

# 분산형 제어시스템을 이용한 DC MOTOR 속도 제어

## Speed Control of DC Motor using Distributed Control System

김 승현\*, 정 준홍\*\*, 박 기현\*\*\*  
 Seunghyun Kim\*, Joonhong Jung\*, Kiheon Park\*

**Abstract** - This paper is concerned with the DC motor speed control using distributed control system. We design CAN nodes which can transmit control and monitoring data through CAN bus and apply these to distributed networked control system. The results of the experiment validate effectiveness of our distributed networked control system

**Key Words** : NCS(Network Control System), CAN, DC Motor.

### 1. 서 론

중앙 집중형 제어시스템(centralized control system, CCS)은 하나의 주제어기(main controller)가 모든 프로세서를 제어하고 관리하는 구조를 가지고 있다. 이러한 제어 구조의 가장 큰 문제점은 주제어기에서 처리해야 하는 부하가 증가할 경우 전체 시스템의 제어 성능이 악화될 수 있으며, 무엇보다도 하나의 부 시스템이나 구성 장치에 고장이 발생했을 경우 이를 교체하기 위해 전 프로세서의 동작이 중단되므로 시스템의 운용성과 신뢰성이 크게 저하된다는 점이다.

분산형 제어시스템(distributed control system, DCS)은 기존의 중앙 집중형 제어시스템이 가지는 제어 구조와 상반되는 개념으로 고안되었다. 즉, 프로세서의 제어, 감시 기능을 각각의 공정이나 장치별로 분산화 함으로써 중앙 집중형 제어 구조보다 높은 신뢰성을 가질 수 있고 제어기 부하를 각 부시스템(subsystem)으로 분산화함으로써 제어 성능을 향상시킬 수 있다. 이와 같은 장점으로 분산형 제어시스템 구조는 대규모 시스템 제어에 보편적으로 사용되고 있다.

분산형 제어시스템에서는 프로세서에 산재한 수 많은 부 시스템을 상호 연결, 제어 및 모니터링에 필요한 데이터를 실시간 전송하는데 필요한 통신수단이 요구된다. 기존 제어시스템에서 가장 널리 사용되었던 통신방식은 RS-232 기반의 일대일(Point to Point) 접속구조로써, 소규모 시스템 구축에는 성공적으로 적용할 수 있으나 이를 분산형 제어시스템에 적용할 경우에는 각 장치들을 연결하기 위한 통신선로가 크게 증가하여 설치비용이 늘어날 뿐 아니라 시스템 유지정비 및 확장을 어렵게 만들 수 있다. 최근, 이 같은 문제점을 해결하기 위해 Ethernet, ControlNet, CAN(Controller Area Network) 등의 네트워크를 분산형 제어시스템 구축에 이용하는 연구가 활발히 진행 중에 있다[1]~[3]. 이 중에서 CAN(controller area network)[4],[5]은 80년대 중반 차량 내부의 전자 장치간 통신 프로토콜로 개발된 이후, CAN은 저가의 하드웨어 장치로 효율성이 높은 네트워크를 구축할 수 있으며, 프레임 오버헤드가 작아 크기가 작은 주기적인 데이

터 전송에 적합하고 강력한 오류처리 기능을 내장하고 있어 전송 데이터의 신뢰성이 매우 높기 때문에 제어 응용에 적합한 프로토콜로 평가받고 있다[1],[2].

본 논문에서는 DC-Motor 4대의 속도를 동시에 제어할 수 있는 CAN 네트워크를 이용한 분산형 제어시스템을 구축하였다. 먼저, 센서, 제어기, 액츄에이터에 CAN 통신 기능을 부가한 네트워크 모듈을 구현하고 이를 이용하여 4개의 DC-Motor 속도 제어를 수행할 수 있는 분산 제어시스템을 구축하였다. 이 후, 모니터 장치에서 전송하는 각 모터의 기준 속도를 각 부시스템 별로 추종하는 속도 서보 제어 실험을 수행하고 그 결과를 분석함으로써 분산형 네트워크 제어 시스템 구조의 효율성을 입증하였다.

