

논문 2015-52-12-13

기계 제어를 위한 모션시스템 입출력에 대한 동적 특성 연구

(A Study on The Dynamical Property of Input/output of Motion System for Machinery Control)

현성훈*, 김동연**, 박장환**

(Sunghoon Hyun, Dongyon Kim, and Janghwan Park[©])

요약

모션제어에서 입·출력 동적 특성의 연구는 기계설비의 성능을 나타내는 중요한 지표로 기계류나 설비의 시운전 및 보수유지, 그리고 프로젝트 계획 시에 고려해야할 요소이다. 기계류의 모션제어에 사용되는 자동화 솔루션의 입·출력 동적특성에 대한 고찰은 주파수를 부하로서 인가하여 자동화 네트워크에 연결된 기기들의 주기를 시험함으로써 제어성능을 조사하였다. 이를 위해 기계설비의 모션제어에 많이 활용되고 있는 B&R사의 PowerLink 시스템 시뮬레이터를 구축하고 그 주기를 분석하여 동적 제어특성을 제시하였다.

Abstract

The study of input and output characteristics in dynamic motion control is important indicator of the performance of mechanical equipment and is the factors to be considered during commissioning and maintenance of machinery or equipment, and project planning. The Analysis on dynamical characteristic of the input/output of the automation solution that used for motion control in machinery, is represented the control performance of device and including controller which connected at automation network by considering period of the frequency as applied load. This paper was constructed the simulator of B & R Powerlink to be widely used for motion control in the machine and showed the dynamic system characteristics by analysing the period.

Keywords : 모션제어, PowerLink, 입·출력 특성, PLC

I. 서론

일반적으로 현대의 자동화는 생산 분야 즉, 제조분야의 활용과 플랜트 분야에 대한 활용으로 구분 할 수 있다. 더욱이 21세기에 들어오면서 자동화 분야에 대한 많은 변화로 이제는 제조 IT 또는 생산 및 플랜트 분야를 총칭

하여 산업 IT라는 용어도 종종 사용한다. 제어와 모니터링이 주가 이루는 자동화는 기술의 발전을 거듭하면서 PLC를 활용하여 농촌의 작물재배에도 활용하고 있다^[1-3].

현재 기계의 모션제어에 사용되는 주요 자동화 네트워크의 솔루션은 유럽권을 기준으로 오스트리아 B&R (Bernecker & Rainer)사의 PowerLink, 독일의 지멘스 (Siemens)사의 ProfiNet, Beckhoff사의 EtherCat, 북미권에서는 미국의 Rockwell사의 Ethernet/IP, 아시아권에서는 일본의 미쓰비시 사에서 개발된 CCLink IE가 있다. 국내 시장에서는 이 모든 솔루션들이 도입되어 특화된 부분에서 활용되고 있다. 필드버스가 도입되어

* 정회원, B&R

(B&R Automation)

** 정회원, 한경대학교, 전기전자제어공학과

(Department of Electrical, Electronic & Control Engineering, Hankyong University)

© Corresponding Author (E-mail: jhpark@hknu.ac.kr)

Received ; October 20, 2015 Revised ; November 15, 2015

Accepted ; November 21, 2015

케이블의 절감과 동시에 지능성의 활용으로 인한 분산 제어가 가능해지고 특히 과거의 벤더 종속에서 이제는 유저의 권익을 중시하는 벤더독립이라는 이름과 함께 개방형 시스템의 응용이 많은 산업 영역에서 사용되고 있다^[4-5].

산업 현장에서 설비의 시운전 또는 보수유지나 프로젝트 계획(Planning)시에 제어기의 입·출력에 대한 동적특성이 요구된다. 이는 설비나 장비에 부하를 인가하여 제어 과제의 수행능력을 점검해보는 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. 실제로 이용 가능한 주파수 대역을 검토함으로써 과제 수행에 필요한 설비나 장비의 구축에 많은 활용을 가능하게 한다.

