CAN기반 피드백 시스템의 고속전철 여압시스템 적용

Application of a CAN-Based Feedback Control System to a High-Speed Train Pressurization System

김 홍 렬*, 곽 권 천, 김 대 원
(Hong Ryeol Kim, Kwon Chon Kwak, and Dae Won Kim)

Abstract : A feedback control implementation for a high speed train pressurization system is proposed based on CAN(Controller Area Network). Firstly, system model including network latencies by CAN arbitration mechanisms is proposed, and an analytical compensation method of control parameters based on the system model is proposed for the network latencies. For the practical implementation of the control, global synchronization is adopted for controller to measure network latencies and to utilize them for the compensation of the control parameters. Simulation results are shown with practical tunnel data response. The proposed method is evaluated to be the most effective for the system through the control performances comparing among a controller not considering network latencies, other two off-line compensation methods, and the proposed method.

Keywords : CAN, network delay, feedback controller, network global clock synchronization

I. 서론

최근의 자동화 제어 시스템의 추세는 중앙 집중식 제어 시스템 방식에서 분산 제어 네트워크 시스템으로 변화 되고 있는 추세이며, 이에 따라 분산 제어 네트워크 시스템 기법은 급속한 기술 발전이 진행되고 있다[1][2].

분산 네트워크 기반 실시간 피드백 제어 시스템을 구성하는데 있어서, 네트워크 프로토콜(protocol)은 실시간 제어 가능성을 결정하는 중요한 요소로서 작용한다. 네트워크를 실시간 제어 시스템에 적용하기 위해서는 네트워크 프로토콜의 실시간 특성뿐만 아니라 스케쥴링(scheduling) 분석을 통해 시스템에 적용 가능한지를 고려하여 적합한 제어 네트워크 프로토콜을 선정해야 한다[3].

1980년대 Bosch사와 Intel사에서 자동차 시스템에 적용하고자 개발된 CAN(Controller Area Network) 프로토콜은 고속의 통신 인터페이스를 제공하고 데이터 프레임의 오버헤드(overhead)가 적기 때문에 빠른 응답특성을 갖고 있으며, 식별자(identifier)를 이용한 충돌방지와 전송중재(arbitration) 기능을 갖고 있어 실시간 제어를 요구하는 시스템 환경에 적합하다. 뿐만 아니라 CAN은 열악한 환경 속에서도 안정적으로 동작하며 신뢰성이 높아, 차량뿐 아니라 산업 전반에 광범위하게 사용되고 있다[4].

네트워크를 통해 제어 메시지를 전송할 때, 통신 프로토콜은 네트워크의 속도, 메시지 크기, 그리고 네트워크의 트래픽(traffic)과 함께 메시지 초기화와 메시지 전달을 위해 걸리는 지연시간에 영향을 준다. 네트워크를 기반으로 하는 피드백 제어시스템 구성 시, 이러한 지연시간은 시스템을 불안정하게 하는 요소로서 작용될 수 있다[5].

이러한 통신 지연 시간의 분석을 위한 기존의 연구로서 Tindell 과 Burns의 통신 종단 간(end-to-end communication) 지연 요소의 수학적 모델링에 관한 연구[6][7]를 기초로 한 CAN 프로토콜의 통신 발생 지연시간에 대한 분석이 수행된 바 있다[8][9].

통신 지연시간의 수학적인 모델을 기초로 한 제어 성능의 안정화에 관한 연구로서 전종만[10]은 시스템 설계 시 최악의 지연시간의 고려하여 시스템 안정화에 대한 연구를 수행하였고, Alexandre[11]는 평균 지연 시간을 고려한 일반적인 제어기의 성능 분석에 관한 연구를 수행하였다.

그러나 기존에 연구가 수행된 바 있는 최악 지연시간 혹은 평균 지연시간은 네트워크 기반 제어기의 실제 운영 시에 발생하는 통신 지연시간의 대표 값이 될 수 없으며, 특히 측정값(process value)과 목표값(reference value)이 시간에 따라 빠르게 변동하는 시스템에는 적합하지 않는 단점을 갖는다.

