

콘크리트 플랜트의 자동화를 위한 감시 및 온-라인 고장진단에 관한 연구

공영준*, 장태규**, 양원영*
* 중앙대학교 공과대학 전기공학과
** 중앙대학교 공과대학 제어계측공학과

Monitoring and On-Line Fault Diagnosis for the Automation of a Concrete Plant

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

* Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang Univ.

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

ABSTRACT

This paper presents an on-line monitoring and control system designed for the automation of a Concrete plant. The system is based on the combined structure composed of a general purpose PLC (Programmable Logic Controller) and a personal computer. Simulation results are shown to illustrate the system operation. Preconstructed rules are applied to the plant data for the diagnosis of the weighing process in the simulation.

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. [2] 특히, 원가 절감에 의한 가격경쟁이 높아짐에 따라 자동화 시스템에서 보수유지에 적합하고 사용자에게 편리한 감시 및 고장진단 기능에 대한 중요도가 더욱 대두된다. 또한 대형 플랜트와는 달리 콘크리트 플랜트와 같은 중소형 플랜트의 경우에는 일반성(portability)을 갖는 하드웨어 및 소프트웨어들로 시스템 개발 환경을 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 제어 시스템의 보수유지등으로 인해 불필요하게 자원과 생산시간을 낭비하게 되는 것은 심각한 문제점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 고장 부분을 신속히 파악하여 운전자에게 알려줌으로써 보수 인력을 줄이고 재운전 시간을 단축시켜야 한다.

일반적으로 콘크리트 플랜트 시스템은 많은 경우에 Hardwire 개념의 고정된 논리로 구성된다. 이러한 단순한 순차적 논리만으로는 사용자에게 원활한 인터페이스와 진단과 감시기능을 제공하기에는 충분치 못하며 이를 위해서는 시간적 공간적인 문맥정보(Contextual Information)를 포함한 종합적인 정보를 표현하고 이를 고장진단과 공정감시에 적용할 수 있는 기능을 부여하는 것이 요구된다. 이러한 기능은 여러 공정에서 습득한 정보들을 가지고 보다 고장요인을 파악하는 데에 체계적인 데이터 베이스 구조를 구성할 수 있게 해준다.

본 논문에서는 PC와 PLC를 기반으로 모듈별 온-라인, 오프-라인 소프트웨어 툴을 이용한 고장진단 기능이 첨가된 효과적인 감시 및 제어 시스템의 개발에 대하여 기술하였다. 또한 PLC(Programmable Logic Controller)를 통한 고장제거 사례를 보였고, 실제로 120 m³/hr의 처리 용량을 갖는 중규모 콘크리트 플랜트의 한 공정을 대상으로 고장요인을 분석하고 이에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 2절에서는 중규모 콘크리트 플랜트에 대한 전체적인 구성과 부분별 기능들에 대하여 기술하였다. 3절에서는 PC와 PLC를 기반으로한 콘크리트 플랜트의 제어 감시 시스템에 대해 기술하였으며 4절에서는 모래의 계량공정 예로 한 시뮬레이션을 보였고 5절에서는 결론을 맺는다.

2 콘크리트 플랜트의 구성

본절에서는 콘크리트 플랜트의 전체적인 구성과 부분별 특징에 대하여 기술하였다. 콘크리트 플랜트는 일반적으로 골재들의 계량공정(Weighing process)부와 시멘트 처리공정부, 각종 콘크리트 요소들을 믹싱하는 믹서(Mixer)부의 주요 세 부분으로 구성되어 있으며, 이외에 기타 주변 공정과 제어 시스템으로 구성되어 있다. 콘크리트 플랜트의 전체 구성도는 그림 1에 보였었다.

골재(Aggregate) 계량공정부는, 크기와 무게에 따라 선별 저장된 골재들을 원하는 콘크리트의 용도에 맞는 배합비 대로 계량하기 위한 곳으로, 목적인 설정 무게(Setting weight)의 90%를 담당하는 계량밸브와 보다 정확한 무게에 도달하기 위해 나머지 10%를 반복적으로 개폐 - 조깅(Jogging)이라고 한다. - 하는 두개의 계량밸브가 존재한다. 또한 관련된 제어장비로는 계량된 골재들을 방출해 주는 방출밸브와 이들을 임시 저장소인 중간빈(Intermediate Bin)으로 옮겨주는 이송장치(Conveyer), 골재들을 고르게 하기 위한 Vibration Screen, 정상적으로 이송되는지를 감시하기 위한 감시용 카메라를 갖추고 있다.

