

콘크리트 플랜트의 온-라인 감시 및 고장진단을 위한 시스템 개발에 대한 연구

°공영준*, 장태규**, 양원영*

* 중앙대학교 공과대학 전기공학과, ** 중앙대학교 공과대학 제어계측공학과

A Study of System Development for On-line Monitoring and Fault Diagnosis of a Concrete Plant

°Young J. Kong*, Tae G. Chang**, Won Y. Yang*

*Dept. of Elec. Eng., Chung-Ang Univ., **Dept. of Control & Instrumentation Eng., Chung-Ang Univ.

ABSTRACT

This paper describes a on-line monitoring and fault diagnosis system designed for the automation of a medium-size concrete plant. The system is based on the structure of a hardware system of data acquisition and a personal computer. Simulation results are presented to illustrate the system operation. It applies the preconstructed rules to the plant data for the diagnosis of weighing processes.

1. 서론

최근의 플랜트 산업은 중앙 집중적 분산처리 시스템(DCS)을 기반으로한 CIM화가 점차 강화되고 그에 따른 제어 시스템의 구성과 설계가 중요한 요소로 부각되고 있다. 특히, 원가절감에 의한 가격경쟁이 높아짐에 따라 보수유지에 적합하고 사용자에게 편리한 감시 및 고장진단 기능에 대한 중요도가 더욱 대두된다. 또한 대형 플랜트와는 달리 콘크리트 플랜트와 같은 중소형 플랜트의 경우에는 일반성을 갖는 하드웨어 및 소프트웨어들로 시스템 개발환경을 구현함으로써 일회성에 그치지 않고 반복에 의한 생산성을 높여줄 수 있어 경제적 측면에서 매우 유용하다. 콘크리트 플랜트와 같이 비교적 수요가 많고 건축 및 건설 분야에 필수적인 플랜트는 일률적인 구조를 가지지 않고 주변 상황이나 사용자의 요구에 따라 성분, 원료, 구조등이 변경될 수 있으므로 특히 이와같이 변경이 용이하고 운전자(Human Operator)에게 보다 편리한 인터페이스 기능을 갖는 시스템의 필요성이 강조된다.

특히, 콘크리트 플랜트 공정 상에서 고장이 발생할 경우, 적절한 대책이 부족하여 시스템의 보수유지에 불필요하게 자원과 생산시간을 낭비하게 되는 것은 심각한 문제점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 고장 부분을 신속히 파악하여 운전자에게 알려줌으로써 보수인력을 줄여 재운전 시간을 단축시켜야 한다.

본 논문에서는 PC와 전문가 시스템, 그리고 데이터 채집장치를 기반으로 온-라인 소프트웨어를 이용하여 고장진단 기능이 첨가된 효과적인 감시 및 제어 시스템의 개발에 대하여 기술하였다. 2절에서는 플랜트 고장진단을 위한 전체 시스템에 관하여 그 구성 성분들의 특성을 기술하였으며, 3절과 4절에서는 구체적인 구장진단부와 감시부의 기능 및 데이터 채집장치에 대하여 설명하였다. 또한 5절에서는 구현한 시스템을 적용한 예를 시뮬레이션하였다. 마지막으로 6절에서 결론을 맺는다.

2. Multitasking에 의한 플랜트 감시 및 고장진단 시스템

콘크리트 플랜트의 고장진단을 위한 전체 시스템은 그림 1에 보인 바와 같이 고장진단부, 감시부와, 외부 플랜트의 정보를 처리하여 전송해주는 데이터 채집부로 구성된다. Dual monitor를 사용하여 고장진단부와 감시부의 수행 과정을 개별적으로 표시하게 하였으며, 서로간의 데이터들은 화일을 통하여 공유하도록 하였다. 고장진단부는 전문가 시스템 shell을 이용하여 플랜트 각 부위의 고장요인의 원인과 처방을 규칙으로 저장하고 시간적 공간적으로 압축된

데이터를 이용하여 진단을 내리며, 감시부에서는 이러한 정보들을 화면에 나타내준다. 그리고 데이터 채집부는 마이크로 컨트롤러로 하드웨어 시스템을 구성하고 여기에서 얻어진 데이터를 통신을 통해 고장진단부와 감시부로 전송한다.