시간에 따라 빠르게 목표값이 변동하는 고속전철 여압시스템[12]을 CAN 피드백 제어시스템을 이용하여 제어를 수행할 때, 통신으로 인한 지연시간은 시스템을 불안정하게 만드는 결정적 요소로 작용한다.

따라서 본 논문에서는 고속 전철의 여압시스템에 CAN 기반 네트워크 피드백 제어 시스템을 적용할 경우에 시스템 요구 제어 성능을 만족하는 제어기 설계 방식을 제안하고, 모의실험을 통한 기존의 다른 방식과의 제어 성능 비교를 통해 성능 향상을 입증한다.

또한 본 논문에서는 실제 구현 시에 네트워크 지연 시간 측정 방법으로써 각 노드의 클럭 일치를 위한 기법인 네트워크 글로벌 클럭 동기화(global clock synchronization)[14] 기법을 도입하고, 모의실험에 이를 반영함으로써 좀 더 실질적인 성능 비교를 수행한다.

본 논문의 2장에서는 기존에 연구되어온 CAN 프로토콜의 특성과 지연시간의 수학적 모델에 관해 기술하며, 3장에서는 네트워크 지연시간이 고려된 고속 전철의 여압 시스

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2002. 12. 30., 채택확정 : 2003. 7. 10.
김홍렬, 곽권천, 김대원 : 명지대학교 정보제어공학과
(hr.kim@carrier.co.kr/sigzzang@mju.ac.kr/dwkim@mju.ac.kr)

템의 모델링 방법, 그리고 이를 기반으로 한 제어기의 분석적 설계 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 실질적인 구현을 고려하기 위해 통신 네트워크 지연시간 측정을 위한 네트워크 글로벌 클럭 동기화 기법에 대하여 기술한다. 마지막으로 5장에서 모의실험을 수행하고, 6장에서 결론을 도출한다

II. CAN 특성과 지연시간

1. CAN의 특성

CAN은 1986년도 독일의 Bosch사에 의하여 개발되었으며, 1992년도에는 CAN 네트워크를 차량의 엔진 제어기, 기어박스 제어기, 그리고 에어컨 제어기 등에 적용하여 열악한 환경 속에서도 안정적으로 동작하여 신뢰성을 인정받았다. CAN의 이런 우수한 내 노이즈성으로 인해 그 사용 범위가 전차 전동기 제어를 포함하여 공장 자동화용 등으로 점차 확대되고 있다.

CAN 통신 프로토콜은 디바이스들 간의 정보 교환 방식을 ISO의 OSI(Open System Interconnection) 참조 모델 7개 계층 중에 하위 2계층인 데이터 링크 계층과 물리 계층을 정의하고 있다[15]. CAN 프로토콜은 데이터 링크 계층에서의 CSMA/AMP (Carrier Sense Multiple Access /Arbitration on Message Priority) 방식을 사용하며, 11비트의 식별자를 통한 사전 스케쥴링이나 시스템 운영시의 동적인 스케쥴링이 가능하다.

2. CAN 통신 지연시간

CAN 통신 발생하는 지연시간은 크게 계산지연시간과 통신지연시간으로 구분할 수 있다[10].

2.1 계산 지연시간

계산지연시간은 소프트웨어 지연시간과 하드웨어 지연시간으로 구성된다. 소프트웨어 지연시간은 피드백 제어 알고리즘을 처리하기 위한 CAN API(Application Program Interface) 수행과 메시지 전송과 수신 처리를 위한 ISR(Interrupt Service Routine)로 구성되며, 수행시간은 프로세서(processor)의 한 클럭에 수행할 수 있는 명령어 처리 능력에 의존한다. CAN 인터페이스의 하드웨어 지연시간은 CiA의 자료[17]에 의하면, 아주 작은 시간이 소요되며, 상수로 가정할 수 있다.

