

분산 제어 시스템의 구조 제안 및 성능 평가를 위한 모의 실험

°김 평 수, 권 옥 현
서울대학교 제어계측공학과

Proposal of Distributed Control System Architecture and Simulation for Performance Evaluation

°Pyoung Soo Kim, Wook Hyun Kwon
Dept. of Control and Instrumentation. Eng., Seoul National University

Abstract

This paper presents the concepts developed to propose Distributed Control System(DCS). To achieve adequate satisfaction under various conditions, the DCS should be designed from two points of view of functions distributions and performance planning. Performance evaluation criteria can be specified by the response time between units and the utilization of each unit. One has to also consider the ease and the cost of installation, maintenance, repair.

Based on these characteristics, different system configuration can be evaluated and compared through results about evaluation criteria in order to select the best DCS for particular process. The results, in abbreviated form, of the simulation DCS controlling a CAL(Continuous Annealing Line) plant of iron process are presented.

1. 서론

분산 제어 시스템은 공정의 분산 및 최적 제어를 통한 생산성 향상은 물론, 에너지 절감, 생산 원가 절감, 인력 절감 등의 제반 효과를 얻을 수 있어 공장 자동화의 확산과 함께 국내 전 산업계에 보편적으로 채용되었다[1].

플랜트의 감시 및 제어를 위한 분산 제어 시스템은 다양한 특성을 필요로 한다. 기존의 분산 제어 시스템은 가능한 한 어떤 특정한 요구를 만족시키기 위한 특수한 형태의 구조로 제안되어 왔다. 특히 이런 형태의 구조들은 각 노드에서 최대 프로세싱 능력을 확신할 수밖에 없기 때문에 모든 요소가 요구 사양보다 크게 구성된다. 비용 및 성능간에 최적의 균형을 얻기 위해 분산 제어 시스템의 구조는 각각의 응용에 대해 특정한 요구들에 대해 부합하도록 선택되어야 한다[2,3].

본 논문에서는 사용 목적에 적합한 분산 제어 시스템의 최적의 구조를 얻는 과정을 보이기 위해 실제 대상 공정 플랜트로 포함 제철 공장 CAL 공정을 선택하였다. 현재 시스템을 분석하여 구성 및 성능 면에서의 문제점을 조사한 후 이를 개선시키기 위한 몇몇 분산 제어 시스템의 구조를 제안하고 모의 실험 및 비교 평가를 행한 후 최적의 구조를 얻어낸다.

논문의 구성은 다음과 같은 순서로 이루어진다. 제 2 장에서는 분산 제어 시스템의 구조 제안 과정을 설명하고, 제 3 장에서는 실제 철강 공정 플랜트를 위해 제안된 분산 제어 시스템의 구조, 모의 실험 및 비교 평가 결과를 보인다. 마지막으로 4 장에서 결론을 맺는다.

2 분산 제어 시스템 구조의 제안 과정

분산 제어 시스템 구조의 제안 과정은 다음과 같다. 제어할 대상 플랜트를 자세히 분석하여 현재 수행 중인 TASK들을 자세히 분석한다. 이 내용을 바탕으로 사용 목적에 적합한 분산 제어 시스템의 몇몇 구조를 제안한다. 각 시스템 구조에 대해 구성 요소에서 필요한 TASK들의 특성 및 다른 구성 요소와의 통신 관련 내용을 정하여 각 구성 요소 및 전체 시스템에 대해 모델링을 행한다. 제안한 분산 제어 시스템이 실제의 경우 어떠한 동작을 행할지는 불확실하므로 제시한 구조에 대해서 타당성을 부여하기 위하여 모의 실험의 방법을 선택하고 이를 위해 상용 모의 실험 장치를 이용한다. 모의 실험은 각 요소 대부분의 제어 프로그램의 동작이 주기적으로 행해지는 연속적인 산업 공정 제어 시스템에 적용되어질 수 있으며, 특히 특정 분산 제어 시스템 구조의 디자인에 충분하다[4].

제안된 각 분산 제어 시스템 구조의 비교 평가는 각 구성 요소의 실시간 응답성 및 부하율, 구성 요소간의 응답 시간 등과 같이 모의 실험을 통해 얻을 수 있는 요소들과, 시스템의 구축, 유지 및 보수등과 같은 요소들을 고려해서 한다.

