

# PC 중심의 분쇄공정 자동제어시스템 개발

The Development of PC based Automatic Control System for a Grinding Process

황 일 영\* · 김 봉 준 · 방 성 호 · 홍 창 식 문 영 진

<동양중앙연구소 공정연구실>

<북평공장>

## 1. 서 론

최근에 국내의 시멘트 생산능력이 급격하게 신장되면서 시멘트의 수요보다 공급이 늘어날 추세이다. 따라서 고객의 요구에 능동적으로 대처하고 시장경쟁에서도 타 경쟁사들보다 우위를 점하기 위해 시멘트 생산량보다는 시멘트 품질을 중요시 여기는 시대가 도래할 것으로 예측된다.

시멘트 분쇄공정은 최종의 시멘트 제품이 생산되는 공정으로 시멘트 품질을 결정하는데 직접적인 영향을 미치는 공정이다. 그러나 현재까지 개발된 분쇄공정에 관련된 제어시스템들은 생산량만을 제어할 수 있는 시스템이 대부분이다. 따라서 시멘트 품질을 제어할 수 있는 시스템 개발이 점차 요구되고 있다.

시멘트 품질이 중요시되는 최근의 업계동향을 고려할 때 시멘트 분쇄공정 제어시스템의 가장 큰 기술적 핵심사항은 시멘트 품질을 제어할 수 있는 자동제어시스템을 개발하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 생산량 및 품질제어가 가능한 PC 중심의 고급제어시스템을 개발하고자 한다. 즉, 수동 운전중인 구형 분쇄공정에 PC 중심의 고급제어시스템을 설치하여 공정의 효율성을 높이고 안정적인 시멘트 품질을 유지하는데 목적이 있다.

## 2. 대상공정

본 연구의 대상공정으로는 당사 북평공장 1호 시멘트밀을 선정하였다. 1호 시멘트밀의 경우 1979년에 준공된 후 계장 및 운전설비에 대한 개축이 거의 없어 구형 운전판넬에서 수동운전에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연

구를 통해 자동제어시스템을 구축할 경우 타 시멘트밀보다 설비적인 측면에서 이중투자의 부담이 적고 설치효과가 더 클 것으로 사료되어 대상 공정으로 선정하였다.

1호 시멘트밀은 예비분쇄 시스템이 없는 단독 블 밀이다. 집진장치는 전기집진기를 사용하고, 분급기는 cyclone이 6개 있는 cyclone air separator 이다. Fig. 1 은 1호 시멘트밀의 공정도이다.

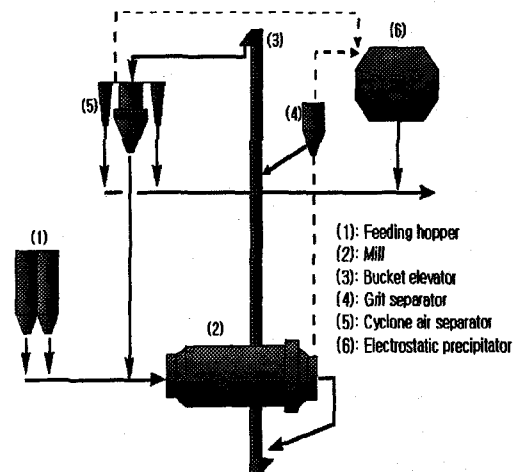


Figure 1. Flow diagram of the No. 1 cement mill process.

## 3. 연구목표 및 기대효과

본 연구의 궁극적인 목표는 시멘트 품질을 안정 및 향상시킬 수 있는 제어를 개발하는 것이다. 시멘트의 품질을 나타내는 지표 중 가장 널리 사용되는 것은  $44\mu\text{m}$  잔사율과 비표면적(Blaine) 값이다. 본 연구에서는 지난 2년동안 (1994.1.1.~1995.12.31.) 1호 시멘트밀에서 생산된 시멘트의  $44\mu\text{m}$  잔사율과 비표면적(Blaine) 값을 토대로 본 연구의 목표품질치를 결정하였다. 또

한 자동제어시스템이 설치될 경우 시멘트 품질 향상 뿐만 아니라 생산성 향상도 기대할 수 있다. 따라서 본 과제에서 생산성 향상도 연구목표로 삼았으며 그 목표치는 Table 1 에 나타내었다.

Objectives of quantity and quality control.

Table 1.