### 2. 분산형 네트워크 제어시스템

분산형 제어시스템에서는 각 부시스템 별로 독립적인 피드백 제어를 수행하며, 모니터 장치에서는 부시스템의 동작이나 제어 상태 등을 감시하는 구조를 가지고 있다. 그림 1은 일반적인 분산형 제어시스템을 나타낸다.

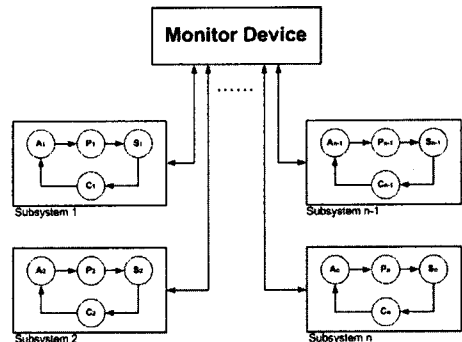


그림 1. 일반적인 분산형 제어시스템의 구조

네트워크를 이용한 분산형 제어시스템은 제어기, 모니터, 센서, 액츄에이터 등 수 많은 장치와 부 시스템들을 하나의 네트워크로 통합하여 관리할 수 있으므로, 다양한 장점을 가질 수 있다. 먼저, 시스템의 설치비용과 유지·보수 등에 소모

\* 準 會 員 : 成均館大學校 情報通信工學科 碩士課程  
 \*\* 正 會 員 : 成均館大學校 情報通信工學科 博士課程  
 \*\*\*正 會 員 : 成均館大學校 情報通信工學科 助教授·工博

되는 관리비용을 절감할 수 있다. 또한, 통합 네트워크를 통해 전체 프로세서를 체계적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하며, 이로부터 시스템 동작의 안정성이나 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 그림 2는 분산형 네트워크 제어시스템의 구조를 나타낸다.

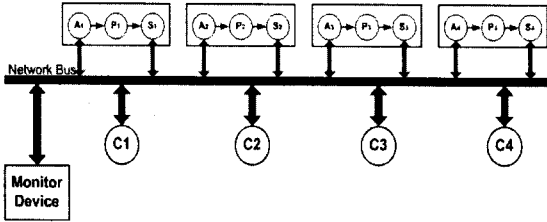


그림 2. 네트워크 구조를 적용한 분산형 제어시스템

그림 2에서 모든 부 시스템과 제어기는 네트워크를 통해 제어 및 관리에 필요한 정보를 교환하는 구조를 가지고 있다. 이와 같은 네트워크 구조를 제어시스템에 적용하기 위해서는 센서, 제어기, 액추에이터, 그리고 모니터 장치에 부가적인 네트워크 통신 기능을 갖춘 네트워크 모듈(노드)을 개발해야 한다. 3장에서는 본 논문에서 개발한 네트워크 모듈 및 전체 실험용 네트워크 제어시스템을 설명한다.

### 3. 실험장치 구축

본 논문에서 DC Motor의 분산 제어를 위해 설계한 전체 시스템 구성도는 그림 3과 같다.

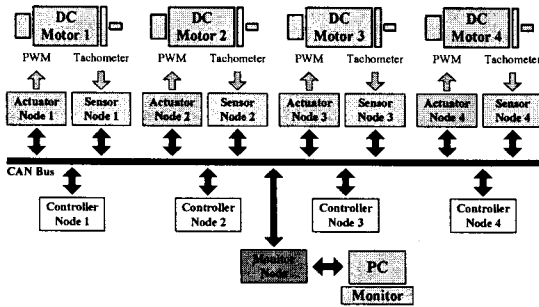


그림 3. DC-Motor의 분산형 네트워크 제어시스템

실험에 사용된 DC-Motor는 Tamagawa 사의 TS679N10-E63이며 정격은 30[V]/4000[rpm], 2.7[A]이고 제공된 파라미터 값을 참조하여 식(1)과 같은 2차 시스템으로 모델링 하였다.