3. 철강 공정 CAL에의 적용

3.1 현재 설치된 CAL 제어 시스템의 개요

CAL(Continuous Annealing Line)은 철강 공정 라인 중 완제품 단계로서 높은 강도의 철강을 생산하기 위해 철판의 열처리와 냉처리를 주로 행하는 생산 라인이다[5]. 실제 포함 제철 공장의 CAL 제어 시스템의 구성도를 [그림3.1]에 나타낸다.

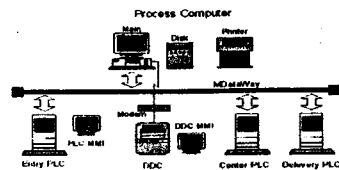


그림 3.1 현재 CAL 제어 시스템의 구조

기존 시스템의 구축 면에서 문제점은 기능 중복으로 인한 시스템의 효율 저하, 여러 가지의 독립 시스템 구축으로 인한 비용 증가, 특정 공급자 전용의 네트워크 사용으로 인한 시스템의 확장 및 교체 등이 있다. 본 장에서는 위와 같은 기존 시스템의 문제점을 개선하기 위해 몇몇 분산 제어 시스템의

구조를 제안하고 모의 실험을 위한 모델링을 한다. 각 구조에 대해 모의 실험 및 비교 평가를 통해 최적의 구조를 얻어낸다.

3.2 분산 제어 시스템의 제안 구조

제안될 제어 시스템의 구성 요소를 보면 전체 시스템을 관리하는 운전부(Process Computer), 프로세스 상황을 화면으로 감시하는 MMI, 공정 데이터의 통합 관리를 위한 데이터 베이스, EWS, Printer, 디지털 제어를 중심으로 하는 PLC 및 아날로그 제어를 중심으로 하는 DDC를 포함하는 제어부로 이루어진다.

3.2.1 제안 구조 I

[그림3.2]에 나타난 구조 I의 가장 큰 특징은 분산 제어 시스템의 구성 요소가 단일 네트워크 상에 연결되어 있다는 것이고 MMI 및 데이터 베이스가 네트워크 상에 통합 형태 한 대로 이루어진다.

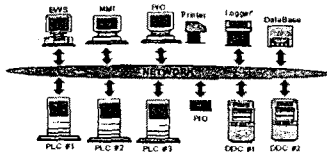


그림 3.2 제안 구조 I

3.2.2 제안 구조 II

제안 구조 II는 [그림3.3]과 같이 전체 시스템 네트워크의 부하량과 PLC들이나 DDC들간의 실시간 통신을 위해 PLC제어부를 위한 네트워크와 DDC 제어부를 위한 네트워크가 분리되어 존재한다. 이 네트워크들은 전체 시스템 네트워크와 GateWay를 통해서 연결된다.

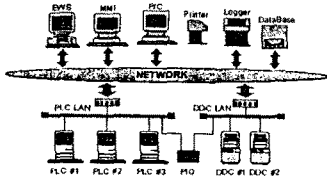


그림 3.3 제안 구조 II

3.2.3 제안 구조 III

[그림3.4]의 제안 구조 III은 MMI나 데이터베이스의 실시간 응답 및 저장을 위해 PLC 제어부, DDC 제어부에 각각 분산 배치된 구조이다.

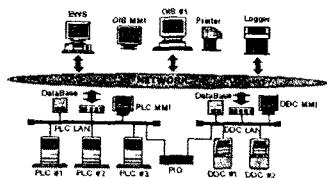


그림 3.4 제안 구조 III

3.3 구성 요소의 타스크 분석 및 모델링

3.3.1 프로세스 컴퓨터(Process Computer)

프로세스 컴퓨터는 플랜트 운전전에 필요한 감시, 조작 및

진단을 위한 부분으로 전체 시스템 구성 요소의 프로세스 정보를 총괄적으로 관리하는 부분이다. 프로세스 컴퓨터의 내부 동작을 표현하기 위한 모델을 [그림3.5(a)]와 같이 나타낸다. 모델을 구성하는 요소를 살펴보면 타스크들에 대해서 서비스 순서를 정해 주는 스케줄러(Scheduler), 스케줄링이나 서비스를 받기 위해 기다리는 큐(Que), 서비스를 수행하는 서버(Server), 그리고 다른 구성 요소에서 전송된 정보를 저장하고 내부 타스크에 대한 처리를 수행하기 위한 일정 기억 장소(Scheduler Memory)로 구성이 된다.