2.2 통신 지연시간

통신지연시간은 미디어 접근 지연시간과 전송 지연시간으로 이루어진다. 미디어 접근 지연시간은 메시지가 미디어를 점유하기 위해 대기하는 시간이다. 따라서 전송하는 메시지 보다 상위 우선순위를 갖는 메시지가 전송되는 시간만큼 지연된다. 최악의 경우 각 노드의 메시지들은 동일한 순간에 발생된다고 하면, 모든 메시지는 직렬화(serialization)가 이루어지면서 전송 된다. CSMA/CA 방식은 비선점형 방식이므로, 낮은 우선순위에 의한 블록킹 시간(blocking time)을 고려하지 않는다면[8] 전송지연시간의 수학적 모델은 (1)과 같다[3].

$$C_m = \left(\left\lfloor \frac{34 + 8s_m}{5} \right\rfloor + 47 + 8s_m \right) \tau_{bit} \qquad (1)$$

여기서, C_m 은 전송 지연시간, s_m 은 메시지 크기 그리고 τ_{bit} 는 1비트를 전송하는데 걸리는 시간을 나타낸다[3].

따라서 메시지 처리를 위한 전체 피드백 제어 루프의 지연시간은 (2)와 같이 정의될 수 있다.

$$t_{fcl} = 2\times(t_{comp} + t_{prop} + (Cm \times Pm)) + t_{cp} \qquad (2)$$

여기서, t_{fcl}은 피드백 제어 실행시간을, t_{comp}은 소프트웨어 의한 계산지연시간을, t_{prop}은 하드웨어적인 요소에 의한 계산지연시간을, Pm은 우선순위를, 그리고 t_{cp}는 제어 프로세스를 처리하는데 걸리는 시간을 나타낸다.

위의 식은 일반적인 식으로 정의되었지만, 정확히 정의하자면 통신 지연시간은 메시지의 출발 노드와 목적 노드의 우선순위에 따라 지연시간이 달라지기 때문에 각 노드의 우선순위를 고려하여 지연시간을 계산해야 하며 메시지에 대한 우선순위의 할당은 사전 스케쥴링 방법에 따라 정해진다.

III. 고속전철 여압시스템 제어기 설계

1. 고속전철 여압시스템의 CAN 기반 제어기

최근에 국내에서 연구가 수행되고 있는 고속전철은 350Km/h 이상의 고속 운행을 목표로 한다. 특히 산악 지형이 많은 한국에서는 이러한 고속으로 터널을 운행 시 급격한 외부 압력 변동이 발생하며, 이로 인한 객실 내부 압력 변동으로 인해 불쾌감과 함께 이명현상을 유발할 수 있다[12].

.급격한 외부 압력의 변동에도 객실 내부 압력 변동을 일정한 수준 이하로 유지시키는 장치가 여압 시스템이다. 이러한 여압 시스템은 그림 1과 같이 제어부(controller node), 센서부(sensor node), 구동부(actuator node), 그리고 관리 모니터링부(monitoring node)로 이루어진다. 본 논문에서는 여압시스템을 구성하는 각각의 요소가 CAN 기반의 차량 네트워크를 통해 상호 인터페이스를 수행하는 경우의 제어기 설계 방법을 제안 한다. 서론에서 밝힌 바와 같이 CAN은 고속 전철과 같은 열악한 환경에서 안정적으로 동작하는 특징을 갖는다.

그림 1에서 제어부는 센서부로부터 들어오는 실제 압력의 피드백 정보와 참조(reference) 값을 비교하여 에러 값 보정을 수행한다. 센서부는 객실 내부와 실외의 압력 정보 측정을 위한 센서와 밸브(valve) 출력 측정 장치로 구성되며, 구동부는 제어부로부터의 제어 명령에 따라 실내 유입 공기량 조절밸브 및 댐퍼(damper)와 실외 토출공기량 조절 밸브 및 댐퍼, 그리고 팬 속도를 제어해 준다. 관리 모니터링부는 실시간으로 객실 내부와 객실 외부의 압력, 그리고 제어기의 현재 상태를 모니터링 한다.

네트워크 기반 피드백 제어시스템 구성 시, 메시지 지연시간은 센서부로부터 제어부로의 프로세스 상태 피드백 정보 전송, 제어부에서 구동부로의 제어 신호 전송, 그리고 제어부에서 모니터링부로의 제어 상태 전송 시에 발생한다.