이를 위해 본 논문에서는 현재 기계 설비의 중요한 부분인 모션제어에 대한 구현으로 널리 사용되고 있는 PowerLink의 제어 능력을 시험하는 동적 특성에 대해 고찰하고자 한다. 본 논문에서는 PowerLink의 동적 특성 시험을 위해 무부하(간접부하)와 직접적으로 부하가 주어질 경우로 구분하여 시행하고 여기에 시험기기는 PLC, VFD (Variable Frequency Drive), 제어 및 배열 툴(Tool)등을 사용하여 플랫폼을 구축한다. 부하는 사용 가능한 주파수를 제어기에 인가함으로써 스트레스를 주어 모션에 요구되는 제어특성을 고찰한다. 무 부하 시험은 주파수의 증가를 통해 부하를 증가시키고 그리고 부하의 인가는 VFD를 통해 임의의 부하 프로그램을 개발하여 주파수의 증가와 함께 동적 특성을 고찰한다. 결론 부분에서 무 부하와 직접적인 부하 인가시의 특성을 비교하고 이를 통해 모션제어의 주파수 대역 활용 능력을 고찰한다.

II. 본 론

1. PowerLink 개요

현대의 모션 제어 분야는 자동화 네트워크의 발전에 따라 기기들의 지능화, 스마트화로 불리면서 중앙 집중식의 변화를 완전히 탈피하여 현재는 로컬 제어가 가능해짐 으로서 네트워크에 참여한 기기들의 성능을 최적화 한다. 이로써 PLC의 부담을 줄여주어 원활한 네트워크의 활용과 더불어 자동화 구조의 수평 및 수직 통합을 가능하게 하여 모든 자동화 평면의 레벨 즉 필드, 제어, 관리 레벨을 일원화 하게 된다. 아울러, 제어와 모니터링이 동시에 가능해짐으로써 모션 제어의 효율성을 강조하고 있다.

PowerLink는 오스트리아 Bernecker & Rainer사에서 개발한 산업솔루션으로 기계류의 정밀 제어와 관계있는 모션제어에서 많이 활용되고 있는 자동화 네트워크이다. 개방형 산업솔루션으로 벤더독립을 표명하고 2002년부터 널리 활용되어 왔으며 현재는 국내에서도 많이 활용되고 있다. PowerLink는 표준 이더넷 기반의 실시간 프로 토클로써 실시간 데이터를 전송하기 위해 폴링(Polling)과 타임 슬롯(Time Slot)을 혼합하여 사용하며, 노드 사이들의 비 실시간 데이터는 예약을 통해 전송한다. Power Link 노드는 한 개의 관리노드(Managing Node, MN)와 다수의 제어노드(Controlled Node, CN)로 구성되어 있다. 그림 1은 PowerLink의 사이클을 나타내고 있다.

일반적으로 PowerLink 사이클은 출발주기(During the Start Period), 사이클 주기(During the Cyclic Period), 그리고 비동기 단계(The asynchronous phase)로 구성되어 있다. 출발주기에서는 기기들의 동기화를 위해 모든 CN에게 MN이 SoC 프레임을 송신한다. 이 SoC는 다중 패킷(Multicast Packet)으로써 송신되고 네트워크안의 다른 PowerLink 노드들에 의해 수신되고 처리된다. SoC 중 응용 데이터는 전송되지 않으며, 오직 동기화를 위해 사용된다. 사이클 주기에서는 주기적인 등시성 데이터(Cyclic isochronous data) 교환이 일어난다.

한 개의 클럭 주기 동안에 MN은 고정된 시퀀스 안에서 차례로 한 개의 CN에게 폴 요청(Poll Request)을 송신하며, CN은 Poll Response로 이 요청에 대해 즉시 응답한다. 그리고 비동기 단계에서는 여러 주기의

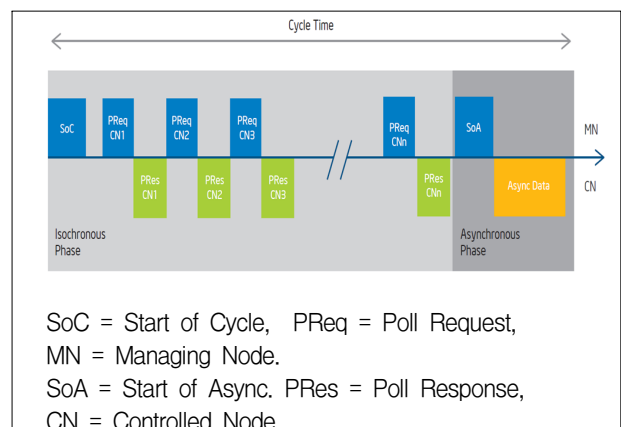


그림 1. PowerLink 사이클
Fig. 1. PowerLink Cycle.

