

# 내부 궤환 제어 구조를 갖는 시스템의 네트워크형 분산 제어

(Network Type Distributed Control of a System with Inner Loop Control Structure)

최군호\*

(Goon-Ho Choi)

## Abstract

In this paper, an idea of a network type distributed control of a system with inner loop control structure will be considered. Generally, in case of a control system with inner loop control structure, it is not easy to implement circuits and programming. Using network type distributed control structure, it will show how it is better than before. CAN(Controller Area Network) protocol which has been known that it has a high reliability on the signal in the various network protocols is used. Also, Arago's Disk System which has a inner loop control structure is made to validate effectiveness of the proposed method.

Key Words : Network Type Distributed Control, CAN(Controller Area Network), Arago Disk System

## 1. 서 론

네트워크와 제어를 연계한 분산형 제어 시스템은 기존의 제어 시스템 구조를 통신 기술의 발달을 통해 보다 편리하고 간단하게 구축한 또 다른 응용 예이다. 최근에 많은 연구자들에 의해 이와 같은 형태의 연구가 광범위하게 전개되고 있으며, 이는 또 다른 제어 시스템의 한 분류로 자리 잡아가고 있는 추세이다[1-2]. 특히 이러한 분산 제어 시스템(Distributed Control

System)의 제어 구조에 대한 연구는 반도체 생산 산업과 같이 고도화된 자동화 기기의 집합체임과 동시에 생산 공정의 안정된 운영을 필요로 하는 공정 자동화 설비 등에 보다 효과적일 수 있다. 이것은 안정된 시스템의 운영 및 유지 관리를 위하여 다양한 형태의 관리 네트워크를 구성하고 이를 통해 장비간의 통신은 물론 장비 내부의 각종 기기들도 다양한 형태의 분산 제어 네트워크를 구성하고 있기 때문이다[3-5].

본 논문에서는 기존의 제어 구조 중에서 내부 궤환 제어기(Inner Loop Controller)를 갖는 구조의 제어 시스템을 네트워크를 이용한 분산 제어 시스템으로 구현하여 보고자 한다. 일반적으로 내부 궤환 제어기는 시스템의 제어 대상 플랜트를 여러 개의 서브 플랜트로 나눌 수 있고 그 중에서 특정한 일부분의 서브 플랜트의 안정도를 만족하도록 하거나 성능 개선을 위하여 해당 서브 플랜트에만 적용하는 특정한 제어기

\* 주저자 : 경성대학교 전기공학과 부교수  
\* Main author : KyungSung Univ. Associate Professor, Dept. of Electrical Eng.  
Tel : 051-663-4798, Fax : 051-624-5980  
E-mail : goonho@ks.ac.kr  
접수일자 : 2013년 12월 16일  
1차심사 : 2013년 12월 19일  
심사완료 : 2014년 1월 6일

를 말한다. 이러한 제어 기법은 부분적인 개선을 통해 시스템의 전체적인 제어 성능을 개선하는 한 방법이다[6-8]. 기존의 분산 제어 시스템의 경우 일반적인 형태와 네트워크형의 두 가지 형태의 분산 제어 구조가 존재하는데 본 논문에서는 내부 궤환 제어기 적용성이 더 뛰어나고 응용예가 쉬운 네트워크형 분산 제어 구조를 사용하고자 한다. 아울러 이와 같은 분산 제어 시스템에서 문제될 수 있는 통신 오류 등의 문제를 고려하여 Fieldbus 중에서 가장 안정하다고 알려진 CAN 프로토콜을 이용한다. 끝으로 제안된 구조의 실제적인 검증을 위하여 아라고 원판 시스템을 구성하고 이를 통하여 제안된 내용의 실용 가능성 여부를 판단하고자 한다.

## 2. 이론고찰

### 2.1 내부 궤환 제어기 구조를 갖는 제어 시스템

보통의 제어 시스템은 그림 1 (a)에서 보는 바와 같이 전체 시스템을 제어하는 제어기가 하나 존재하도록 구성하여 이 제어기가 전체 시스템을 안정화시키고 또한 목표하는 성능을 구현할 수 있도록 하는 것이 일반적이다. 그런데 시스템의 플랜트를 그림 1 (b)에서와 같이 두 개 이상의 플랜트로 구분할 수 있을 때 필요에 따라 각각의 개별 플랜트를 제어하는 내부 궤환 제어기(Inner Loop Controller)를 포함할 수 있도록 함으로써 추가적인 시스템의 성능 개선을 도모하는 경우가 있다. 따라서 이러한 경우의 제어기 설계는 우선 내부 루프를 안정화하고 최적의 성능을 구현하는 내부 제어기( $C_2$ )를 설계하고 이를 포함한 전체 시스템을 제어하는 주 제어기( $C_1$ )를 설계하는 방식으로 제어기 설계를 진행한다(그림 2).

이러한 형태의 제어 구조는 시스템 전체를 고려하여 제어 안정도와 성능 개선을 구현하는 제어기를 설계하는 것에 비하여 시스템의 일부분만을 대상으로 하는 제어기를 먼저 설계함으로써 시스템에서 요구하는 제어 성능 중에서 중요한 부분이나 또는 제어가 어려

운 부분만을 먼저 고려할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 제어기 설계가 보다 어려워지고 이와 같은 시스템을 실제로 구현할 경우 전체 구조가 복잡해짐으로써 회로를 구성하거나 회로 선로를 연결하는 데에 복잡도가 증가하는 등의 문제점을 가지게 된다[6-8].