2. PID 제어기 설계

분석적 튜닝(tuning) 모델을 이용한 PID 제어기의 설계를

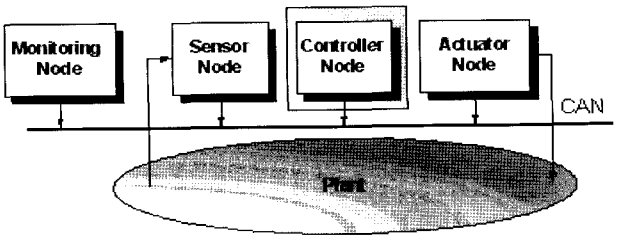


그림 1. CAN 기반 분산 네트워크 시스템 구조도.
Fig. 1. Block Diagram of a Can-based Distributed Network System.

위해서 먼저 플랜트 전달함수 $g_p(s)$를 그림 2와 같이 실험을 통해 얻어진 최고 압력 도달 곡선을 이용하여 3가지 변수 모델로 전달함수 (3)과 같이 구한다. 이때의 3가지 변수는 고정이득(K), 데드타임(L), 그리고 시간상수(T)이다[18].

$$g_p(s) = \frac{K}{1+sT} e^{-s(L)} \tag{3}$$

(3)의 $g_p(s)$에 지연시간이 고려된 플랜트의 전달함수는 (4)이다. 이때 플랜트의 변수D1은 센서부에서 제어부까지의 네트워크 메시지 전송 지연시간이며, 변수 D2는 제어부에서 구동부까지의 네트워크 메시지 전송 지연시간이다. 네트워크 메시지 전송 지연 시간이 고려된 전체적인 시스템의 블록선도는 그림 3과 같다.

$$G_p(s) = \frac{K}{1+Ts} e^{-(L+D1+D2)s} \tag{4}$$

분석적인 제어기 설계 방법[18]에 의해 이상적인 전달함수 $G_I(s)$이 (5)와 같다면, PID 제어기 $G_c(s)$는 Haalman 방정식에 의하여 (6)과 같이 정의된다.

$$G_I(s) = \frac{2}{3LS} e^{-sL} \tag{5}$$

$$G_c(s) = \frac{G_I}{G_p}$$

$$= \frac{2+2T(D_1+D_2)s+(T+D_1+D_2)s^2}{3KLs} \tag{6}$$

$$= \frac{14+2D_1+2D_2}{0.426} + \frac{2}{0.426s} + \frac{7(D_1+D_2)s}{0.426}$$

(6)에 의하면 PID 제어기의 P 계수값과 D 계수값이 네트워크 지연시간에 의하여 영향을 받게 된다.

Ⅳ. 네트워크 글로벌 클럭 동기화 기법

본 논문에서 제안된 제어기를 실제 구현하기 위해서는 (6)의 네트워크 지연 시간인 D1과 D2를 실제 운영 시에 측정할 수 있어야 하며, 측정된 D1과 D2를 이용하여 제어부는 P 계수값과 D 계수값을 조정해 준다.

이를 위해서 본 논문에서는 전송 메시지 타임스탬프(time

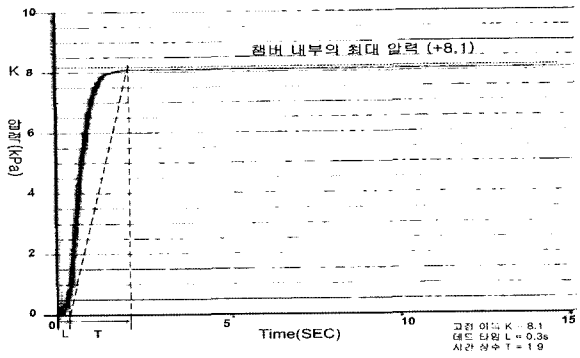


그림 2. 운전실 챔버의 최고 도달 압력.
Fig. 2. High Pressurization of Chamber.