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -629.630 & -23.704 \\ 2264.085 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 370.370 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (1)$$

$$y(t) = [0 \quad 1] x(t)$$

여기서,  $x(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega_m(t) \end{bmatrix}$ ,  $i_a(t)$ : 전기자 전류 [A]  
 $\omega_m(t)$ : 회전자 각속도 [rad/sec]

각 DC-Motor 부 시스템은 모니터 노드에서 전송하는 기준 신호를 추종하는 속도 서보 제어를 실시한다. 이를 위해 먼저 식(1)을 이산화하고 적분기가 추가된 형태의 P-type LQ 서보 제어기를 설계하였다[6]. 그 결과, 샘플링 주기  $h=5[\text{msec}]$ , 가중함수  $Q=\text{diag}(0.1, 0.001, 0.03)$ ,  $R=10$  일 때 제어 이득은 아래와 같이 계산되었다.

$$K=[0.2217 \quad 0.0364], \quad K_I=-0.0416 \quad (2)$$

관측기는 식(3)과 같이 설계하였다(이산 관측기 극점 0.05, 0.1).

$$\hat{x}(k+1) = \begin{bmatrix} -0.0550 & -0.0058 \\ 2.8156 & 0.2050 \end{bmatrix} \hat{x}(k) + \begin{bmatrix} -0.0237 \\ 0.5229 \end{bmatrix} y(k) + \begin{bmatrix} 0.4606 \\ 4.2505 \end{bmatrix} u(k) \quad (3)$$

그림 3에서 센서 노드, 액추에이터 노드, 제어기 노드, 그리고 모니터 노드는 본 논문에서 개발한 CAN 통신 기능을 갖춘 네트워크 모듈이다. 먼저, 센서 노드는 DC-Motor의 Tachometer 출력을 AD변환한 후 CAN 버스를 통해 제어기 노드에 전송하는 노드이다. 제어기 노드는 센서 노드에서 전송하는 측정 신호를 액추에이터 노드는 제어기 노드에서 전송하는 제어 입력으로부터 적절한 PWM 파형을 만들어 이를 DC-Motor 입력단에 인가하는 노드이다. 그림 4는 제작된 센서 노드(좌)와 액추에이터 노드(우)의 사진이다.

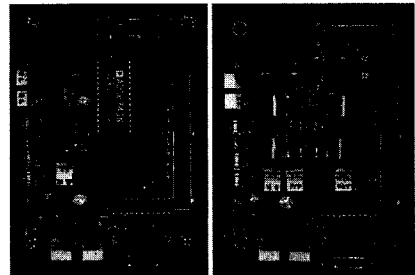


그림 4. 센서 노드 및 액추에이터 노드

제어기 노드는 센서 노드에서 전송하는 출력 데이터를 통해 제어 입력을 결정한 후 CAN 버스를 통해 액추에이터 노드에 전송하며 또한 모니터링에 필요한 데이터를 취하여 PC에 전송하는 노드이다. 그림 5는 제어기 노드의 사진이다.

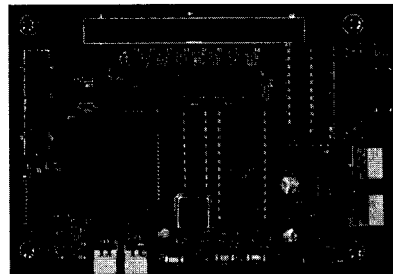


그림 5. 제어기 노드

CAN 제어기는 Philips사의 SJA1000을 사용하였고, 센서노드의 AD 변환기에 Analog Device사의 AD1647을 이용하여 구현하였다. 주제어기로는 Intel사의 80C196KC20 마이크로컨트롤러를 사용하였고 PC와의 RS-232 직렬 통신을 위해 Maxim사의 MAX233CPP를 사용하였다.