시멘트 처리공정부는 시멘트가 콘크리트의 기본 성분중 다른 것에 비해 고가의 원료임을 감안하여 독립된 공급공정을 가지고 있다. Silo에 저장된 시멘트는 스크류 컨베이어(Screw Conveyer)와 로우터리 피이더(Rotary Feeder)에 의해 운반되어, 상부에 위치하고 있는 시멘트 계량빈으로 수직 이송시켜주는 버킷 엘리베이터(Bucket Elevator)를 통과한 후, 양방향 댐퍼(2 Way Damper)의 제어에 따라 계량 공정으로 보내지게 되거나 계량빈에 더이상 공급이 필요없을 때에는 다시 Silo 속으로 옮겨져서 계속적인 순환작용만을 하게 된다.

믹서부에서는 배합비에 맞게 계량을 마친 각 재료들을 적절한 시간동안 혼합시켜 방출한다. 이 공정을 마치면 비로소 한 배치(batch) - 부피 약 3 m³ 이하 - 분의 콘크리트가 레미콘 차량으로 보내지며 지정된 전(total) 용량이 얻어질 때까지 다시 전체 공정이 운전된다.

플랜트 제어 시스템에는 각공정의 운전 상황을 감시하며 운전자가 각 공정제어에 관여할 수 있도록 인터페이스 환경을 제공해준다. 그리고 고장 발생시 고장 부위를 감시 화면에 표시할 수 있게 한다.

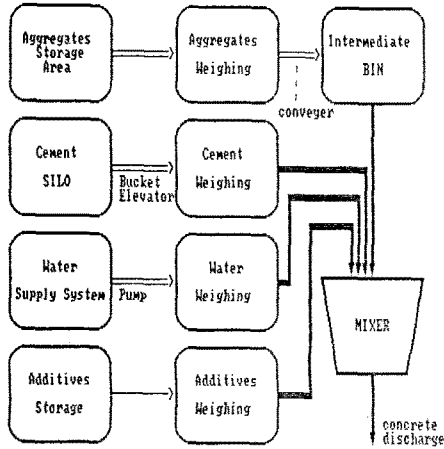


그림 1. 콘크리트 플랜트 시스템의 구성도
Fig. 1. The Block diagram of a Concrete Plant

3. PC와 PLC를 기반으로한

콘크리트 플랜트의 감시제어 및 고장제거

PC와 PLC를 기반으로한 시스템은 콘크리트 플랜트와 같은 중 규모 플랜트의 자동화를 위한 감시제어 시스템의 설계 구현 목적에 적합하다. 기능적 측면 뿐 아니라 쉽게 얻을 수 있는 범용 PC, PLC등을 구현에 이용함으로써 경제적이며, 구성된 시스템의 구조가 일반성을 갖고 있어 매우 효과적이다.

그림 2는 이와같은 PC와 PLC를 기반으로한 콘크리트 플랜트의 제어 시스템을 보여주는 전체 구성도이다. PLC는 플랜트 각 공정의 제어와 디지털 및 아날로그 정보들을 PC 측으로 전송해주는 역할을 담당한다. 또한 PC는 운전자로부터 제어명령을 전달시켜 주며 공정감시를 수행한다. 플랜트 공정중 발생가능한 기본적인 고장요인은 PLC 수준에서 어느정도 제거해 주며, 온-라인 감시 및 상위 고장진단은 PC에서 구현한다.

다음에는 온-라인 감시 시스템의 구성에 대한 구체적인 설명과 PLC에 의한 고장 제거를 예를 들어 기술하였다.

3.1 온-라인 감시 시스템

전체적인 온-라인 감시 시스템은 그림 3에 보인 바와 같이 플랜트 관련 각종 정보 및 자료를 포함하고 있는 데이터부, 세부 기능에 준한 각종 프로세스 모듈들과 이러한 모듈들의 수행과 데이터의 전체적인 관리를 주관하는 주 관리부(Main supervisor)로 구성된다.