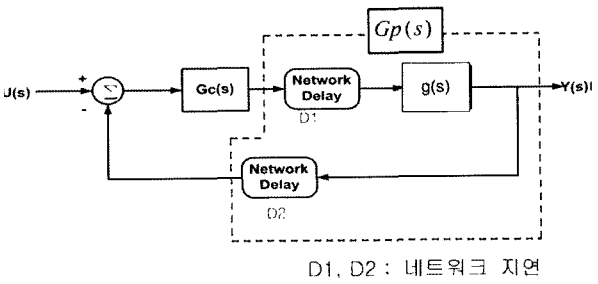


그림 3. 피드백 제어루프의 블록선도.
Fig. 3. Block Diagram of Feedback Control Loop.

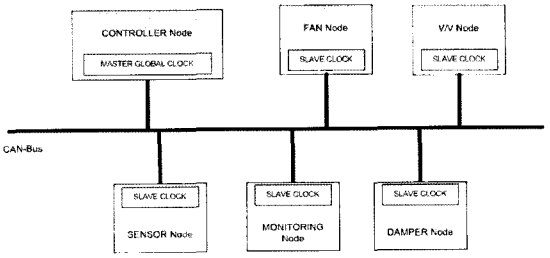


그림 4. 글로벌 클럭을 적용한 시스템 구조.
Fig. 4. System Architecture with Network Global Clock.

stamp) 방식을 제안 한다. 전송 메시지 타임스탬프 방식은 메시지가 송신부에서 전송할 때 전송 개시 시간을 메시지에 기록하는 것으로서 수신부는 전송된 메시지로부터 송신 시점을 확인하여 자신의 로컬 클럭(local clock)과 비교하여 메시지 지연 발생 시간을 측정하는 방식이다.

이러한 방식을 사용할 때 중요하게 고려할 점 중의 하나가 각 노드의 클럭을 일치시키는 것이다. 네트워크 노드의 로컬 클록이 불일치할 경우, 송신부의 로컬 클록을 기준으로 기록된 송신 시간과 수신부의 로컬 클록을 기준으로 한 수신 시간의 차이로 측정되는 네트워크 지연 시간 측정은 신뢰성을 가질 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 네트워크 기반 피드백 제어시스템에서 각각의 네트워크 노드들의 로컬 클럭을 일치시키기 위하여 네트워크 글로벌 클럭 동기화기법[19]을 도입한다.

네트워크의 절대시간인 글로벌 클럭은 그림 4에서와 같이 마스터 클럭(master clock)을 갖는 제어부에서 발생되며, 주기적으로 발생되는 마스터 클럭 메시지에 의해서 각 노

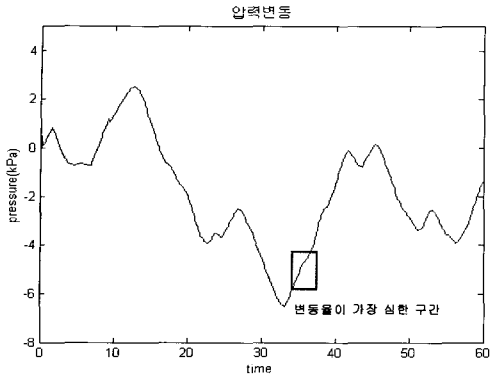


그림 5. 표준 터널 압력 변동 파형.
Fig. 5. Standard Tunnel Pressure Variation Trend.

드의 슬레이브 로컬 클럭(slave local clock)은 지속적인 갱신이 되어 네트워크 상의 전체 노드가 동일한 글로벌 클럭을 갖게 된다.

글로벌 클럭 메시지는 4바이트로 마스터 글로벌 클럭을 기록하여 보내지는데, 시간은 시, 분, 그리고 초[mS]까지 기록한다.

본 논문에서는 지연시간을 고려하여 글로벌 클럭 메시지는 최악의 메시지 전달 지연시간보다 우선순위가 높고, RMS(Rate Monotonic Scheduling)에 의한 우선순위를 가장 높게 하기 위해 전송주기를 5mS로 결정한다. 글로벌 클럭의 전송주기가 5mS일 때, 에러율은 기존의 연구[20][21]에서 보듯이 10^{-3}～10^{-6}(us/h)단위의 에러율을 보이기 때문에 최소 시간 단위가 mS인 네트워크 시스템에서 충분한 성능을 유지할 수 있다.