자동화 시스템에 대한 AI 시스템의 개발은 기존의 심볼화된 언어인 LISP이나 Prolog를 이용하기도 하며 최근에는 객체지향(OOP) 언어로 개발되기도 한다. [4] 또한 이러한 언어를 각각의 목적에 맞게 혼합하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 이러한 방식으로 ÅSTRÖM과 ANTON은 VAX 11/780 시스템의 VMS하에서 LISP과 PASCAL를 이용하여 전문가 시스템과 제어 알고리즘을 병렬처리(parallel processing)로 구성하였다. [3]

본 연구에서는 이와 유사하게 범용 486 PC시스템의 DOS환경하에서 LISP 과 C 언어로 각각 외부데이터 전송을 위한 통신부와 전문가 시스템을 기반으로한 고장진단부, 그리고 감시부를 구성하고 DESQview를 이용하여 Multitasking을 시행하였다. 순차적인 단일 구조와 비교하여 이러한 구조의 장점은 한 개별 프로그램의 실행시 다른 프로세스의 수행정지를 일으키지 않으며, 실시간으로 서로간의 데이터를 공유할 수 있다는 점이다.

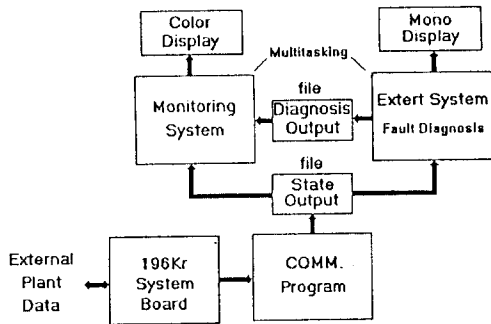


그림 1. 감시 및 고장진단 시스템 구성도

Fig. 1. The system diagram of monitoring and fault diagnosis

3. 플랜트 고장진단 전문가 시스템

본 절에서는 플랜트의 고장진단에 이용한 전문가 시스템의 구성 및 그 특징에 관하여 기술하였다. 전문가 시스템을 앞서 언급한 바와 같이 다중처리 기법을 도입하였으며 체계적인 데이터 처리를 위한 시간적 공간적인 개념을 제시

하였다.

콘크리트 플랜트의 구조는 일반적으로 골재들의 계량 공정부와 시멘트 처리공정부, 각종 콘크리트 요소들을 믹싱하는 믹서부의 주요 세 부분으로 구성되어 있으며, 이외에 기타 주변 공정과 제어 시스템으로 구성되어 있다. 콘크리트 플랜트의 전체 구성도는 그림 2에 보였다.

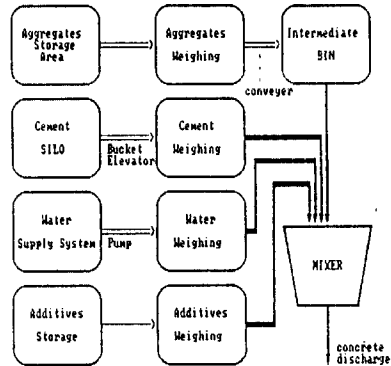


그림 2. 콘크리트 플랜트 시스템의 구성도

Fig. 2. The Block diagram of a Concrete Plant

플랜트의 여러 부위에서 얻어지는 신호정보는 플랜트의 제어나 감시용으로 활용된다. 이를 위해서 센서나 기타 감지장치를 필요로 하게 되고, 보다 정밀한 감시를 하기 위해서는 추가적인 비용이 증가하게 되므로 최소한의 감지장치로 정상적인 플랜트 운전이 가능하게 하는 것이 중요하다.

그러나 고장난 부위를 자동으로 검사하고 판독하려면 원칙적으로는 부가적인 감지장치를 사용하여야 한다. 콘크리트 플랜트의 경우 이러한 부가적인 장비의 설치에 드는 비용을 줄이기 위하여, 고장이 자주 발생하는 부위를 시스템 전문가가 경험적으로 판단하여 사전에 플랜트 설치시 세밀한 주의를 기울이고 있다. 따라서 고장요인의 자동 파악을 위한 고장 제거 시스템의 설치는 고려되고 있지 않다.

이러한 점을 고려하여 자동화 시스템의 구현에 지능적인 능력을 하고자 하는 연구가 이루어져 왔으며, 그 중에서 전문가의 경험적 지식을 기반으로한 전문가 시스템의 필요성이 증대되었다. 즉, 이를 이용하여 부가적인 감지장치의 설치에 드는 비용을 절감할 수 있으며, 운전자에게 보다 신뢰성있는 고장요인의 원인 파악과 그 진단과정을 알려줄

으로써 보수인력의 낭비를 막고 생산중단 시간의 감소 효과를 얻을 수 있다.