데이터부에는 플랜트 여러 공정들의 시시각각 변하는 동작현황을 나타내주는 정보, 고장진단에 필요한 여러 규칙(Rulebase)들 및 시스템 동작 초기에 입력되는 플랜트 관련 고장 데이터들이 포함된다. 데이터부는 기존의 Foxpro 패키지를 이용하여 설계하였다. 기존의 DBMS를 사용함으로써 쉽게 제어 시스템의 데이터 구조를 설계하고 효과적인 데이터 처리가 가능해 개발시 많은 시간과 비용을 절감할 수 있다. 기존의 패키지가 제공하는 다양한 기능들, 즉, 빠른 데이터 Search, 검색, 정렬, 에디팅, 및 자료의 리포트 기능들을 손쉽게 이용할 수 있다.

온-라인 감시 시스템에는 각 기능에 따라 입력장치 설정 모듈, 경보지시(Alarm) 및 배경(background)그림의 설정 모듈,

PLC와 Host PC간의 통신관계를 설정해주는 모듈, 다이내믹 Trend 모듈, 그리고 전문가 시스템의 도입을 위한 추론 엔진(Inference engine) 모듈들이 포함된다.

주 관리부(Main supervisor)는 각 프로세스 모듈들의 순차적인 수행을 제어하는 역할을 담당한다. 또한 광범위한 시간 흐름에 대한 데이터로 부터 압축된 문맥정보와 하위진단모듈의 결과를 이용하여 상위진단을 내리는 기능을 포함한다.

주 관리자(main supervisor)부와 데이터 베이스 관리 및 추론 엔진부는 Quaterdeck 사의 DESQview를 이용하여 서로 다중처리된다. DESQview를 이용한 다중처리는 MS WINDOWS 상에서 구현하는 것보다 MS DOS 환경에서 하에서 구현하는 것이 물론 유리하다.

이와같이 범용 소프트웨어 패키지들을 사용하여 온-라인 감시 시스템을 구현하는 것은 경제적인 측면과 융통성있고 편리한 개발환경을 제공한다는 면에 있어서 매우 효과적이다. 일반적으로 대형 플랜트를 대상으로 상업화된 자동화 패키지는 고가이고 환경 변화에 대한 융통성 측면에서 중 소형 플랜트의 시스템 개발 목적으로는 비효율적이다. 즉, 시스템 개발자가 패키지가 제공하는 개발환경에 종속되어, 고유의 감시 시스템 설계가 어렵다. 특히 소형 플랜트의 경우는 오히려 이러한 고가 패키지의 사용은 전체 시스템의 가격상승의 주요 요인이 되므로 개발시 이식성이 좋은 소프트웨어(Tools) 제공의 필요성이 부각된다.[1]

각 모듈들과 주 관리부는 C 언어를 이용하여 구현하였고 Host PC는 IBM-PC 486 DX와 Dual Monitor 시스템을 이용하여 구성되었다.

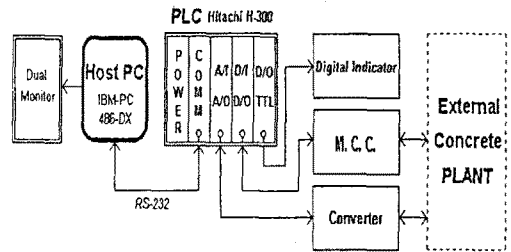


그림 2. 콘크리트 플랜트의 제어 시스템
Fig. 2. The control system of concrete plants

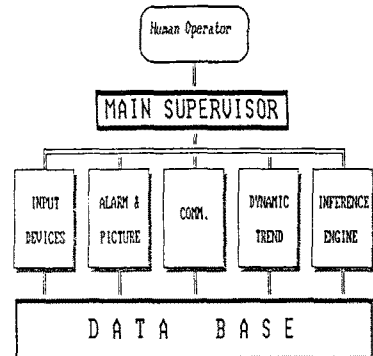


그림 3. 감시 및 고장진단 시스템
Fig. 3. Monitoring and Fault-diagnosis system

3.2 PLC에 의한 고장요인의 제거

고장원인의 종류와 플랜트 동작 요구조건에 따라 일부의 고장은 고정된 논리에 의하여 순차적으로 진단 처리되어야 한다. 반면에 일부의 고장요인들에 대해서는 장시간에 걸친 동작 상

항 정보를 취합하여야 진단할 수 있으며 이를 위한 상위 진단 기능이 필요하다. 본 절에서는 PLC를 상에서 고정된 논리 조건을 이용하여 하위 고정요인들을 제거할 수 있는 방법을 몇몇 사례를 들어 기술하였다.