V. 모의실험 및 결과 분석

본 논문의 모의실험 사용된 목표값은 그림 5와 같이 고속전철이 350Km/h로 터널을 통과 할 때의 실외 압력 변동을 측정한 표준 터널 압력 변동 파형이다.

목표값이 그림 5와 같이 시간에 따라 변화할 때, 지연시간을 고려하지 않은 제어기, 최악의 지연시간을 고려한 제어기, 평균지연시간을 고려한 제어기, 그리고 본 논문에서 제안한 실시간 지연시간을 고려한 분석적 제어기를 대상으로 하여, 시간에 따른 목표값에 대한 추종 성능을 모의실험 한다.

본 논문에서는 차량 내부의 압력이 목표 값 기준 ±1kPa 이내일 경우에 제어 성능을 만족하는 것으로 한다[12].

글로벌 네트워크 클럭 동기화기법을 적용하여 실시간 지연시간을 고려한 네트워크 기반의 분석적 PID 제어기의 성능을 확인하기 위해 네트워크 속도는 CiA[17]에서 권장하는 125Mbps를 사용하였고, 각각의 전송 메시지는 표 1과 같이 정의한다. 메시지 사전 스케줄링 방법은 RMS[13] 기법을 사용하여 글로벌 네트워크 클럭 기법을 적용한 네트워크 기반의 제어기의 성능에 대해 모의실험을 수행 하였다. RMS는 대표적인 정적 스케줄링 전략으로서, 최소 주기를 갖는 태스크가 최고의 우선순위를 갖는 스케줄링 전략이다.

표 1. 글로벌 클럭 기법이 고려된 메시지 집합 정의.
Table 1. Definition of Message Set with Global Clock Message.

우선순위	메시지 정의	시작 노드	종단 노드	주기	크기	전송 속도
1	글로벌 클럭	컨트롤러 노드	모든 노드	5ms	4byte	125kbps
2	센서 측정값	센서 노드	컨트롤러 노드	8ms	4byte	125kbps
3	댐퍼제어 신호	컨트롤러 노드	댐퍼 노드	8ms	1byte	125kbps
4	팬출력 조정	컨트롤러 노드	팬 노드	16ms	2byte	125kbps
5	밸브 출력 측정값	밸브 노드	컨트롤러 노드	16ms	4byte	125kbps
6	밸브제어 신호	컨트롤러 노드	밸브 노드	16 ms	8byte	125kbps
7	모니터링 정보	컨트롤러 노드	모니터링	32ms	16byte	125kbps

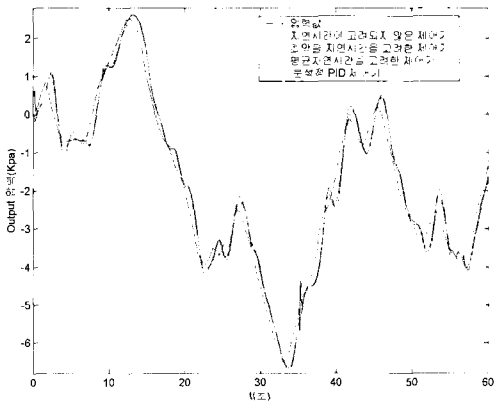
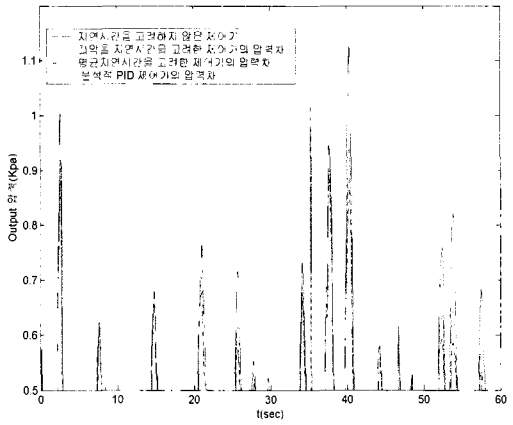