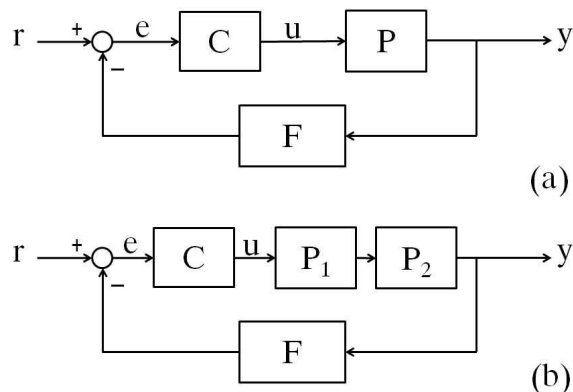


그림 1. 일반적인 제어 시스템의 블록도  
Fig. 1. A block diagram of a control system

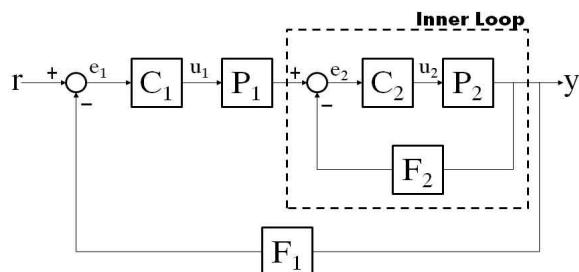


그림 2. 내부 궤환 제어 구조를 포함한 제어 시스템의 블록선도  
Fig. 2. A block diagram of a control system with inner loop control structure

### 2.2 분산형 제어 시스템

분산형 제어 시스템(Distributed Control Systems, DCSs)은 기존의 중앙 집중형 제어시스템이 가지는 제어 구조와 다른 개념으로 고안된 것으로, 플랜트 내의 각각의 기능을 부분별로 나누어서 처리하도록 함으로써 주 제어기의 부하를 각 부 시스템(Sub-System)으로 분산하여 중앙 집중형 구조보다 제어 성

능을 향상시킬 수 있다. 또한 부 시스템의 일부 기능이 문제가 생기더라도 다른 시스템으로 대체하거나 보완하도록 하는 것이 가능하므로 전체 시스템의 신뢰도를 높일 수 있다[9-11].

분산형 제어 시스템은 그림 3과 같은 일반적인 형태의 분산 제어 시스템과 그림 4와 같은 네트워크형 분산 제어 시스템으로 다시 나눌 수 있다. 그림 3의 일반적인 분산 제어 시스템의 경우, 각각의 시스템이 독자적인 제어 구조를 가지고 있고 이를 상위의 주 제어기가 네트워크를 통해 얻어진 정보를 이용하여 관리하는 구조를 갖는다. 이를 통해 중앙에서 처리해야 할 일들을 개별 시스템에 나누어 줌으로써 제어 구조의 효율성을 갖도록 하는 구조이다. 비교적 시스템의 구현이 용이하나 만약 분산 시스템 내부의 변화가 있을 경우 이에 대한 하드웨어적인 작업이 추가적으로 필요하게 된다.

그림 4와 같은 네트워크형 분산 제어 시스템은 각 시스템을 구성하는 플랜트를 최대한 분리하여 제어기, 센서, 구동기등을 다시 네트워크 상의 부 시스템으로 나누어 처리하는 것으로 다른 분산 제어 시스템과 가장 큰 차이점은 제어기의 피드백 루프 역시 단일 공통 통신 선로(BUS)를 사용한다는 것이다. 즉 그림 3에서는 센서나 구동 신호가 제어기 및 플랜트와 직접 연결되는 것과 달리, 그림 4에서는 공유 통신 선로(BUS)를 이용하는 것으로 이와 같은 구성의 장점은 시스템의 설치 비용, 유지 및 보수 등에 대한 편리성을 들 수 있다. 반면에 각 신호가 동일 통신 선로를 이용함으로써 각 신호의 전송부와 수신부가 명확해야 하며 또한 신호의 충돌로 인한 데이터의 손실을 막을 수 있어야 한다[2,12].

네트워크형 구조의 경우 각 플랜트들이 독립되어 있고 이 플랜트 사이의 정보를 취사 선택하는 것은 네트워크 상의 제어기 플랜트들의 프로그램 형태에 따라 좌우 되므로 운영하는 시스템에 변화가 있더라도 하드웨어적인 변화는 불필요한 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 내부 궤환 제어기 구조를 갖는 제어 시스템을 네트워크형 구조의 분산 제어 시스템으로 구현하고자 한다.