항 목	목 표
44um 잔사율 [%]	편차 0.5 이하
Blaine [cm <sup>2</sup> /g]	5 % 증가 편차 50 이하
생산량 [ton/hr]	3 % 증가

북평공장의 경우 운전설비가 구형이어서 전적으로 수동운전에 의존하고 있으며, 중요 공정변수값에 대한 저장에 어려움이 많기 때문에 과거 운전데이터를 활용하지 못하는 실정이다. 따라서 자동제어시스템이 설치될 경우 운전자의 경험에 의존하던 운전기술이 자동제어기에 의해 표준화될 수 있고, 공정의 외란에 적절하게 대처할 수 있으므로 공정이 안정되며, 효과적인 공정감시 및 경보처리, 과거데이터 저장, 통계적 공정분석 등이 가능해져 공정효율이 크게 향상될 것으로 기대된다.

북평공장에 설치할 제어시스템은 PC 중심의 제어시스템으로 분쇄밀 1기만 있는 북평공장 특성에 적합하고 설치비 및 운용비가 저렴하며, 시스템 구성과 변경이 용이한 장점이 있다.

## 4. 자동제어시스템 개발

### 4.1. 자동제어시스템 구성

북평공장 분쇄공정의 운전설비는 구형시스템이다. 현장으로부터의 공정측정치들은 아날로그 지시계로만 표시되며, 기록계도 한정되어 있어 밀베어링온도와 기타 몇 개의 측정치만의 기록이 가능하다. 따라서 이러한 공정에 자동제어시스템을 설치하기 위해서는 계장설비에 대한 개조가 불가피하다.

북평공장에 설치하려는 자동제어시스템의 전체적인 개괄도를 Fig. 2 에 나타내었다. 일단 현장의 공정측정치를 PC 내의 제어시스템과 연결하려면

공정측정치를 PC와 통신가능한 I/O device 를 통해 입출력해야 한다. I/O device 를 통해 입출력되는 신호는 PC 내의 제어시스템의 실시간 데이터베이스에 저장되고, 데이터베이스에 저장된 정보를 토대로 하부의 공정제어시스템이 운영된다. 하부 제어시스템은 일반제어, 공정감시, 경보처리, 통계처리, Report 기능을 담당하는 블럭이었다.

상부제어블럭에는 고급제어블럭이 위치하며 이곳에 품질제어알고리즘이 존재한다. 품질제어기는 품질예측기가 공정변수를 이용하여 예측한 실시간 대의 분말도 데이터를 목표품질과 비교하여 적절한 공정조절변수 설정치를 하부 일반제어기에 전달한다. 본 과제는 이제까지 언급한 부분까지를 연구범위로 한정하였다. 향후에 종합적인 컴퓨터 통합생산시스템(CIM) 을 구축하기 위해서는 경영진 수준에서 이루어지는 생산계획이 반영되고 이를 최적화 하는 부분까지 포함되어야 한다.

### 4.2. 자동제어시스템 구축전략

앞서 언급한 바와 같이 본 연구과제를 수행하기 위해서는 기존 계장설비의 일부를 개조하여야 한다. 그러나 북평공장은 주로 수출용 시멘트를 생산하는 공장이므로 시멘트 생산계획이 연초부터 매우 조밀하게 세워져 있어 장기간 생산을 중단하고 계장설비를 개조하기에는 생산계획상 부담스러운 공장이다. 따라서 본 과제를 수행함에 있어 계장설비개조에 관한 업무는 북평공장 제조과의 생산계획 및 운휴일정에 맞춰 진행하였다. 또한 계장설비를 일부 개조한 후에 정상적인 운전이 이루어진다는 보장이 없기 때문에 기존의 운전판넬도 이용할 수 있는 방향으로 과제를 추진하였다.

즉, 새로 설치한 PLC 판넬을 통해 현장 입출력 신호를 PC 와 통신할 수 있을 뿐만 아니라 필요시 기존의 운전판넬에서도 종전의 운전방식대로 운전할 수 있게 시스템을 구성하였다. 새로 설치한 PLC 판넬로 입력되는 아날로그 신호는 기존 판넬의 계기에도 표시된다. 한 신호를 PLC 판넬과 기존 계기에 동시에 입력할 수 있도록 각 신호선마다 이중출력 변환기를 설치하였다.