비동기 단계 사이에 산재되어 있는 사용자 데이터나 TCP/IP 프레임과 같은 실시간 데이터 패킷의 전송을 가능하게 한다. 산업 자동화 부문에서 높은 속도가 요구되는 정확성 문제는 관리노드(MN)에 의해 생성된 SoC 프레임에 의해서 시작된 SoC 지터(jitter)를 만들어 내게 되고 이는 PowerLink 통신 주기 안에서 중요한 시간 파라미터이다.

2. 주기와 동적특성 시험 시나리오

본 논문에서는 PLC의 주기 시간에 따른 PowerLink의 입·출력에 미치는 영향을 고찰하기 위해 무부하(간접부하)와 직접적으로 부하가 주어질 경우로 구분하여 시행하고 여기에 시험기기는 PLC, VFD, 제어 및 배열 툴(Tool)등을 사용하여 플랫폼을 구축한다.

PowerLink 네트워크에 연결되어 있는 컨트롤러인 PLC의 사이클(주기)은 다음과 같이 정의될 수 있다. 주기 시간은 즉 -한 주기 동안에 소요되는 시간- 프로그램 처리시간에 입력 읽기와 출력 처리, 데이터 전송을 포함하는 시스템 시간으로 구성된다. 그리고 입력의 변화가 출력의 변화를 유도하는 시간까지를 의미하는 응답 시간은 주기시간과 입력에서 지연되는 시간 보다 크지만 주기 시간의 두 배와 입력에서 지연되는 시간을 더한 것 보다는 적다. 즉, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{주기시간} + \text{입력지연} < \text{응답시간} < 2(\text{주기시간}) + \text{입력지연}$$

그림 2는 PLC 순환 주기 시간을 나타내고 있다.

함수발생기에 의한 무부하 시험 시나리오는 IEC 61131 -3 PLC 언어를 활용하여 입력과 출력 변수를 선

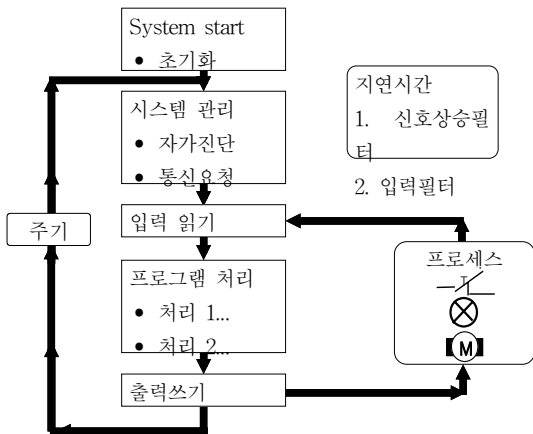


그림 2. PLC의 순환주기 시간.
Fig. 2. Cycle Time of PLC.

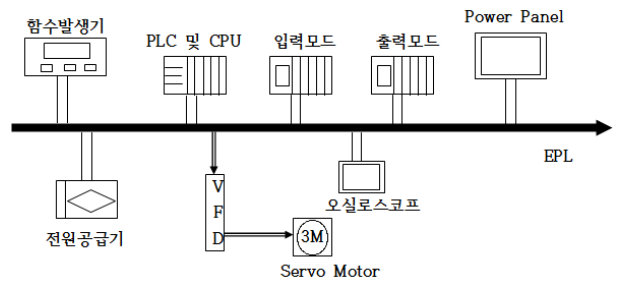


그림 3. 입, 출력 특성 시험을 위한 EPL 네트워크
Fig. 3. Network Model for the input, output characteristic tests of EPL Network.

표 1. 입·출력 특성을 위한 필드기기 규격
Fig. 1. Field equipment specifications for the input and output characteristics.