그림 6. 표준 압력 변동에 따른 제어기의 추종 결과.
Fig. 6. Convergence Results of Controllers Responding to Standard Tunnel Variation Trend

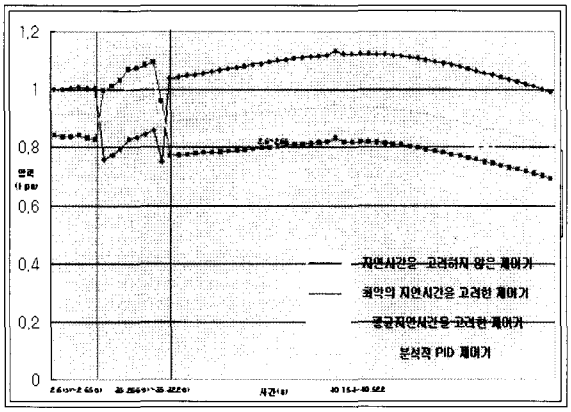
지연시간이 고려되지 않은 제어기, 최악의 지연시간을 고려한 제어기, 평균 지연시간을 고려한 제어기, 그리고 본 논문에서 제안한 실시간 지연시간을 고려한 분석적 PID 제어기는 터널 외부의 압력 변동에 따라 그림 6과 같은 응답을 보인다.

지연시간을 고려하지 않은 제어기는 2.61Sec.～2.65Sec. 구간과 40.106Sec.～40.514Sec. 구간에서 목표값을 기준하여 ±1kPa를 벗어나게 된다. 최악의 지연시간을 고려한 제어기의 경우는 35.274Sec.～35.314Sec. 구간에서 제어 목표를 벗어나며, 평균 지연시간을 고려한 제어기의 경우에는 35.29Sec.～35.314Sec. 구간에서 제어 목표를 벗어난다. 이에 반해 본 논문에서 제안한 제어기의 경우에는 목표값 기준 허용 변동 범위를 벗어나는 구간이 없으므로 제어 성능을 만족한다.

그림 7에서와 같이 지연시간을 고려하지 않은 제어기가 가장 긴 구간에서 목표값을 벗어났으며, 최악의 지연시간을 고려한 제어기, 평균지연시간을 고려한 제어기 순으로 제어 성능을 보였고, 본 논문에서 제안한 제어기만이 제어 성능을 만족함을 확인할 수 있다.



(a) 목표 값과 추정 값 편차



(b) 목표값을 벗어나는 구간

그림 7. 시스템 응답 값과 목표값의 압력 편차.

Fig. 7. Pressure Deviation of System Response and Reference Value.

VI. 결론

네트워크 기반 피드백 제어시스템을 설계할 때, 네트워크 지연시간은 제어시스템의 불안정 상태를 야기하며, 제어기의 성능을 만족시키지 못하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 네트워크 기반 피드백 제어시스템의 설계할 때 제어기의 설계자는 네트워크 통신상에 발생하는 모든 지연시간 요소를 분석해야 하며, 제어기의 응답 특성을 분석을 통해 지연 시간을 고려하여 제어기 시스템을 설계하여야만 제어 성능을 만족할 수 있다.

본 논문에서는 모의실험을 통하여 목표값이 시간에 따라 빠르게 변동하는 시스템인 고속전철 여압시스템을 CAN 기반의 분산 피드백 제어 시스템으로 구성할 때 지연시간이 고려되지 않은 제어기, 최악의 지연시간을 고려한 제어기, 평균지연시간을 고려한 제어기 그리고 본 논문에서 제안한 실시간 지연 시간을 고려한 분석적 PID제어기의 성능에 관한 비교, 분석을 수행하였다. 모의 실험 결과를 통해 본 논문에서 제안한 분석적 PID제어기의 제어 성능이 가장 우월하고, 고속 전철 여압 시스템과 같이 목표 값이 빠르게 변화하는 시스템에서는 분석적 PID제어기만이 제어 성능을 만족할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] G. Schichhuber, and O. McCarthy,"Distributed fieldbus and control network systems", *Computing & Control Engineering Journal,* vol. 8, no. 1, pp. 21-32, 1997.