또한 시멘트밀 운전에 직접적으로 영향을 미치는 클링커 및 석고 공급량, 분급기 분산판 속도, 분급기 순환팬 댐퍼개도, E.P. 순환팬 댐퍼개도 조절에 관한 출력치는 새로 설치한 PLC 판넬에서 출력될 수 있고, 필요시에는 간단한 선택 스위치를

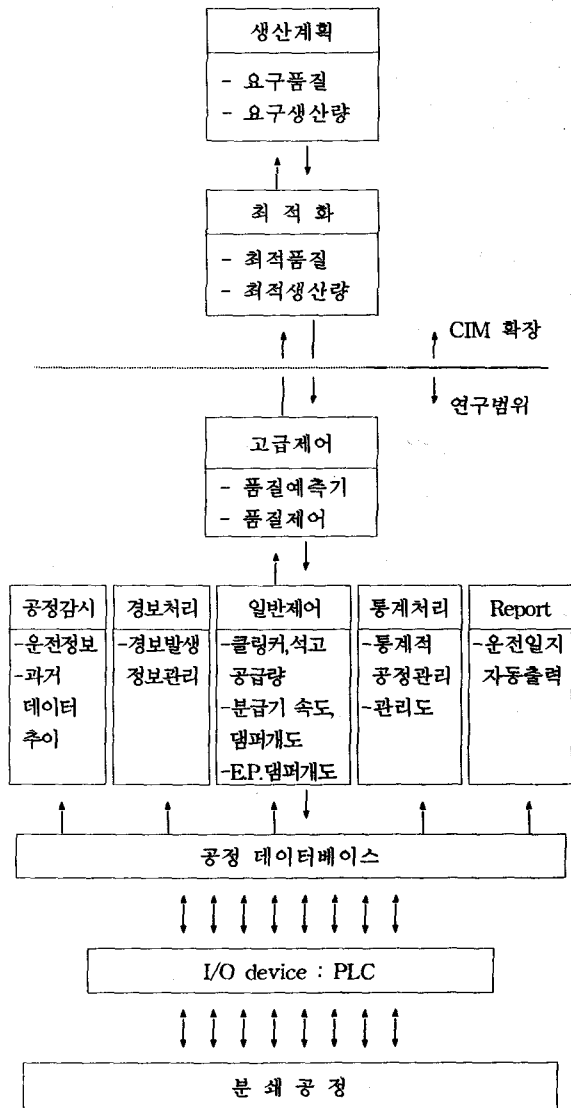


Figure 2. Hierarchical structure of the automatic control system.

조작하여 기존의 판넬에서도 출력되도록 계장설비를 개조하였다. 따라서 새로운 제어시스템이 정상적으로 작동하지 않거나 예기치 못한 문제를 발생하였을 경우 기존의 운전판넬을 이용하여 공정을 운용할 수 있다.

이와 같이 계장설비에 대해 이중적인 입출력시스템을 구성하면 시스템 운영상 비효율적인 측면도 있으나 새로운 제어시스템이 정상적으로 가동될 때까지 시멘트 생산계획에 차질을 주지 않고, 운전중에도 시스템 개조 및 제어기 테스트가 가능하고, 기존의 구형 판넬에 익숙했던 운전자들도 쉽게 새로운 제어시스템에 적응이 가능하다는 장점이 있다. 향후 새로 설치된 제어시스템의 효용성과 안정성이 확인되면 기존의 구형 시스템을 철거하고 새로운 제어시스템으로만 운전할 계획이다. Fig. 3 은 북평공장에 기 설치된 계장시스템의 개괄도이다.

계장설비의 부분개조가 완료된 후, PLC 판넬로 입출력되는 신호를 실시간 데이터베이스에 저장하고 이것을 이용하여 자동제어시스템을 구축하였다. 북평공장 분쇄공정 자동화에 이용한 MMI (Man Machine Interface) 소프트웨어는 미국 Intellution 사의 FIX32 이다. FIX32 는 실시간에서 공정감시 및 제어를 할 수 있는 기능이 내장되어있는 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 소프트웨어이다. 시멘트밀 운전에 필요한 공정감시화면, 경보처리, 통계처리, report 출력 등은 FIX32 에서 제공하는 기능을 활용하였다. 품질제어기는 본 연구를 통해 자체적으로 개발하고 이를 C 언어로 프로그래밍하여 구현하고자 하였다.