콘크리트 플랜트의 구조 변경 등에 융통성 있는 고장 진단을 위하여, 기존의 제품화된 전문가 시스템 shell 대신, LISP을 이용한 if-then 구조의 rule-based production 시스템을 기초로한 shell을 설계하였다. 전문가 시스템 shell은 고장진단을 위한 규칙들을 가지고 있는 지식 베이스(rule base)와 추론 엔진(inference engine), 시스템 개발자와의 인터페이스를 통하여 규칙들을 첨가, 삭제, 수정, 표시가 가능하도록 하는 에디터, 그리고 운전자의 개입이 없이 외부 데이터를 직접 저장하는 fact-list로 구성된다. 추론엔진부는 goal-driven 방식의 backward chaining 방식을 사용하였으며 진단의 신뢰성을 높이기 위하여 who와 explanation이 가능하도록 하였다.

외부 플랜트 데이터를 감시부나 고장진단부로 전송해 줄 경우 보통 한번에 여러 데이터를 일괄적으로 출력하는 일이 많다. 이 때 만약 외부의 노이즈나 갑작스런 시스템의 이상으로 어떤 한 데이터가 에러가 발생할 경우, 상위 시스템에서도 이러한 불량한 데이터로 인하여 고장을 일으킬 가능성이 있다. 이러한 문제는 어떤 특정한 신호 데이터를 필터링하면 해결될 수 있으나, 일반적으로 특성이 다른 여러 데이터에도 이와 유사하게 고려해야 하므로 다수의 중복된 필터링을 요하게 된다. 따라서, 이것은 플랜트의 각 부위에서 얻어지는 데이터들마다 그 부위의 정상적인 동작에 요구되는 처리 시간을 넘지 않는 범위 내에서, 데이터들의 성격에 따라 특정한 시간 주기를 준 후, 그 동안에 채집된 데이터의 내용을 파악하여 에러를 제거하고, 결과를 상위 시스템으로 전송함으로써 해결할 수 있다.

그림 3에 보인 콘크리트 플랜트의 시멘트 계량도를 보면 세개의 밸브와 계량된 무게값을 재기위한 로드셀이 설치되어 있고, 그 아래에는 믹서부로 원료를 옮기기 위한 컨베이어 벨트가 존재한다. 여기에서 얻어지는 이들 데이터는 각각 25 msec, 1 sec, 10 sec 마다 시간적 데이터들의 문맥을 파악하여 에러가 보정된 후 얻어진 결과를 통신을 통하여 전송된다. 이와같은 구조는 상위단계의 고장진단의 경

우 고장요인을 도출하는데 신뢰성을 높일 수 있어서 효과적이다.

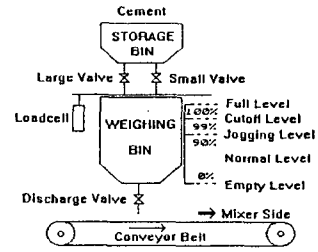


그림 3. 콘크리트 플랜트의 시멘트 계량도

Fig. 3. the Cement Weighing Diagram of a Concrete plant
4. 플랜트 monitoring 시스템 부

본 절에서는 전문가 시스템과 함께 구성된 플랜트의 감시 시스템과 외부 데이터의 채집을 위한 하드웨어 시스템의 구조에 대하여 설명하였다. 감시 시스템은 기능에 따라 별개의 모듈 프로그램으로 소프트웨어들을 구성함으로써 플랜트의 성분, 구조의 변경이 쉽게 대처하도록 하였다.

monitoring 시스템 부는 플랜트 관련 각종 정보 및 자료를 H/W 채집장치를 통해 전달받아 저장하고 세부기능에 준한 각종 프로세스 프로그램들과 이러한 프로그램들의 수행과 데이터의 전체적인 관리를 담당하는 주 관리부(main supervisor)로 구성된다. [5] (그림 4)

각 프로세스들은 기능에 따라 입력장치 설정 부분, 정보지시(alarm), 및 배경(background)화면의 관리를 담당하는 부분과 trend를 나타내 주는 부분으로 구성된다. 주 관리부는 감시 프로그램의 중심부로 각 프로세스들의 순차적인 수행을 제어하는 역할을 담당한다.