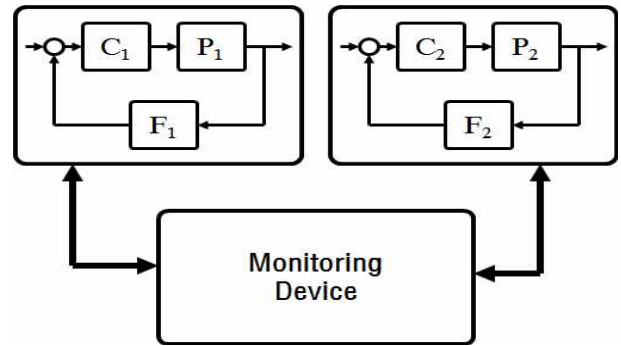


그림 3. 일반적인 분산제어 시스템(C:제어기, F:피드백, P:플랜트)

Fig. 3. Typical distributed control systems (C:Controller, F:Feedback, P:Plant)

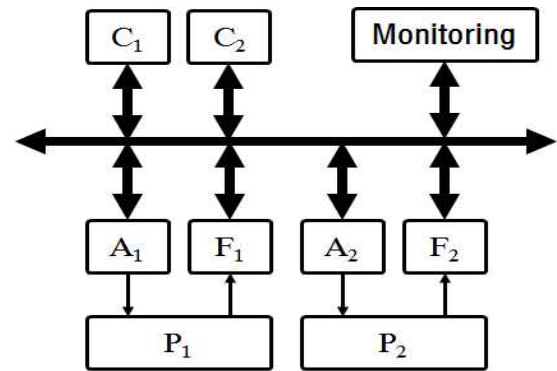


그림 4. 네트워크형 분산제어 시스템(C:제어기, A:액추에이터, F:피드백, P:플랜트)

Fig. 4. Network type distributed control systems (C:Controller, A: Actuator, F:Feedback, P:Plant)

### 2.3 내부 궤환형 네트워크형 분산 제어기

내부 궤환 제어기를 가지는 네트워크형 분산 제어 구조의 경우 기본적인 형태는 내부 궤환 제어기가 없는 구조와 형태상으로는 동일하다. 다만 후자의 경우 그림 5 (a)에서  $C_1$  제어기가  $P_1$  플랜트를 제어하고,  $C_2$  제어기는  $P_2$  플랜트를 제어하는 형태로 서로 독립되어 있는 반면에 전자의 경우  $C_2$ 의 제어기의 역할은 같지만  $C_1$ 의 제어기가  $P_1, P_2$  시스템 전체를 관장하는 주 제어기라는 점이 다르다(그림 5 (b)). 즉  $C_2$  제어기는  $C_1$  제어기의 내부 궤환 제어기로서 종속적인 관계를 가지게 된다. 이것은 네트워크형 구조의 분산제어

시스템에서는 필요에 따라 특별한 H/W적인 변경 없이 제어의 내부 프로그램의 변경을 통해 내부 궤환 제어 구조를 가질 수 있도록 할 수 있다는 것이며, 이는 네트워크형 분산 제어 구조의 또 하나의 장점이 된다고 할 수 있다.

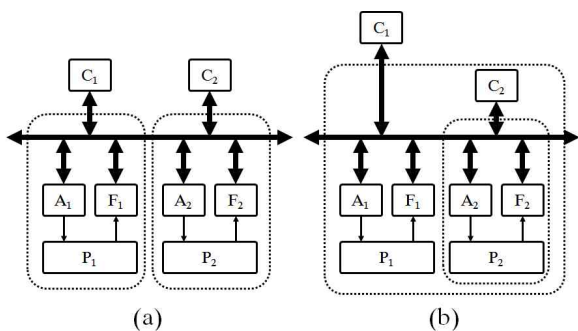


그림 5. (a) 일반적인 네트워크형 분산제어, (b)내부 궤환 제어가 적용된 경우  
 Fig. 5. (a) Typical network type distributed control systems, (b) In case of, with a Inner Loop Control

앞서 설명한 바와 같이 네트워크형 분산 제어기 구조에서 내부 궤환 제어 구조를 가지도록 하는 것은 시스템 구성에 있어서 회로상의 변화는 없이 시스템의 제어기(내부, 외부 제어기)를 어떻게 설계(프로그램)하느냐에 달려 있다. 이 부분에 대하여는 아직까지 논의된 바가 없기 때문에 기존의 내부 궤환 제어 구조를 갖는 일반적인 시스템에서의 제어 가능 조건들을 우선 살펴 보면, 가장 큰 이슈는 내부 제어기의 제어 타이밍이 외부 제어기의 제어 타이밍 보다 빨라야 한다는 것이다. 즉 내부 제어기의 연산 시간이 외부 제어기 보다 느릴 경우 외부 제어기가 동작하기 위해 사용하는 결과 값이 실제로는 제어 결과가 반영되기 이전의 결과 값이 되기 때문이다. 특히 디지털 제어기로 구현할 경우 외부 제어기의 출력값(내부 제어기의 입력)이 내부 제어기의 출력값에 반영이 되지 않은 상태에서 다시 외부 제어기가 동작할 경우 사실상 외부 제어기가 동작하기 위하여 센싱한 결과 값이 자신의 제어 출력이 반영되지 않은 값은 되므로 제어기의 동작에 오류를 발생할 여지가 존재한다. 이는 특히 외부 제어기에 적분 성분을 갖는 제어 구조가 존재할 경우

결과값이 빠르게 누적되어 제어 성능에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 내부 루프 제어기를 포함하는 경우 내부 루프 제어기의 제어 샘플링 시간은 주 제어기의 제어 샘플링 시간 보다 빠르도록 구성해야 한다. 이러한 요건은 분산형 제어기 구조에서도 반영이 되어야 하므로 분산형 네트워크 제어 구조에서 주제어기로 설정되어 있는 제어기의 제어 샘플링 시간은 내부 제어기의 제어 샘플링 시간보다 느리게 설정하고자 한다.