공정감시 및 경보처리 화면들은 운전자의 요구사항에 맞게 편의성을 최대한 고려하여 간단하면서도 총괄적으로 공정상태를 파악할 수 있게 구

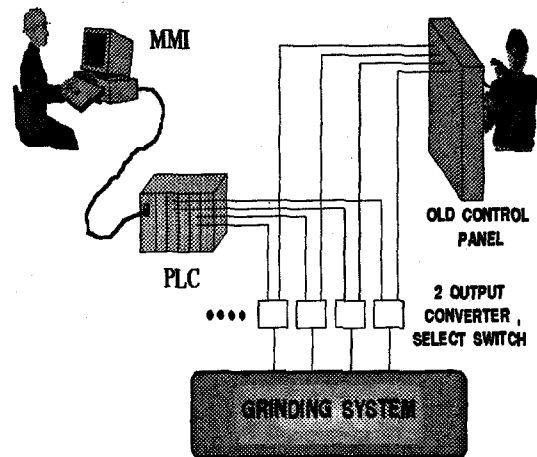


Figure 3. Overview of the control equipment.

성하였고, 화면구성시 모든 명령어와 경보는 한 글을 사용하여 운전자들이 쉽게 이 제어시스템에 적용하도록 하였다.

### 4.3. 자동제어시스템 설치

앞서 언급한 바와 같이 새로운 제어시스템을 설치하기 위해서는 계장설비의 일부 개조가 불가피하다. PLC 판넬을 제작하기에 앞서 현장으로부터 PLC로 입출력될 신호들을 분류하는 작업을 실시하였다. 선정된 신호들은 신호의 종류와 신호의 형태에 따라 분류하여 이중출력을 위해 PLC 판넬에서 사용할 이중출력변환기의 사양을 결정하였다.

추가로 설치할 PLC 판넬은 개조 공사가 시작되기 전에 미리 완성하여 점검까지 완료하였다. PLC 판넬은 PLC, 이중출력을 위한 이중출력변환기와 선택스위치, 기기 보호를 위한 relay module로 구성되어 있다.

북평공장 특성상 계장설비개조에 의한 조업중단을 최소화하기 위해 개조공사를 공장 운휴일정에 맞췄다. 개조공사에 소요되는 조업중단 시간을 단축하기 위해서 PLC 판넬과 이와 연결될 현장 신호선을 미리 설치해 놓고, 조업을 중단한 상태에서 PLC 판넬과 현장 신호선과의 연결 작업만 수행하였다. 이 작업에 소요된 시간은 단 24 시간에 불과하였다.

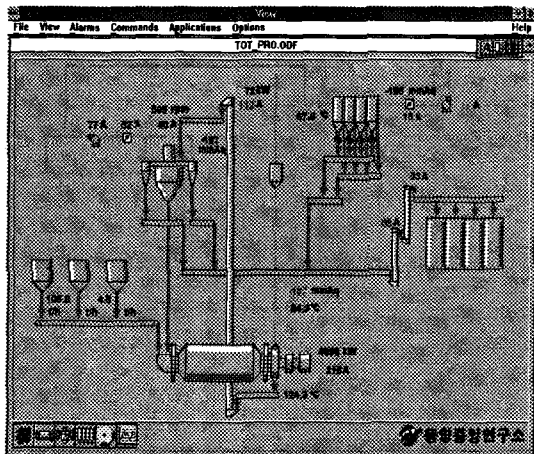


Figure 4. On-line monitoring of the total grinding process.

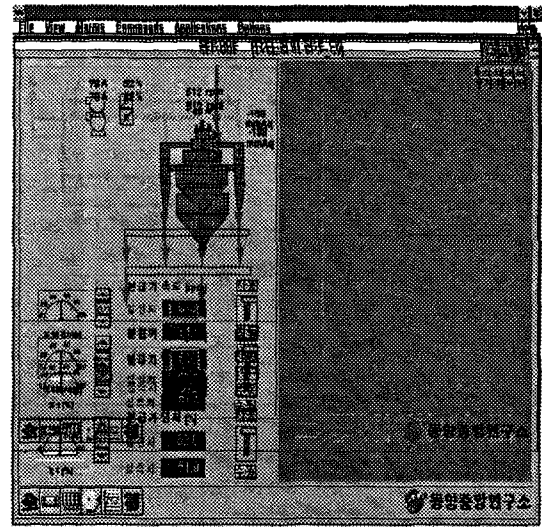


Figure 5. On-line monitoring of the separator process.