시험기기	규격
0PS105.1	전원 공급기, 단상, 5A, 입력115/230 VAC.
X20CP1484	B&R 마스터, 사이클 타임 800us이하. 인터페이스 RS232, Ethernet, POWERLINK V1/V2, 2xUSB, X2X Link. 입력 전압 24 VDC -15% / +24%. 입력 전류 MAX2.2A. 정격 출력 7.0W.
4PP480.1043-75	제어 및 모니터링 가능한 10.4" 패널. 인터페이스 RS232, Ethernet, 2xUSB. IP 등급 65. 입력 전압 24 VDC.
ACOPOS1010.50-2	스마트형 서보 드라이버. 입력 전압 3상 110-230V, 단상 110-230V±10%. 주파수 50/60HZ ±4%. 0.45kW급. 통합 브레이크 레지스터, 제동저항, 라인필터. 플러그인 모듈을 사용.
X20BC0083	버스 컨트롤러. 효율적인 케이블 연결을 위한 통합 허브. POWERLINK V1/V2에 X2X 링크 I/O 노트 연결. X2X Link Cycle 변경 가능.
X20PS9400	내부적인 I/O 전원 공급. 입력 전압 24VDC, 입력 전류 Max. 0.7A 정격 출력 7.0W
X20DI9372	12개의 디지털 입력 모듈. 소스타입 커넥션. 입력 전압 24VDC(-15%/+20%), 입력 전류 Typ. 3.75mA
X20DO9322	12개의 디지털 출력 모듈. 소스타입 커넥션. 현재 출력 정격 전류 0.5A, 총 출력 정격 전류 6.0A.
8MSA3M.R0-X3	Synchronous 모터. 리졸버 타입.

언하고, 선언된 입·출력 변수들과 CPU 사이를 연결하는 간단한 응용프로그램을 개발함으로써 가능하다. 또한 VFD와 서보모터를 네트워크에 참여시킴으로써 네트워크에 직접적인 부하를 인가하도록 프로그램을 개발하여 특성 시험을 한다. 이 동적특성의 고찰은 부하에 대한 입·출력의 왜곡이 나타나는 한계 주파수를 찾아

응용하고자 하는 대상 설비들의 특성조건에 따른 제어 능력을 살펴 볼 수가 있다. 이러한 시험에 영향을 미치는 요소들로서는 PLC 내부에 샘플링 시간, PLC 사이클, 연결된 필드기기와의 전송시간을 고려하여야 하고, 이러한 파라미터들은 시험에 직접적으로 영향을 주기도 한다. 그림 3은 입·출력 동적 특성을 시험하기 위한 네트워크 구성을 나타내고 있다.

그림 3에 배열된 기기들은 PL의 규격을 개발한 B&R의 제품으로 현재 모두 현장에서 활용되고 있는 기기들이다. 여기에 구성한 기기들의 규격은 표 1과 같다. 함수 발생기의 이진신호(클럭)를 발생시켜 이를 PLC에 인가하고 입·출력 모듈을 통해 주파수 특성을 관찰한다.

III. 입·출력 동적 특성 시험 및 고찰

본 논문에서는 첫 번째 시험으로 무부하시 주파수 변화에 따른 입·출력 특성을 고찰하기 위해, 함수발생기로 클럭을 발생시켜 입·출력 특성이 변화하는 구간을 관찰하였다. 그림 4는 150 Hz ~ 1.5 KHz에서의 입·출력 특성을 나타내고 있으며, 윗부분은 입력에 대한 신호이며, 하단은 출력에 대한 신호이다.

낮은 주파수 영역인 150 ~ 400 Hz까지 입·출력 특성의 특이한 점이 발견되지 않고, 주파수를 증가시켜 주파수대를 1.5 KHz까지 확장하였으나 별다른 왜곡이나 변동이

