 공

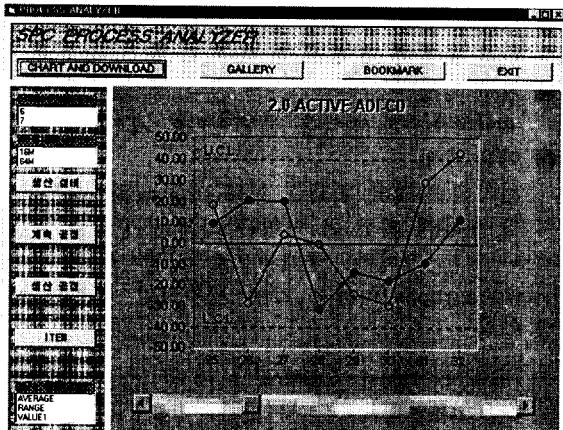


Fig. 5 Main screen of process analyzer

정에 결합이 있다고 가정하고 전문가 시스템을 사용하여 제조 환경에 의한 이상원인을 찾아낸다. Fig. 6은 제조 환경에 대한 샘플 규칙(sample rule)이다.

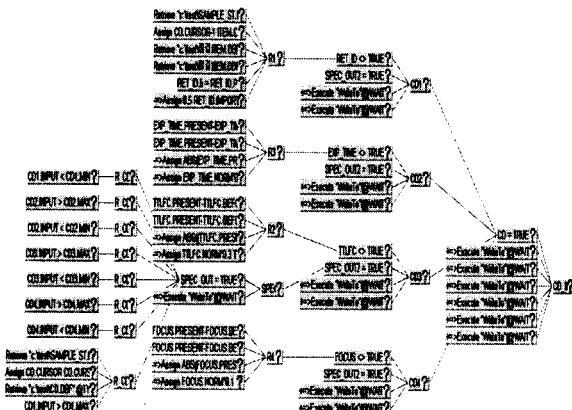


Fig. 6 Example of rule

공정 분석 프로그램의 해석 결과를 전문가 시스템의 입력으로 사용하는 것은 실제 엔지니어의 분석 활동과 매우 유사한 메커니즘이 된다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 통계적 공정 제어의 한계점을 극복하기 위하여 전문가 시스템과 공정 분석 프로그램을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 통계적 공정 제어 활동에 전문가 시스템의 적용으로 엔지니어 개개인에 의한 실수를 최소화하며 공정에 대한 지식이 체계적으로 축적된다.
- (2) 공정 분석 프로그램의 개발을 통해 제조 공정에서 발생하는 여러 종류의 데이터를 단시간에 수집하고 지

식베이스 구축의 부담을 줄여준다.

- (3) 공정 분석 프로그램과 전문가 시스템의 연동으로 공정 변화와 공정 결함에 의한 이상 원인을 찾아낼 수 있다.

향후 연구과제는 다음과 같다.

- (1) 공정 분석 프로그램과 전문가 시스템의 유연한 연동 방법 연구
- (2) 공정 변수의 연관성(correlation) 문제에 대한 연구

## 참 고 문 헌

1. Lall. Vinod, 1992, "Applying an Expert System to Statistical Process Control", North Dakota State University a Dissertation for PHD.
2. Chacon Reinoso. Guillermo Rodolfo, 1990, "An Expert Fuzzy Advisor for the Statistical Control of Manufacturing Processes", University of Texas at Arlington a Dissertation for PHD.
3. Crowe, Edward R., 1995, "A Strategy for the Synthesis of Real-Time Statistical Process Control within the Framework of a Knowledge Based Controller", Ohio University a Dissertation for PHD.
4. Hy Pitt, 1994, "SPC for the Rest of Us", Addison Wesley, pp. 240~245.
5. Donald A. Waterman, 1986, "A Guide to Expert System", Addison-Wesley Publishing Company.
6. 김화수 외 1995, "전문가 시스템", 집문당, pp. 35~121.
7. 박창순, 1995, "통계적 품질 관리", 울곡출판사, pp. 130~195.
8. Laszlo Fabry, Ludwig Koster, Siegfried Pahlke, Ludwig Kotz and Jurgen Hage, 1996, "Diagnostic and Monitoring Tools of Large Scale Si-Manufacturing : Trace-Analytical Tools and Techniques in Si-Wafe Manufacturing", IEEE Trans. on Semiconductor Mfg. Vol. 9, No. 3.
9. Costas J. Spanos, "Statistical Process Control in Semiconductor Manufacturing", 1992, Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 6.
10. Frank X. Cantello, "Evolution to an Effective and Enduring SPC System", February 1990, Quality Progress, pp.60~64.