[2] R. Raji, "Smart networks for control", *IEEE Spectrum,* vol. 31, no 6, pp. 49-55, 1994.

[3] 권욱현, 김영신, "분산 실시간 시스템에서의 네트워크 프로토콜", *ICASE Special Report,* pp. 27-34, 1998.

[4] M. Farsi, K. Ratcliff and Manual Barbosa, "An overview of controller area network", *Computing and Control Engineering Journal,* pp. 113-120,1999.

[5] G. F Franklin, J. D. Powell, and A. Emani-Naeini., "Feed back control of dynamic systems", *Addison-Wesley,* Third edition, 1994.

[6] K. W. Tindell, A Burns, and A. J. Wellings, "Guarantee ing hard real-time end-to-end communications deadlines," RTRG/91/107, *Department of Computer Science,* Univer sity of York, 1991.

[7] K. Tindell, A. Burns, "Analysis of hard real-time commu nications," Technical report YCS 222, Department of Computer Science, University of York, England, 1994.

[8] K. Tindell, A. Burns, "Guaranteed message latencies for distributed safety-critical hard real-time control networks," Technical report YCS 229, Department of Computer Science, University of York, England, 1994.

[9] K. Tindell, A. Burns, and A. Wellings, "Calculating controller area network(CAN) message response times," Technical Report Y01 5DD, Department of Computer Science, University of York, 1995.

[10] 전종만, 김대원, "메시지 지연시간을 고려한 CAN 기반 피드백 제어 시스템의 응답특성 분석", 대한전기학회논문집, pp. 190-196, 2002.

[11] A. Mota, P, Fonseca, J. A Fonseca, " System modelling and identification in CAN based distributed control systems", DCCS2000: 16th IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems, 2000.

[12] 한국기계연구원, 캐리어 주식회사, "고속전철용 HVAC 및 여압시스템 기술 개발 (2단계 연차 보고서)", pp. 1-38, 2001.

[13] J. Lehoczky, L. sha, "The rate monotonic scheduling algorithm: exact characterization and average case beha vior", Real Time Systems Symposium, pp. 166-171, 1989.

[14] K. Turski, "Global time system for CAN networks", 3rd ICC Proceedings, Session : CAN Controller Chip I, 1994.

[15] R. Bosch, "CAN Specification 2.0", Parts A and B, 1991.

[16] F.-L. Lian, James R. M., Dawn M. T., "Control perfo rmance study of a networked machining cell", Proceedings of the american Control Conference, vol. 4, pp. 2337-2341, 2000.

[17] CAN in Automation(CiA), "Implementation", http://www.can-cia.de/CANimpl.pd

[18] karl J. Astrom, tore hagglund, "PID controllers, 2nd edition", 1998.

[19] Rufino J., Verissimo P., Arroz G., Almeida C., Rodrigues L. "Fault-tolerant broadcasts in CAN", Fault-Tolerant Computing Twenty-Eighth Annual International Symposium, pp.150-159, 1998.

[20] Rodrigues, L., Guimaraes, M., Rufino, J, ".Fault-tolerant clock synchronization in CAN", Real-Time Systems Symposium, pp.420-429, 1998.

김 홍 렬

1973년 11월 25일생. 1996년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동대학원 졸업. 2001년~현재 동대학원 박사과정 재학중. 1997년~현재 (주)캐리어 기술연구소 주임연구원. 관심분야는 실시간 분산 시스템, 행위기반 로봇 프레임워크 등.

김 대 원

1960년 2월 15일생. 1984년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업. 1987년~1992년 (주)대우중공업 중앙연구소 선임연구원. 1992년~현재 명지대학교 정보공학과 교수. 관심분야는 실시간 분산 시스템, 퍼스널 로봇, 웹기반 응용 등.

곽 권 천

1976년 1월 16일생. 1998년 명지대학교 제어계측공학과 졸업. 2003년 동대학원 졸업. 2003년~현재 (주)sitec Soft 기술연구소 연구원. 관심분야는 Network Scheduling, OS 커널, 엔터데이먼트 로봇, 임베디드 시스템 등.