이 외에 네트워크형 분산 제어기를 사용할 경우, 모든 신호가 동일 통신 선로(BUS)를 이용함으로써 데이터 송수신시 충돌이나 손실을 막을 수 있는 방법이 고려되어야 한다. 이러한 점을 고려하여 비교적 네트워크 신호 안정성이 높은 CAN 프로토콜을 사용하고자 하며, 아울러 네트워크 상의 각 통신 노드들의 우선순위를 명확히 함으로써 선로 단선 또는 단락 등의 심각한 고장인 경우를 제외하고는 통신이 가능하도록 하고자 한다.

## 2.4 CAN 프로토콜

네트워크형 분산 제어 시스템을 구현하기 위하여 본 논문에서는 CAN 프로토콜을 이용한다. CAN은 1986년 독일의 로베르트 보슈(Robert Bosch)에 의해 개발되어 현재는 ISO표준규격(ISO 11898, 1993)화 된 프로토콜로, 여러 나라에서 자동차의 ECU, ABS 시스템 등의 전장부에 적용되어 있고, 현재는 에어백, 미러 제어, 공조 기기 등으로 확대되고 있다. 최초의 CAN 소자가 1987년에 Intel에서 만들어진 이후, Philips, NEC 등에서 제조되고 있고, 현재는 센서/구동부(Sensor/Actuator) 접속을 위한 SDS(Honeywell), Actuator/PLC 접속을 위한 DeviceNet, 분산 제어를 위한 CAN Kingdom(Kvaser)등 각종 자동화 기기에서 다양한 응용 제품이 상용화되고 있다.

CAN의 장점은 국제 표준으로 선정되어 시장성이 뛰어나고, 높은 전송률과 안정성을 제공하고 있어서 다수의 ECU를 상호 연결하는 분산시스템의 실시간 제어를 효율적으로 지원할 수 있다는 것과, 각종 정보들이 네트워크를 통하여 공유되므로 주위 환경을 모

니터링하여 처리하는 일련의 작업 과정들에 대한 유연성을 증대시킬 수 있다는 것이다[13-15]. 비교적 근거리에서 짧은 신호의 송수신에 대해서는 가장 우수한 통신 방식으로 알려져 있으며, 이후 FiledBus의 한 형태인 DeviceNet의 기본 프로토콜로 확장되어 현재 가장 주목받는 제어용 네트워크 프로토콜의 하나가 되었다[16-17].

CAN의 특징은 OSI(Open Systems Interconnection)의 물리 계층(Physical Layer)과 데이터 링크 계층(Data Link Layer)만으로 이루어져 있어서 실제 시스템을 구축할 때, 적용하고자 하는 대상에 알맞도록 응용 계층(Application Layer)을 구성할 수 있다는 점이며 또한 사용하는 확인자 인가 방법에 따라 시스템의 성능이 크게 달라질 수 있다는 것이다. 이미 제안되어 있는 기존의 확인자 인가 방법은 크게 고정 순위 인가 방법과 동적 순위 인가 방법[18]으로 나뉘는데, 본 논문에서는 성능 개선 효과를 가지며 전체 시스템의 동작과 사용된 칩셋의 사양에 적합하다고 판단된 고정 순위 인가 방법을 사용하였다.

### 2.5 아라고 원판 시스템

아라고 원판 현상은 1822년 프랑스의 물리학자 Dominique François Jean Arago에 의해 처음 제시된 것으로 이후 1831년 Faraday의 전자 유도 현상 이론에 의해 그 이론적 근거를 갖게 되었다. Faraday는 이 현상을 회전하는 자속의 변화가 동판에 기전력을 유기시키고 이 기전력에 의해 생기는 전류의 흐름에 다시 자석으로부터의 자속이 인가되어, 이 전류의 흐름이 힘을 받는 것으로 설명하였으며 이는 유도 전동기의 회전 원리로서 널리 알려져 있다. 본 논문에서 사용하는 아라고 원판 시스템은 이를 응용한 것으로 비자성체 원판에 직결되어 있는 직류 전동기를 회전시킴으로써 원판에 자속변화를 유기시켜 자석막대에 일정량의 힘을 가하게 되고, 이 힘으로부터 유기되는 자석막대의 회전 토크를 추의 무게로 지지시켜 일정 제어 각을 유지하는 시스템이다. 그림 6은 실제 제작하고자 하는 아라고 원판 시스템의 전체 구성을 간략화하여 나타낸 것이다[19-20].