- 계량 밸브의 OPEN 조건 규정

실제 플랜트에 적용하는 밸브 개폐에 관한 Ladder 다이어그램을 그림 4에 나타내었다. 밸브 - Large 계량 밸브(Y001), Small 계량 밸브(Y002) - 를 개폐하기위해서 앞부분에 여러 조건들이 규정되어 있음을 알 수 있다. 즉 설정된 무게가 없어야 하며(M001), 현재 상태가 계량을 할 수 있는 조건(M002)이며, 그리고 방출 밸브(Y003)는 반드시 닫혀있어야 한다.

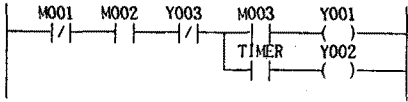


그림 4. 계량 밸브의 개폐
Fig. 4. Open and Close of Weighing valve

- Cement Silo의 타이밍 제어

시멘트의 지속적인 공급을 위해서는 Bucket Elevator와 2-Way Damper를 거치게 되는데, 이들과 시멘트 Silo간에는 두개의 3상 유도 전동기로 운전되는 Rotary Feeder와 Screw Conveyor가 존재한다. 이 두 장치는 서로 밀접한 관계가 있어서 정지와 운전 타이밍이 어느 하나가 다른 하나와 맞지 않으면 심각한 고장을 일으키게 된다. 따라서 이들의 정확한 타이밍과 경험에 의한 적절한 시간지연을 주어야 한다.

- 위험 요인이 있는 Limit S/W 고장에 대비한 Spare S/W

콘크리트 플랜트는 그 구조와 용도에 따라 여러 유형이 존재한다. 그 중 계량된 골재들을 믹서 속으로 Skip이라는 이동 가능한 Bin(Bin)에 담아 보내주는 Skip 형(type)의 경우에는, 이것이 믹서속에 도착했음을 알려주는 Limit S/W의 고장이 발생하면 주변의 사람에게 직접적인 피해를 주므로 이를 막기위해 Spare Limit S/W를 두게된다. 이것의 적절한 제어로 피해를 줄일 수 있다.

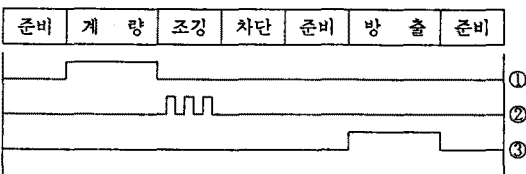
- 시스템 Shut-Down에 대비한 디지털 Indicator

감각스런 제어 시스템의 정지는 운전시 큰 피해를 줄 수 있으며 즉각적인 조치가 불가피하다. 이를 위해서는 비상용 시스템을 갖추어야 하지만, 그렇지 못할 경우에는 운전자에 의한 수동동작이라도 감행해야 한다. 이 때 각 계량빈의 아날로그 값을 시스템 정지시에도 운전자에게 알려 줌으로서 수동동작을 가능하게 할 수 있다.

4. 시뮬레이션 적용 예

현재까지 구성된 PC와 PLC를 기반으로한 감시 제어시스템에는 압축된 문맥정보에 의한 상위 진단 기능이 아직은 구현되어 있지 않다. 현재까지 구성된 시스템에 의해 실제 적용한 고장 진단 예를 보여주기 위하여 계량 공정(Weighing Process)에서 발생 가능한 고장요인을 파악하고 이를 규칙(Rule)베이스에 의해 고장진단을 하는 과정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5는 정상적인 계량 공정이 이루어질 때의 상황을 타이밍도로 나타낸다.