## 5. 자동제어시스템 적용 결과

당사는 현재 수동 운전중인 북평공장 분쇄공정에 PC 중심의 자동제어시스템을 설치하여 운영하고 있다. 이 시스템은 기존의 노후된 구형 계장시스템을 장기간 생산 중단 없이 개조가 가능하고, PC 중심의 시스템이므로 시스템 설치비 및 운용비가 저렴하며, 시스템 구성과 변경이 용이하다는 장점이 있다.

새로운 자동제어 시스템 설치로 클링커, 석고 공급량, 분급기 분산판 속도제어, 분급기 순환팬 댐퍼개도제어 및 E.P. 팬 댐퍼개도제어 기능이 포함된 일반제어가 가능하게 되었다. 또한, 공정의 감시기능이 강화되어 모든 공정변수의 과거데이터가 저장되고, 그 경향이 그래프로 표시되어 운전자가 이전 공정의 상태를 쉽게 파악할 수 있게 되었다. Fig. 4는 전체공정을 모니터링하는 감시화면이고, Fig. 5는 분급공정의 감시화면이다.

추가로, 정보처리블럭에서는 경보발생시간, 경보발생원인 및 경보발생장소 등이 화면에 표시되고 동시에 저장된다. 특히, 통계처리기능을 추가하여 중요 공정변수들의 X 관리도, R 관리도, S 관리도가 실시간으로 표시되어 통계적 공정관리를 통하여 공정의 이상을 진단할 수 있게 되었다. Report 블럭에서는 데이터베이스에 저장되었던 과거데이터를 이용하여 이전까지 수작업으로

작성하였던 운전일지를 자동으로 출력시킨다.

## 6. 결론 및 향후계획

본 연구의 목표는 생산량 및 품질제어가 가능한 PC 중심의 고급제어시스템 개발이다. 즉, 수동 운전중인 구형 분쇄공정에 PC 중심의 고급제어시스템을 설치하여 공정의 효율성을 높이고 안정적인 시멘트 품질을 유지하는데 그 목적이 있다. 당사는 PC 중심의 분쇄공정 자동제어시스템 개발을 북평공장 1호 시멘트밀을 대상으로 단계적으로 수행하고 있다. 그 첫 단계로 기존의 제어판넬과 새로 설치한 제어시스템을 모두 사용할 수 있도록 이중구조로 계장설비를 개조하였다. 이를 기반으로 시멘트 품질을 제어할 수 있는 제어기를 개발하고 새로운 제어시스템의 효용성과 안정성이 확인되면 기존의 구형 시스템을 철거하고 새로운 제어시스템으로만 운전할 계획이다.

현재 북평공장에서는 새로 설치된 제어시스템을 이용하여 총괄적이고 효과적인 공정감시가 이루어지고, 수동으로 운전되던 조절변수들도 자동으로 조절되고 있다. 또한, 품질제어기 개발을 위한 기초단계로서, 실험실적으로 시멘트 분말도를 측정하지 않더라도 공정변수들만으로 시멘트 분말도를 예측할 수 있는 품질예측기가 개발되어 실시간으로 품질을 감시하여 공정운전에 도움을 주고 있다. 현재 기 개발된 품질예측기가 예측한 실시간 대의 분말도 데이터를 목표품질과 비교하

여 적절한 공정조절변수 설정치를 하부 일반제어기로 전달하는 품질제어기는 개발 중이다.

### <참고문헌>

1. Hwang, I. Y., Bang, S. H., Kim, G. B. and Lee, K. S. : "Correlation analysis of variables and construction of experimental model for a cement grinding process", *Korea Automatic Control Conference*, pp. 576-581 (1993)
2. V. van Breusegem, L. Chen, V. Werbrouck, G. Bastin and V. Werts : "Multivariable linear quadratic control of a cement mill", *Control Eng. Practice*, Vol. 2, No. 4, pp. 605-611 (1994)
3. Hulbert, D. : "The state of the art in the control of milling circuits", *Automation in Mining, Mineral and Metal Processing*, Oxford. IFAC Pergamon Press, pp. 1-10 (1989)
4. Ciganek, C. and K. Kreysa : "Two parameter control system for a cement grinding process", *Zement-Kalk-Gips*, No. 7, pp 364-370 (1991)
5. Keviczky, L., Hilger, M. and Kolostori, J. : "Mathematics and Control Engineering of Grinding Technology", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1989)