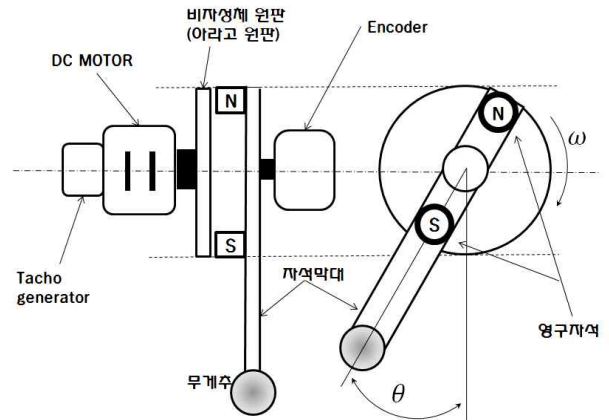


그림 6. 아라고 원판 시스템 구성도  
Fig. 6. The configuration of Arago's Disk System

그림 6에서 아라고 원판 시스템은 직류 전동기를 포함한 원판의 회전 부분(직류 전동기부)과 이 원판의 회전에 의한 자속의 변화로 생기는 힘에 의해 나타나는 각도의 변화 부분(아라고 원판부)으로 나누며, 자석막대의 제어각도를 측정하여 이 값을 기준 제어각과 비교하여 일정한 각을 유지할 수 있는 주 제어기를 설계함으로써 전체 시스템을 제어하는 구조이다. 아라고 원판 시스템은 직류 전동기를 이용하여 원판이 특정 속도로 회전하면 이 속도에 비례하여 자석 막대에 토크가 발생하고 이 토크와 추에 의한 중력이 평형을 이루는 각도에서 막대가 멈추게 된다. 따라서 원판의 회전 속도를 제어함으로써 비접촉 막대의 각도를 제어할 수 있다는 것이며 목표하는 각도에 대한 직류 전동기의 회전 속도 지령이 빠르게 추종될수록 전체 시스템의 성능을 높일 수 있음을 의미한다. 즉 직류 전동기 속도 추종을 위한 내부 제어기를 구성할 경우보다 효과적인 제어 시스템 구성이 가능함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 구조의 아라고 원판 시스템을 이용하여 네트워크형 분산 구조의 제어 시스템의 구현 및 실험을 진행하고자 한다.

### 2.6 내부 궤환 제어기를 갖는 네트워크형 분산 제어 구조의 아라고 원판 시스템

기존의 아라고 원판 시스템은 그림 7 (a)와 같이 직류 전동기 플랜트와 아라고 시스템 플랜트로 나누어

모델링할 수 있으며 이를 내부 제어가 포함된 형태인 그림 7 (b)와 같이 직류 전동기 속도를 위한 내부 제어기 형태를 포함한 형태로 나타낼 수 있다.

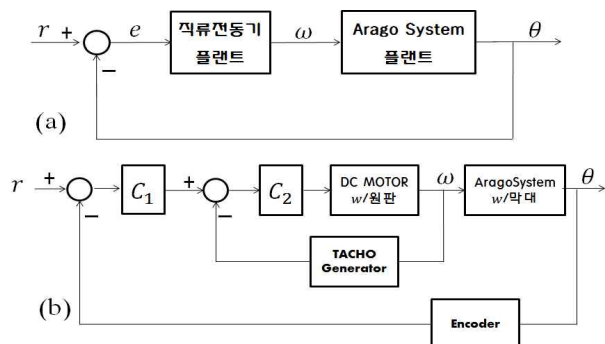


그림 7. (a) 아라고 원판 시스템의 블록도, (b)내부 궤환 제어가 적용된 경우  
 Fig. 7. (a) A blockdiagram of the Arago's Disk system, (b) In case of, with a Inner Loop Control

이를 바탕으로 실제 실험을 위하여 아라고 원판 제어 시스템을 구현하면 그림 8과 같다. 이러한 형태는 앞서 2.1절에서도 설명한 바와 같이 실제 시스템을 구현할 경우 전체 시스템의 복잡도를 증가시키며 특히 각 내부 플랜트 또는 센서 등의 위치가 공간적으로 떨어져 있을 경우 실제 회로 구현이 상당히 복잡해 지는 단점을 가지고 있다.

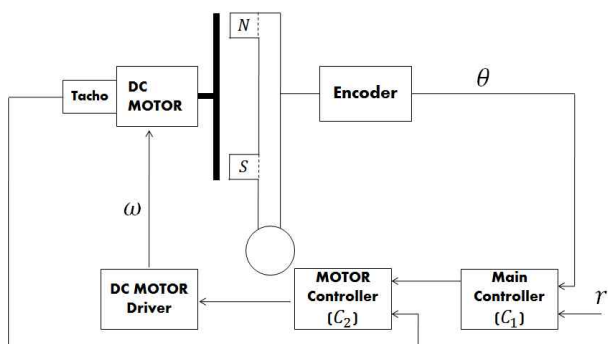


그림 8. 아라고 원판 시스템의 구성 개념도  
 Fig. 8. A concept diagram of the Arago's Disk system

이러한 문제점을 보완하여 그림 9와 같은 네트워크형 제어 구조를 제안한다.