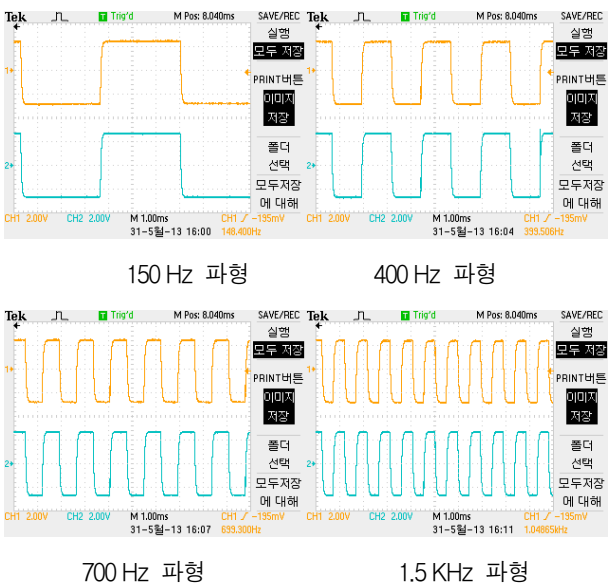
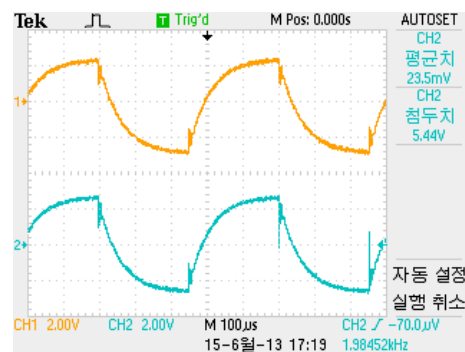


그림 4. 150 Hz ~ 1.5 KHz 에서의 입출력 특성
Fig. 4. Input and output characteristics at 150 Hz ~ 1.5 KHz.

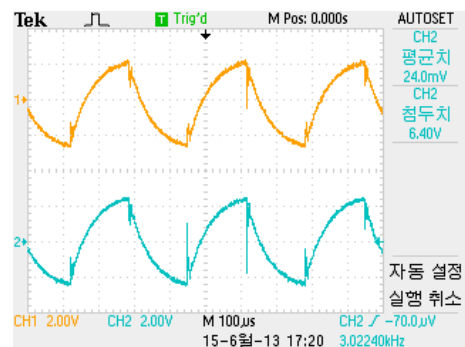
나타나지 않았다. 이는 부하가 작음을 나타낸 것이다.

2 KHz ~ 4 KHz구간은 오실로스코프 가로 축에서 1 ms에서 100 μ s구간으로 측정을 하였다. 2 KHz가 넘는 주파수 대역에서는 미소한 변화가 감지된다. 4 KHz까지 관측한 결과를 그림 5에 나타내었다. 주파수의 증가로 인한 주기의 감소는 입·출력 특성에 영향을 주어 찌그러짐의 현상이 다소 있음을 알 수 있다.

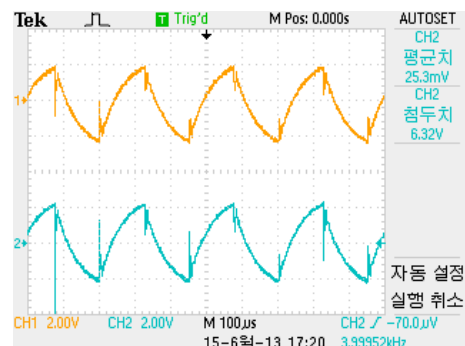
두 번째 시험은 첫 번째 시험했던 실험기에 모터의 제어기 VFD ACOPOS1010과 서보모터를 추가하여 위



2 KHz 파형



3 KHz 파형



4 KHz 파형

그림 5. 2 KHz ~ 4 KHz 에서의 입·출력 특성 (무부하시)
Fig. 5. Input and output characteristics at 2 KHz ~ 4 KHz (No load).