① Large 계량 밸브의 개폐 ② Small 계량 밸브의 개폐
③ 방출 밸브의 개폐

그림 5. 계량 및 방출 타이밍 다이어그램

대형 플랜트가 아니므로 만약 정해진 공정대로 운전되지 않고 밸브나 아날로그 계량값에 문제가 발생하면 즉시 고장이 발생하고 바로 시스템 정지와 피해를 입게된다. 따라서 시뮬레이션에 사용된 규칙들은 이들 외부 아날로그 및 디지털 정보들을 기초로, 현재 운전중인 상황을 항상 온-라인으로 검사하고, 경험적 측면에서 적절한 고정원인을 찾아내어 조치를 취할 수 있도록 데이터 베이스에 저장되어 있다. 예를들어 정해진 계량 무게에 도달하지도 않았는데, 방출이 되지않아 계량 Bin이 넘치는 사고가 발생하면 다음과 같은 규칙이 적용될 수 있다.

```
PREMISE: IF (AND (PRESENT_WEIGHT < SETTING_WEIGHT)
              (DISCHARGE_V = CLOSE))
RESULTS: THEN (DISCHARGE_V FAULT LOW)
              (ANALOG_SCALE FAULT HIGH)
```

여기서 'HIGH'나 'LOW'의 의미는, 두가지 결과가 같은 고장을 일으킬 수 있으나, 실제 플랜트 상에서는 경험적으로 ANALOG_SCALE의 이상일 확률이 더 크다는 것을 나타낸다. 시뮬레이션은 Dual Monitor를 이용하여 명확한 고장상태를 가상적으로 주었을 때, 그 고장 결과를 파악하여 메시지로 알려주고, 다른 모니터링 화면에 고장난 부위를 표시해 준다. 계량된 골재(모래)를 방출할 시기에 강제적으로 계량 밸브를 닫지 않았을 경우 고장이 발생하게 되며 그 모니터링 화면은 그림 6에 나타내었다.

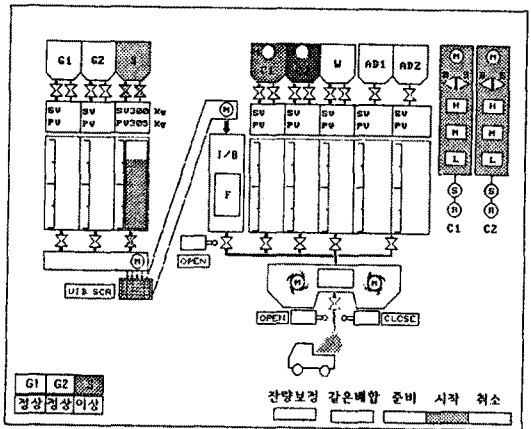


그림 6. 공정감시 화면

5. 결론

본 연구에서는 중소형 플랜트를 자동화하는 데 필요한 감시 제어 시스템을 범용 PC 및 PLC를 기반으로 한 구조와 범용 소프트웨어를 사용하여 개발하였고, 경험에 의한 진단 지식을 규칙(Rule)들로 표현하고 이를 이용하여 온-라인 고장진단을 수행하는 처리 모델을 제시하였다. 콘크리트 플랜트와 같은 대규모 플랜트에 대해 이와같은 구성으로 온-라인 감시 시스템 구현하는 것은 경제적인 측면과 융통성있고 편리한 개발환경을 제공한다는 면에 있어서 매우 효과적이다. 구성된 시스템에 의해 실제 적용한 고장진단 예를 보여주기 위하여 계량 공정(Weighing Process)에서 발생 가능한 고장요인을 파악하고 이를 규칙(Rule)베이스에 의해 고장진단을 하는 과정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

현재 압축된 시공간상의 문맥정보의 표현과 이를 이용한 상위 단계의 진단 기능을 구현하기 위한 연구를 진행하고 있는 중이며, 앞으로 실제 플랜트에 대한 적용을 통하여 실용적인 시스템의 개발을 완성하고자 한다.

참고 문헌

[1] John J. Mills, John W. Priest, "TOWARDS THE SELECTION OF APPROPRIATE COMPUTER TOOLS FOR CIM COMPONENTS", International Conference on CIM, p62, 1991
 [2] 박세화, 변중남, 문봉채, "실시간 운영체계 환경에서 이중화된 제어시스템을 위한 소프트웨어의 구현", 자동 제어학술회의, 1992
 [3] Olsson, Piani, "COMPUTER SYSTEMS FOR AUTOMATION AND CONTROL", PRENTICE HALL, pp. 201-231, 1992
 [4] Gail E. Kaiser, Naser S. Barghouti, "Database support for Knowledge-Based Engineering Environments", IEEE Expert, summer 1988