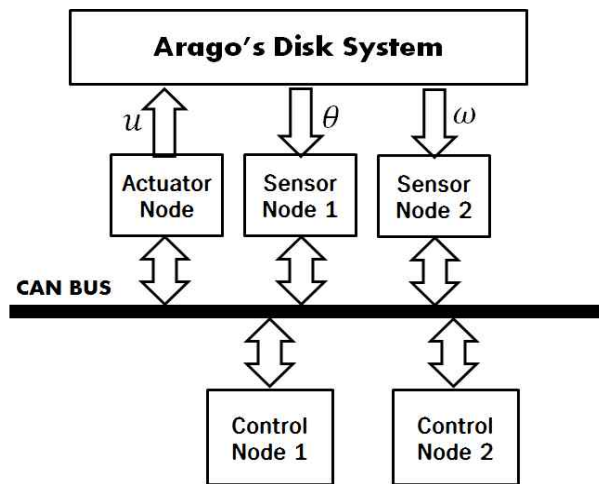


그림 9. 내부 궤환 제어를 갖는 네트워크형 아라고 원판 시스템  
 Fig. 9. A network type Arago's Disk system with a inner loop controller

이때 직류 전동기의 속도 제어 부분을 담당하는 내부 궤환 제어기 부분은 Actuator Node(AN), Sensor Node2(SN2) 및 Control Node2(CN2)이다. AN은 직류 전동기의 구동 드라이버 부분인데, CN2의 지령에 따라 아라고 원판의 속도를 바꾸는 역할을 한다. CN2는 SN2을 통하여 현재 원판의 회전 속도값을 읽어와서 AN으로 보내는 속도 지령을 계산해 내는 일을 담당하는 내부 제어기 역할 ( $C_2$ )을 한다. Control Node1 (CN1)은 전체 시스템의 제어를 담당하는 주 제어기 역할을 한다( $C_1$ ). CN1은 Sensor Node1(SN1)으로부터 막대의 각도 값을 읽어와서 이 값을 바탕으로 원판이 얼마의 속도로 회전해야 하는지에 대한 제어값을 생성한다. 이 값은 CN2로 전달되며 CN2에서는 이 값과 현재 전동기의 회전 속도값을 비교하여 원판이 요구하는 속도로 회전할 수 있도록 한다.

### 3. 실험 구성 비교 및 결과

네트워크형 분산 제어 구조의 유용성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실제 시스템 제작을 통한 실험을 진행한다. 시뮬레이션은 MATLAB 프로그램을 이용하여 수학적으로 모델링된 아라고 원판 시스템에 내부 궤환 제어 구조를 적용하고 제어했을 때를 보여준

내부 궤환 제어 구조를 갖는 시스템의 네트워크형 분산 제어

다. 이어서 제작된 아라고 원판 시스템을 이용하여 본 논문에서 제시한 네트워크형 분산 제어 구조를 이용한 결과를 제시한다.

### 3.1 MATLAB 컴퓨터 시뮬레이션

네트워크형 분산 제어 시뮬레이션의 유용성을 검증하기 위하여 우선 기존의 내부 궤환 제어가 포함된 아라고 원판 시스템의 시뮬레이션을 통해 이러한 구조가 시스템적으로 안정하고 신뢰할 수 있는지를 확인하고자 한다. 이를 위하여 MATLAB을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 제시한다. 이를 위한 수학적 모델링의 기본 형태는 [19-20]에서 제시된 내용을 이용하며 플랜트의 전동기 등의 구성이 변경된 부분을 수정한 모델을 사용한다. MATLAB 전체 제어 블록 선도는 그림 10과 같고 이 구조를 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 11과 같다.

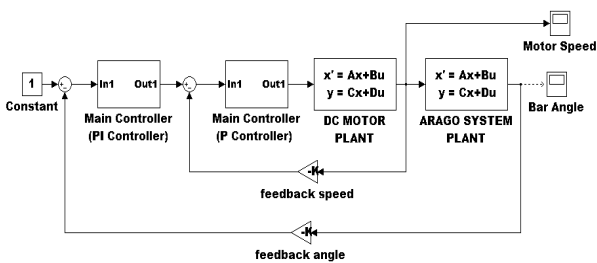


그림 10. MATLAB 시뮬레이션 블록도  
Fig. 10. A block diagram for MATLAB simulation

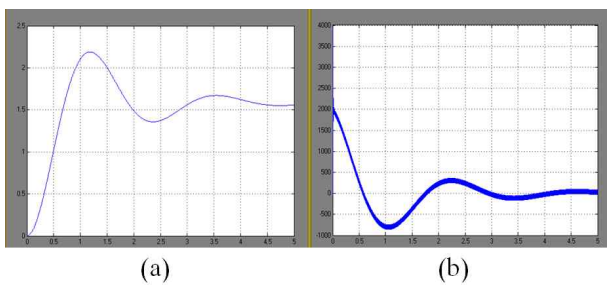


그림 11. MATLAB 시뮬레이션 결과. (a)막대 각도, (b)직류전동기 속도  
Fig. 11. Results of MATLAB simulation (a)angle of bar, (b)speed of DC motor