일반적으로 대형 플랜트를 대상으로 상업화된 자동화 패키지는 고가이고 환경변화에 대한 융통성 측면에서 중소형 플랜트의 시스템 개발 목적에 비효율적이다. 즉, 시스템 개발자가 패키지가 제공하는 개발환경에 종속되어 고유의 감시 시스템의 설계가 어렵다. 특히 소형 플랜트의 경우는 오히려 이러한 고가 패키지의 사용은 전체 시스템의 가격 상승의 주요 요인이 되므로 개발시 이식성이 좋은 소프트웨어를 제공의 필요성이 부각된다. [1]

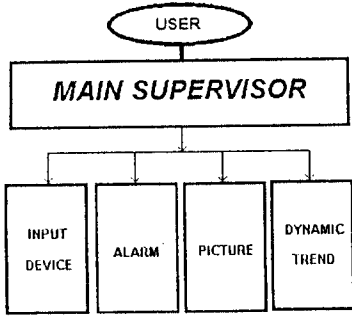


그림 4 monitoring 시스템의 구조

Fig. 4 The structure of Monitoring system

본 연구에서 구현한 고장진단을 위한 데이터 채집 장치는 그림 5에 나타난 바와같이 intel 80196kr을 사용하여 외부 플랜트 정보를 시뮬레이션할 수 있도록 설계하였다.

실제 콘크리트 플랜트의 제어시스템은 앞서 보인 시스템구조와 비교할 때, 데이터 채집을 위한 장치를 제외한 대부분의 구조가 유사하다. 콘크리트 플랜트는 외부 플랜트 정보를 PLC (Programmable Logic Controller)를 통하여 얻는다는 점이 다르다.

한편, 아날로그 데이터의 처리를 위해 80196kr 콘트롤러 내부의 8 채널 중 4 채널을 직접 외부 데이터를 처리하는 데 이용하였고, 나머지 4 채널은 아날로그 멀티플렉서를 이용하여 채널 수를 확장함으로써, 샘플링 주파수가 아날로그 데이터를 직접 처리하는 채널들보다는 낮지만, 많은 수의 데이터를 처리할 수 있어서 경제적이다. 디지털 데이터의 경우는 때에 따라서 제어도 가능하도록 충분한 점점을 갖게 하였다. 이러한 많은 데이터들은 80196kr 어셈블리 프로그램으로 앞서 기술한 바와 같이 데이터의 성격에 따라 시간적인 차이를 두고 직렬통신으로 상위 PC로 전송한다.

5. 모의실험

현재까지 구성된 시스템에 의해 실제 적용한 고장진단의 예를 보여주기 위하여 각각의 원료들의 계량공정에서 발생가능한 고장용인을 파악하고 이를 전문가 시스템의 규칙에 적용한 결과에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6 정상적인 계량공정이 이루어 질때의 상황을 타이밍도로 나타내었다. 만약 정해진 공정대로 운전되지 않고 밸브나 아

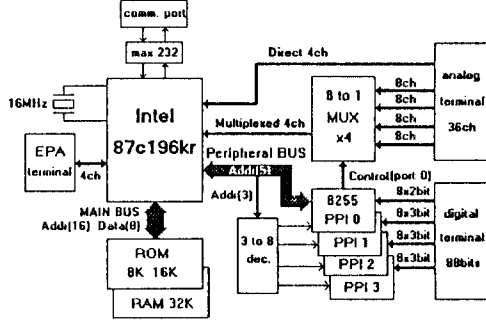


그림 5. 80196kr을 이용한 데이터 채집장치

Fig. 5. Data acquisition Device using intel 80196kr

날로그 계량값에 문제가 발생하면, 그에 따라 고장여부를 화면에 나타내 준다. 따라서 시뮬레이션에 사용된 규칙들은 이들 외부 아날로그와 디지털 정보들을 기초로, 현재 운전 중인 상황을 온-라인으로 검사하고, 경험적 측면에서 적절한 고장원인을 찾아내어 조치를 취할 수 있게 한다.