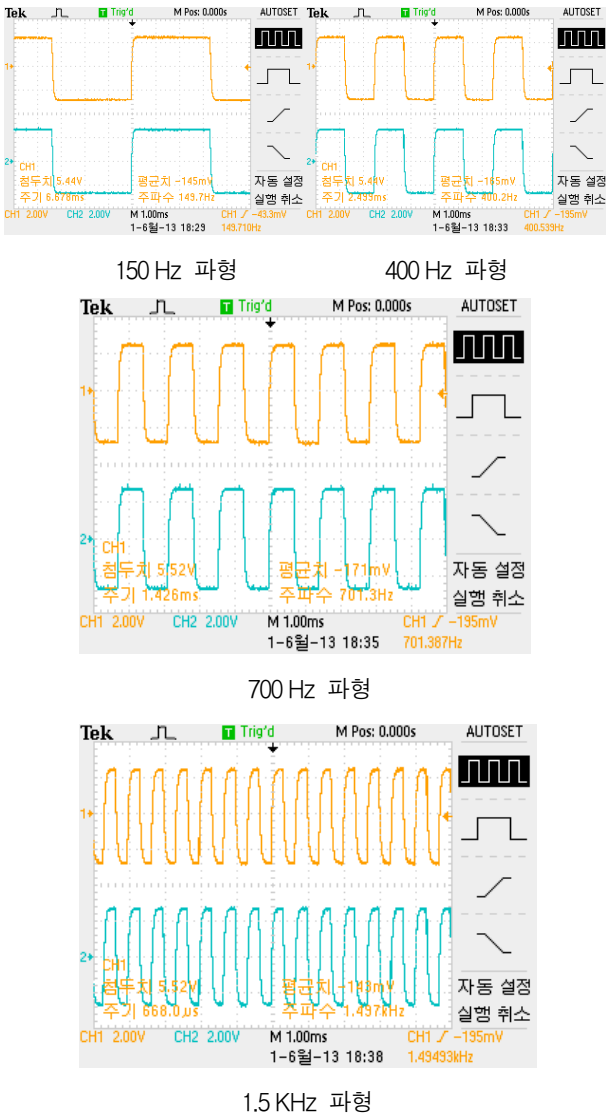


Fig. 6. 150Hz ~ 1,5KHz 에서의 입,출력 특성 (과부하시)

Fig. 6. Input and output characteristics at 150 Hz ~ 1.5 KHz (Overload).

치제어를 위한 모션제어 프로그램을 개발하여 입·출력 변화의 동적 특성을 추적하였다. 이 프로그램은 PLC CPU에 많은 부하를 가함으로써 주파수의 증가를 통한 스트레스 시험을 부가하여 첫 번째 시행한 결과와 비교를 하였다. 그림 6은 150 Hz~1.5 KHz에서의 입·출력 특성 결과로 첫 번째 실험과 동일하게 150 Hz~1.5 KHz까지는 찌그러짐이 발생하지 않았다.

그러나 1.5 KHz~4 KHz에서는 부하의 영향이 나타났다. 1.5 KHz에서 미세한 왜곡이 있으나 2 KHz부터 주파수가 높아질수록 입·출력 동적 특성이 변화하여 찌그러짐이 발생됨을 알 수 있다. 이는 네트워크에 연결되

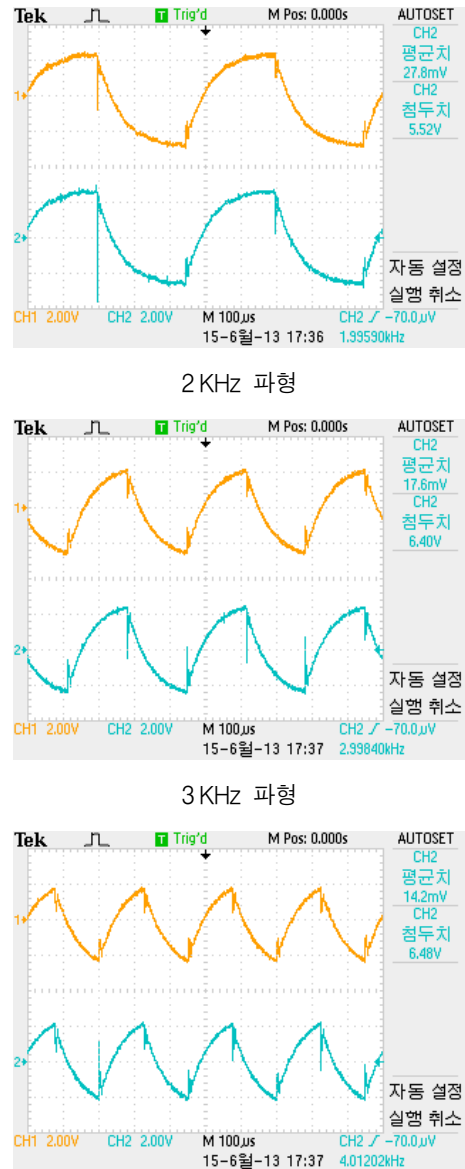


그림 7. 2 KHz ~ 4 KHz에서의 입, 출력 특성 (과부하시)
 Fig. 7. Input and output characteristics at 2 KHz ~ 4 KHz(Overload).