### 3.2 실제 시스템 제작, 실험 및 결과

그림 12는 실제 제작된 아라고 원판 시스템이다. 직류 전동기는 Tamakawa사의 TS3881이며 여기에는 직결로 7V/1000rpm의 출력을 갖는 Tacho Generator를 연결하였다. 원판은 지름 200mm의 알루미늄이며, 자석 막대에는 3000G의 영구자석이 설치되어 있다. 막대와 직결로 1000pulse/rev의 Incremental Encoder가 연결되어 막대의 각도를 측정할 수 있다. 참고로 실험의 편의를 위해 필요시 Copal사의 J40S 포텐서미터를 추가 연결하여 막대의 각도를 아날로그 값으로도 측정할 수 있도록 구성하여, 오실로스코프를 통해서 값을 바로 읽어 볼 수 있도록 하였다. 이것은 증분형 엔코더는 출력값을 바로 확인하기 어려운 점을 보완하기 위한 것으로 실제로 본 논문의 결과로 제시된 실험 파형은 포텐서미터의 값을 측정했음을 밝혀둔다.



그림 12. 제작된 아라고 원판 시스템  
Fig. 12. A experimental Arago's Disk system

그림 13은 아라고 원판 시스템의 실험 시스템의 회로 구성 부분이다. 모두 5개의 CAN 노드로 구성되어 있다.

각각의 노드는 AT90CAN128 기반의 ATMEL사의 DVK90CAN 개발 보드를 이용한 것으로, 이를 통해 하나의 보드에서 CAN 노드와 내부 제어 프로그램을 통합하여 구성할 수 있도록 하였다. 그림에서 보면

모든 노드는 하나의 CANBUS와 연결되어 있기 때문에 통신 회로의 구성이 간단하다. 또한 각 노드 컨트롤러의 역할은 내부 Firmware에 의하여 결정되어 지므로 추후 S/W의 변경만으로 다양한 제어 구조를 실험할 수 있다. AN, SN1, SN2 의 CAN 노드들은 CN1, CN2의 요청이 있을 때만 데이터를 송수신 하는 등의 반응을 하도록 프로그래밍 하였고, CN1은 100msec 마다 CN2는 11msec 마다 제어 동작을 하도록 프로그래밍하였다. 이렇게 한 이유는 CN1과 CN2가 같은 타이밍에 제어 동작을 시도하여 데이터의 충돌이 발생하는 경우를 최대한 억제하도록 하기 위함이다. 그림 14는 이와 같은 내용을 적용하여 실험한 결과이다.

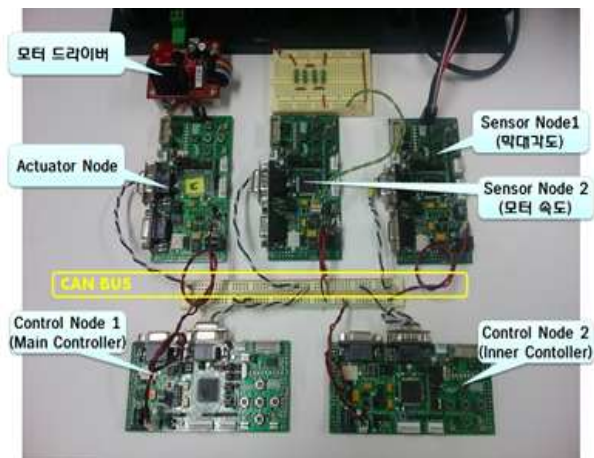


그림 13. 실험 회로 구성  
Fig. 13. Circuits for a experimental

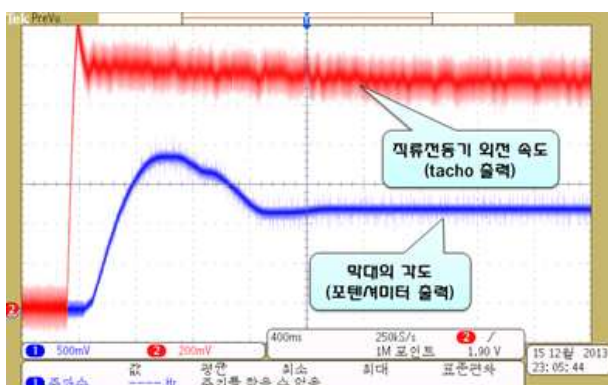


그림 14. 실험 결과  
Fig. 14. A experimental result

#### 4. 결 론

그림 11과 그림 14의 각각의 결과를 비교해 보면 다소의 차이가 존재한다. 아울러 이 결과는 참고문헌 [19-20]에서 적용한 일반적인 제어시스템을 이용한 결과와 비교하여 볼 때에도 다소 차이가 존재한다. 이것은 모델링 오차 등의 문제와 제어기 튜닝의 차이에 의한 것으로 생각된다. 실제로 시뮬레이션과 실제 실험에서 같은 PI제어기의 계수값을 사용할 수 없었으며 이것은 아날로그 시뮬레이션과 디지털화된 네트워크 분산 제어 방식에서 발생하는 제어기의 구조상의 차이 때문으로 예상된다. 하지만 시뮬레이션에서와 마찬가지로 실제 실험에서도 전체 시스템의 제어 안정도는 만족한 결과를 보인다는 것으로 제안된 구조의 효과가 어느 정도 입증되었다고 생각할 수 있다.