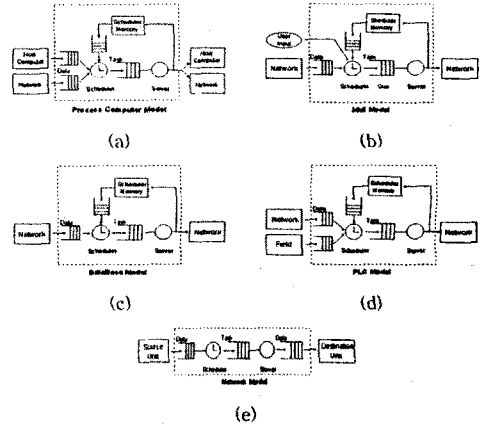


그림 3.5 구성 요소의 모델

3.3.2 MMI(Man Machine Interface)

[그림 3.5(b)]모델로 나타난 MMI는 운전 감시를 위해 각 제어부의 프로세스 입력력 정보들에 대해서 다양한 그래픽으로 화면상에 실시간으로 나타내는 일을 주로 하며 오퍼레이터 요구나 이상 상태 현상에 대하여 고속 응답을 제공한다.

3.3.3 데이터 베이스(DataBase)

데이터베이스는 프로세스 정보의 효율적인 운용 관리를 위해서 실시간으로 통합 관리하고 공유하기 위한 기능을 담당한다. [그림 3.5(c)]에 나타난 데이터 베이스의 모델은 네트워크를 통해 전송된 정보를 일정 기억 장소에 저장, 다른 구성 요소의 명령에 관한 타스크등으로 이루어진다.

3.3.4 PLC 및 DDC 제어부

PLC는 CAL에서 고속의 응답을 요구하는 디지털 제어를 중심으로 하며 소수의 아날로그 제어도 수행하는 부분이다. DDC는 수학적 알고리즘을 바탕으로 하는 아날로그 제어와 공정 라인인 설비 제어를 중심으로 행하는 부분이다.

PLC 및 DDC의 내부 동작 표현하기 위한 모델을 [그림 3.5(d)]와 같이 나타낸다. 네트워크를 통해 다른 구성 요소로부터 전송된 정보를 일정 기억 장소에 저장되고 이를 이용하여 네트워크를 통해 명령을 내린 다른 구성 요소에 응답한다. 가장 수행 빈도 수가 많은 타스크는 네트워크를 통해서 다른 구성 요소로 각종 정보를 주기적으로 전송하는 타스크이다.

3.3.5 Network의 모델링

임의의 구성 요소(Source Unit)에서 동시 다발적으로 발생된 정보를 처리하여 시간 내에 목적지 구성 요소(Destination Unit)로 응답하는 네트워크 모델을 [그림 3.5(e)]에 나타낸다.

3.4 모의 실험 결과 및 비교 평가

모의 실험의 결과는 [표 3.1]과 같이 각 구조에 대해 주요 구성 요소의 부하율 및 하위 PLC 및 DDC 제어부에서 발생된 정보들이 상위 운전부, MMI, 데이터 베이스에 도착하여 응답하는 데까지의 시간을 측정하였다. 모의 실험 결과와 시스템의 구축, 유지, 보수 측면에서의 결과를 조합하여 비교 평가를 한 후 최적의 구조를 얻어낸다. 모의 실험 중 각 구성 요소에서 발생된 사건(Event)의 합은 약 40,000회 정도이다.

3.4.1 모의 실험 결과

표 3.1 모의 실험 결과

결과 내용	실험		
	구조 I	구조 II	구조 III
운전부 부하율	0.3610	0.3294	0.3599
PLC 부하율	0.4269	0.4229	0.4296
DDC 부하율	0.1986	0.1935	0.2098
MMI 부하율	0.1816	0.1782	0.1710
DB 부하율	0.5803	0.5782	0.5703
Network 부하율	0.5066	0.3370	0.1173
LAN 부하율		0.2233	0.2304
PLC ⇔ 운전부 응답시간	0.3539	0.4216	0.4088
DDC ⇔ 운전부 응답시간	0.4225	0.5557	0.4453
PLC ⇔ MMI 응답시간	0.3621	0.3772	0.3472
DDC ⇔ MMI 응답시간	0.3208	0.4528	0.2418
PLC ⇔ DB 응답시간	0.2784	0.3666	0.2605
DDC ⇔ DB 응답시간	0.3038	0.4581	0.2334