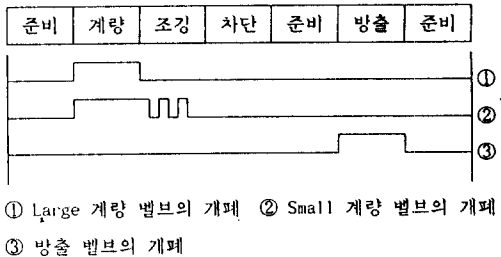


그림 6 정상적인 계량시의 타이밍도

Fig. 6 The timing diagram for normal weighing process

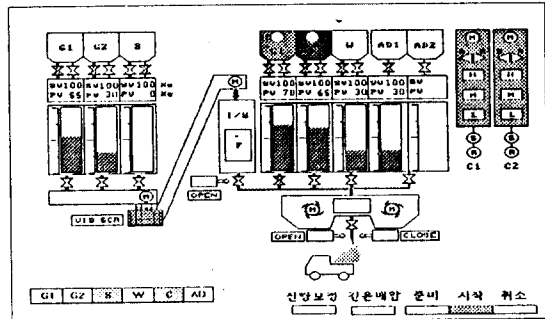


그림 7. 모래와 시멘트 계량시 고장발생 화면

Fig 7. A fault screen for sand and cement weighing

Multitasking은 고장진단부, 데이터 채집부와 감시부의 수행 비중을 10 : 5 : 2 로 하였으며 관련된 규칙은 그

림 8에 나타내었다. 모래 계량의 경우 large 계량 벨브를 강제로 닫고 시멘트의 경우 방출벨브를 계량 중에 열었을 때 이 두 경우 고장이 발생했음을 알 수 있다. (그림 7) 플랜트의 가상적인 고장에 대하여 monitoring 화면을 통해 그 부위를 알 수 있었으며 다른 화면으로 고장에 대한 처방을 나타내었다.

```
((RULE 2)(IF((EQ SAND-EMPTY NIL)
              (LE SAND-REAL SAND-SET-CUTOFF))
              THEN((SAND-RECOM T))))
((RULE 3)(IF((EQ C1-EMPTY NIL)
              (LE C1-REAL C1-SET-CUTOFF))
              THEN((C1-NORMAL T))))
(RULE 11)(IF((EQ NORMAL T)(EQ LARGE V NIL)
              (EQ SAMLL V T))
              THEN((RECOM T4))))
((RULE 25)(IF((EQ NORMAL T)(EQ DISCHARGE V T)
              THEN((RECOM T11))))
```

그림 8. 고장에 적용된 규칙들

Fig. 8. Rules applied to faults

6. 결론

본 연구에서는 중소형 플랜트를 자동화하는데 필요한 감시 제어 시스템을 범용 PC와 80196kr 마이크로 컨트롤러를 이용한 데이터 채집장치를 기반으로 개발하였고, 경험에 의한 진단 지식을 규칙(rule)들로 표현하고 이를 이용하여 온라인 고장진단을 수행하는 처리 모델을 제시하였다. 또한 이와 더불어 시간적 공간적인 데이터 처리 방법을 제시하였다. 콘크리트 플랜트와 같은 중규모 플랜트에 대해 이와같은 구성으로 온-라인 감시 시스템을 구현하는 것은 경제적인 측면과 융통성있고 편리한 개발환경을 제공한다는 면에 있어서 매우 효과적이다. 구성된 시스템에 의해 실제 적용한 고장진단 예를 보여주기 위하여 원료들의 계량공정에서 발생 가능한 고장요인을 파악하고 이를 규칙 베이스에 의해 고장진단을 하는 과정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

앞으로 압축된 시간적 공간적인 문맥정보의 표현을 이용한 보다 체계적인 상위단계의 고장진단 구조에 관한 연구를 진행하고 있는 중이며, 실제 플랜트에 시험적으로 적용하여 실용적인 시스템의 개발을 추진하고자 한다.

7. 참고문헌

- [1] John J. Mills, John W. Priest, "TOWARDS THE SELECTION OF APPROPRIATE COMPUTER TOOLS FOR CIM COMPONENTS", Internatioanl Conference on CIM, p62, 1991
- [2] 박세화, 변중남, 문봉채, "실시간 운영체제 환경하에서 이중화된 제어 시스템을 위한 소프트웨어의 구현", 자동제어학회, 1992
- [3] K. J. ÅSTRÖM, J. J. ANTON, K. E. ÅRZÉN, "Expert control", Automatica, Vol. 22, No. 3, pp. 277-286, 1986
- [4] Paul J. Nolan, "Intelligent Simulation inAdvanced Manufacturing Technology", International Conference on CIM, 1991
- [5] Olsson, Piani, "COMPUTER SYSTEMS FOR AUTOMATION AND CONTROL", PRENTICE HALL, PP. 201-231, 1992
- [6] Gail e, Kaiser, Naser S, Barghouti, "Database support for Knowledge-Based Engineering Environments", IEEE Expert, summer 1988
- [7] 공영준, 장태규, 양원영, "콘크리트 플랜트의 자동화를 위한 감시및 온-라인 고장진단에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술회의, 7, 1993
- [8] Patrick Henry Winston, Berthold Klaus Paul Horn, "LISP", Addison-Wesley Publishing Company, 1989
- [9] Joseph Giarratano, Gary Riley, "EXPERT SYSTEMS Principles and Programming", PWS-KENT Publishing Company, 1989