본 논문에서 제시된 형태를 이용한 네트워크형 분산 제어 시스템 설계 방식은 시스템의 제어하는 데 있어서 전체 제어기 하나로 성능 개선이 어려울 경우 각각의 서브 플랜트의 제어 성능을 높여서 전체 시스템의 제어 성능을 높이고자 할 때 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. 특히 이러한 구조는 H/W 적인 변동 없이 각 서브 플랜트를 관리하는 제어 노드들의 S/W적인 변경을 통해 샘플링 시간, 제어 방식 등 자유로운 변화 및 적용이 가능하므로 새로운 제어 기법을 테스트 하거나 기존 제어기의 성능 개선을 위한 튜닝 작업 등에서 보다 효과적으로 쓰일 수 있을 것이다.

추가적인 연구로 이러한 형태의 제어기에서 데이터의 충돌이나 지연에 대한 해결방법과 각 부 시스템의 제어 안정도 문제 등의 문제를 보완한다면 다른 산업 전반의 더욱 다양한 분야로의 확장 및 응용이 가능하리라 예상된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 경성대학교 신임교수정착연구비에 의하여 연구되었음.

#### References

[1] Feng-Li Lian, James Moyne, and Dawn Tilbury, "Network



- Design Consideration for Distributed Control Systems,” IEEE Trans. Control Sys. Tech., vol.10, No.2, pp.297-307, Mar. 2002.
- [2] J. H. Jung, J. H. Lee, T. D. Park, and K. H. Park, “Development of a Network-Based Distributed Control System,” CASS 2008, pp.777-782, 2008.
- [3] Robin Qiu and Phillip Laplante, “Design and Development of Component-based Equipment Connectivity for Semiconductor Manufacturing,” The 4th. Int. Confr. on Control and Automation (ICCA’03), Montreal, Canada, June, 2003.
- [4] D. Y. Kim and W. Bam, “Development of a Semi-Conductor Communication Protocol and Spooling System,” The Annual Conference of the Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Autumn, 2006.
- [5] J. K. Cho, H. R. Park, and J. You, “Implementation of SECS/GEM Communication Protocol for Wafer Aligner,” Conference of IEEK, Summer, Vol.26, No.1, 2003.
- [6] H. J. Kim, J. W. Kim, and K. W. Lee, “Flight control of a small unmanned aerial vehicle using a dynamic compensator,” The journal of Korea Navigation Institute, Vol.16, No.4, 2012.
- [7] B. K. Kim, and W. K. Chung, “Design of Robust Motion Controllers with Internal-Loop Compensator,” The J. of KSME, Vol.25, No.10, 2001.
- [8] H. J. Yeo, “Design of a Robust Controller Using Disturbance Rejection Controller,” The J. of KAIS, Vol.7, No.2, 2006.
- [9] Asok Ray, “Introduction to Networking for Integrated Control Systems,” IEEE Control Sys. Mag., vol.9, pp.76-79, Jan. 1989.
- [10] Linda. G. Bushnell, “Networks and Control,” IEEE Control Sys. Mag., vol.21, no.1, pp.22-23, Feb.2001.
- [11] Feng-Li Lian, James Moyne, and Dawn Tilbury, “Network Design Consideration for Distributed Control Systems,” IEEE Trans. Control Sys. Tech., vol.10, No.2, pp.297-307, Mar. 2002.
- [12] J. H. Jung, S. Y. Choi, and K. H. Park, “A Study on the Power System Control and Monitoring Technique Using CAN,” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.52D, No.5. pp.268-276, May 2003.
- [13] BOSCH, CAN Specification, Part A,B 1991.
- [14] Ken Tindell, Alan Burns, “Guaranteed Message Latencies for Distributed Safety-Critical Hard Real Time Control Network,” report YCS229, Department of Computer Science, University of York, May 1994.
- [15] J. Yun, S. Nam, K. W. Kim, and S. Lee, “Evaluation of Network Protocols for Automotive Data Communication”, J. of Control Automation and Systems Engineering, vol.3, no.6, pp.632-638, Dec. 1997.
- [16] Feng-Li Lian, James R. Moyne, and Dawn M. Tilbury, “Performance Evaluation of Control Networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet,” IEEE Control Sys. Mag., vol.21, no.1, pp.66-83, Feb.2001.
- [17] K. Y. Yi, “An Implementation of The Position Controller for Multiple Motors Using CAN,” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.51D, No.2. pp.55-60, Feb. 2002.
- [18] J. Rufino, P. Verissimo, “A Study on the Inaccessibility Characteristics of the CAN,” 2nd International CAN Conference, 1995.
- [19] G. H. Choi, A Study on the Position Control of Arago’s Disk Systems, Master Thesis, SungKyunKwan Univ., 1994.
- [20] W. M. Lee, Control of arago’s disk system using CAN(Controller Area Network), Master Thesis, SungKyunKwan Univ., 2002.

◇ 저자소개 ◇



**최군호** (崔君鎬)

1969년 11월 20일생. 1993년 성균대학교 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1999~2005년 (주)한미반도체, (주)한울로보틱스, (주)동부로봇 재직. 2006~2011년 한국기술교육대 대우교수. 2012년~현재 경성대학교 전기공학과 부교수.