#### 4. 실험 및 결과분석

그림 6은 전체 실험용 분산형 네트워크 제어시스템의 사진이다.

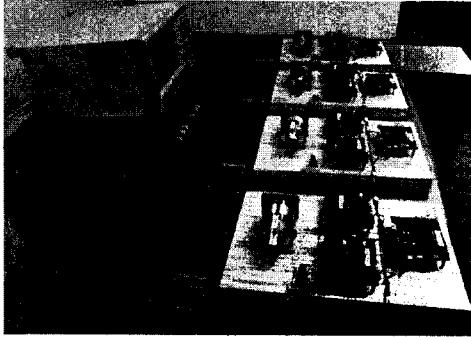


그림 6. 실험용 전체 시스템

실험에 사용한 CAN 버스는 1Mbps의 전송 속도를 가진다. 20m 떨어진 PC의 사용자 인터페이스를 통해 입력된 기준 속도는 모니터 노드를 통해 DC-Motor 부 시스템의 제어기 노드로 전달되며, 각 제어기 노드에서는 독립적인 속도 제어를 부시스템별로 수행하고 그 결과를 모니터 노드에 주기적으로 전송하게 된다. 모니터 노드는 제어기 노드에서 전송하는 Motor의 회전 속도를 PC에 전달, 사용자 인터페이스를 통해 확인할 수 있도록 한다.

그림 7은 모니터 노드에서 각 모터의 기준 신호를 2500rpm으로 지정했을 때, 실제 DC 모터의 회전속도를 오실로스코프로 측정된 화면이다. 그림으로부터 4개의 DC motor가 동시에 2500rpm으로 속도 제어되는 것을 확인할 수 있다.

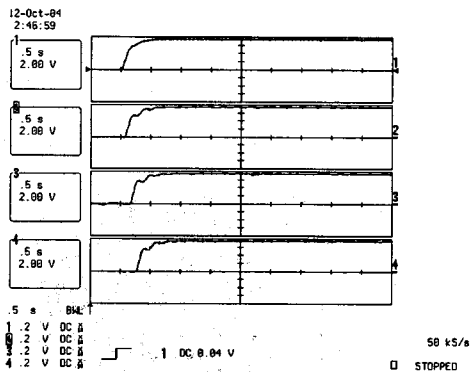


그림 7. 출력 속도 파형(tachometer 1[V]/1000[rpm])

#### 5. 결 론

본 논문에서는 네트워크를 이용하여 DC motor 4개의 속도를 동시에 제어할 수 있는 분산형 시스템을 구축하였다. 이를 위하여 1Mbps의 전송 속도를 갖는 네트워크 모듈을 개발하였으며, 실제 실험을 통해 개발된 분산형 네트워크 제어시스템의 효율성을 입증할 수 있었다. 본 논문에서 개발된 네트워크를 이용한 분산형 제어시스템 설계 기술은 향후 원격제어, 무인로봇, 대규모시스템, HA/FA/BA, 원격진료 등 산업 전반에 걸쳐 폭 넓게 응용되리라 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 정준홍, 최수영, 박기현, "CAN을 이용한 발전제통의 제어 및 모니터링 기법 연구", 대한전기학회논문집, vol. 52D, no. 5, May, 2003.
- [2] "Special Section on Networks and Control," IEEE Control Sys. Mag., vol.21. no. 1, pp. 22-99, Feb. 2001.
- [3] 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.
- [4] BOSCH GmbH, CAN Specification Part A & Part B, 1991.
- [5] SJA 1000 Stand-alone CAN Controller-Product Specification, Philips Semiconductors, 4. 2000.
- [6] 김종식, 선형 제어시스템 공학, 청문각, 1994.