어 있는 VFD의 영향으로 인해 PLC의 CPU에 직접적으로 영향이 미치게 됨을 그림 7을 통해 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 모션제어 시스템의 입·출력 특성을 조사하기 위해 주파수를 부하로 하여 주파수를 증가 시키면서 시스템의 성능 특성을 제시하는 방법을 제안하였

다. 이 방법의 타당성을 위해 B&R사에서 개발된 모션 솔루션 PowerLink 시스템을 예로써 시험하였다. 입·출력 동적 특성을 위한 시험구축 플랫폼은 다음과 같다. 전용제어기, VFD, 서보모터 및 입·출력 모듈로 네트워크를 구성하고 여기에 B&R사의 통합 전용 툴인 Automation Studio를 활용하여 순환 주기를 측정하여 내구성 시험을 하였다.

네트워크에 부하를 인가함으로써 PLC의 CPU에 스트레스를 주어 측정된 주기는 간접적인 부하와 직접적인 부하를 인가했을 시의 변화를 분석한 결과, 저역 주파수대에서는 왜곡이 발생하지 않았다. 그러나 2KHz 이상 대역에서는 왜곡이 발생됨을 실험을 통해 확인하였다. 또한 부하는 제어하는 태스크 수에 따라 종속되기 때문에 응용 분야에 따라 달라질 수 있다. 단순히 주파수의 증가에 따라 부하가 가해지는 모션제어에서는 특정한 응용에 따른 태스크 보다 제어 측면에 인한 부하의 가중이 있어 주기의 변화가 생기게 된다. 부하의 가중은 PoweLink 네트워크에 연결된 기기들의 사이클로 인한 영향이 직접적으로 PLC 에서 처리되는 사이클에 영향을 주게 되며, 부가적으로 추가되는 주파수 증가는 2KHz 주파수 대역부터 왜곡이 발생한 것이다. 본 논문에서 제안한 시스템의 순환 주기 즉, 주파수에 따른 입·출력 특성을 바탕으로 자동화 네트워크 시스템에 연결되는 주변기기의 수와 부하 정도를 결정할 수 있다. 아울러, 기타 상용 자동화 네트워크 시스템에 적용할 예정이다.

REFERENCES

- [1] EPSG, Ethernet Powerlink Profile Specification, Version 1.1.0, 2008.
- [2] Jong Jun Choi, Sang Ho Park, and Young Kiu Choi, "Development of a Remote Control Equipment For Farm Automation," Journal of IEIE, Vol. 45, No. 4, pp 19-26, Dec., 2008.
- [3] Raimond Pigan and Mark Metter, "Automating with PROFINET" Publicis MCD, Germany Publishing, 2008.
- [4] Alexander Bormann and Ingo Hilgenkamp, "Industrial Network", Huethig publisher Heidelberg, 2006.
- [5] Guenter Wellenreuther and Dieter Zastrow, "Automation with PLC - Theory and practice", Vieweg+Teubner publisher 5.edition, 2011.

저 자 소 개



현 성 훈(정회원)
2010년 한경대학교 전자공학과
(공학사)
2013년 한경대학교 글로벌 물류
대학원(물류학석사)
2013년~현재 B&R 근무

<주관심분야: 자동화네트워크>



김 동 연(정회원)
1986년 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1998년 연세대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1995년 연세대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1998년~1996년 (주) 데이콤 근무

1996년~현재 한경대학교 전기전자제어공학 교수

<주관심분야: 네트워크 모델링, MAP/TOP 네트워크, USN>



박 장 환(정회원)
1980년 동국대학교 전자공학과
(공학사)
1982년 동국대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1992년 Austria, Graz 공과대학
전기전자공학과
(공학박사)

1994년~현재 한경대학교 전기전자제어 교수

<주관심분야: 자동화네트워크, 안정도, 에너지 관리>