3.4.2 실험 결과에 대한 분석 및 비교 평가

제안 구조 1은 단일 네트워크로 구성되어 있고 통합 MMI와 데이터 베이스로 구축되어 있어 개방형 구조를 따르기 때문에 유지 및 보수 측면에서 다른 구조에 비해 매우 유리하고 정보의 집중화라는 분산 제어 시스템의 가장 기본적인 목적에 부응한다. 하위 제어부와 상위 구성 요소간의 응답속도는 단일 네트워크를 봉하기 때문에 다른 구조에 비해서 좋다. 하지만 모든 구성 요소가 단일 네트워크 모두 연결되어 있고 제어부들 간의 실시간 통신으로 인해 네트워크 부하율이 상당히 높아진다. 이로 인해 고성능의 네트워크 환경 구축이 필요하고, 대용량의 통합 MMI나 데이터 베이스의 구축이 필요하기 때문에 상당한 비용이 요구되는 단점도 있다.

제안 구조 2는 일단 제어부가 GateWay를 통해 네트워크에 연결되기 때문에 네트워크에 미치는 부하가 상당히 적어지기 때문에 네트워크의 부하 측면 및 구축 비용 면에서 제안 구조 1보다 유리하다. 정보의 집중화라는 기본 목적에도 부합되는 구조이다. 반면에 하위 제어부에서 발생된 정보들이 각 제어부의 네트워크 및 GateWay를 거쳐 상위 구성 요소에 도착하기 때문에 응답 속도가 구조 1에 비해 약간 나빠진다.

제안 구조 3은 MMI나 데이터 베이스의 실시간 응답이나 저장용 위해 각 제어부별로 분산 배치되어 있다. 하위 제어부에서 발생된 정보들이 MMI나 데이터 베이스에 도착하는 응답 시간 면에서나 네트워크의 부하 면에서 다른 구조에 비해 이점을 가진다. 하지만 개방형 구조와 정보의 집중화라는 기본 목적 측면에서 보면 매우 비효율적이고 이를 구축, 유지, 보수 및 관리 측면에서 불리한 점을 지니고 있다.

모의 실험을 통한 결과에서 얻을 수 있는 평가 요소와 시스템 구축의 용이성, 비용, 유지 및 보수 측면과 같은 평가 요소들 모두 고려해볼때 제안 구조 2가 제안된 세 구조 중에서 가장 최적의 구조라 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 공정 플랜트 제어를 위한 분산 제어 시스템의 구조의 제안과 모의 실험을 위한 구성 요소의 모델링 및 모의 실험 방법을 보였다. 이를 실제의 플랜트에 적용시키기 위해 제철 공정의 특정 생산 라인을 대상으로 하여 모의 실험을 수행하였다. 각 제안 구조에 대한 비교 평가 결과는 모의 실험을 통해 수치적으로 얻을 수 있는 성능 면에서의 평가 요소와 모의 실험을 통해 얻을 수 없는 시스템의 구축, 유지 및 보수 면에서의 평가 요소를 조합해서 얻어낸다.

실제 시스템을 사용하는 측에서 평가 요소에 대한 가중치를 변수로 하여 중요시하려는 요소에 대해 가중치를 변화시키면서 최적의 분산 제어 시스템 구조를 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] T. Rakhochen, "Open System in Distributed Industrial Control - A Critical Review", in *Proc. the 12th IFAC. DCCS'94*, pp71-76, 1994
- [2] Dorel J, Damsker, "Toward advanced concurrency, distribution, integration, and openness of power plant Distributed Control Systems", *IEEE Trans., Energy Conversion*, vol 6, pp297-301, 1991
- [3] J. Davison, J.L. House, "Mathematical Model for Simulation of Hierarchically Distributed Process Control Computer Systems", *Automatica*, vol 24, pp677-686, 1988
- [4] S.Horiike, Y. Okazaki and H. Soeda, "A Simulator for Performance Estimation of Open Distributed Computer Control Systems", in *Proc. the 12th IFAC. DCCS'94*, pp 159-164, 1994
- [5] Christopher D. Kelly, Dhani Watanapongse, "Application of Modern Control to a Continuous Anneal Line", *IEEE Control Systems Magazine*, pp33-37, 1988