
가상센서를 활용한 고장 허용 시스템에 관한 연구

송민우* · 최원석* · 이두완** · 장경식***

A Study on the Fault Tolerant System for the Optimum Performance of Virtual Sensor

Min-Woo Song* · Won-Seok Choi* · Doo-Wan Lee** · Kyung-Sik Jang***

이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비지원 프로그램의 지원에 의하여 수행되었음

요 약

본 논문에서는 자동화설비에서 가장 많이 사용되는 근접센서와 실린더를 기준으로 두 가지 모델을 적용하여 “고장허용 시스템 구축”에 관한 연구를 진행하였다. Free Flow 컨베이어 상에서 센서의 고장발생 시 가상센서모드 (Virtual Sensor Mode)로 전환되어 정상동작 하는 것을 시뮬레이션을 통해 구현을 하였으며, 실린더의 내압(압력강하)을 이용하여 실린더의 동작 시 부하에 따른 아날로그 데이터변화를 확인함으로써 고장허용 시스템을 다양하게 적용할 수 있는 토대를 마련하였다. 이러한 방법은 실린더의 수명예상은 물론 Grease 주입예상시기와 실린더의 불량유무판단 등 개발자의 능력에 따라 여러 가지 응용이 가능할 것이라 생각된다.

ABSTRACT

In this paper, I studied the “Establishment of Fault Tolerant System” as well as the sensor and cylinder that are general components being used in automation equipments. I design a system that when the sensor breaks down on free flow conveyor, it will be converted to virtual sensor system mode by simulation, also I design IPC(Internal Pressure Cylinder), a basis of various applicable fault tolerant system by analyzing the changing of analog data according to the load of operation. With IPC and the increasing ability of developer, the Fault Tolerant System will be widely applied in the increasment of service time of cylinder, grease pouring time expection, fault recognition of cylinder and etc.

키워드

고장허용시스템, 가상센서, PLC, 실린더

Key word

Fault Tolerant System, Virtual Sensor, PLC, Cylinder

* 한국기술교육대학교 전기전자공학과

** 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (neomenie@kut.ac.kr)

*** 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 2010. 02. 12

심사완료일자 : 2010. 03. 26

I. 서 론

공장 자동화(factory automation)는 1980년대부터 사용되기 시작한 용어로 생산 공정 또는 계측, 제어분야 설계 자동화 등 제품수주에서 출하까지 생산 활동을 효율적, 유기적으로 결합시키는 시스템기술을 뜻 하며, 1913년 포드자동차에서 컨베이어 라인을 구축한 것이 최초의 공장자동화이다.

현재 전 세계적으로 공장자동화의 신기술을 포함한 생산현장 라인증설이 계속 늘어나는 추세에도 불구하고, 자동화 설비를 총괄하여 보전하고 관리할 수 있는 전문적 기술과 인력은 턱없이 부족하다. 또한 설비들의 규모가 커짐은 물론 설비구성이 복잡해짐에 따라 생산자 및 보수자가 전체시스템을 운영하기가 어려워지고 있어 HMI (Human Machine Interface)를 사용한 모니터링 시스템 도입이 일반화되고 있다. 그러나 이러한 모니터링 시스템은 생산 라인에 문제발생시 결합장소 검출방식의 한계로 인해 원인 파악 또한 쉽지 않다. 이러한 설비운영의 최적화는 고장이 없는 상태에서만이 가능하며, 설비의 안정성 및 신뢰도를 향상시켜 고장을 미연에 방지하는 데에 목적이 있다고 볼 수 있다.

고장 허용(Fault Tolerant) 시스템이란 설비에 이상 발생시 시스템에서 고장의 여부를 미리 판단하고 분석하여 시스템의 중단을 막고 계속적으로 정상 동작하여 시스템의 신뢰도를 높여 그에 따른 생산 효율의 극대화시킬 수 있는 기법이다.

본 논문에서는 자동화 설비에서 가장 많이 사용되는 근접센서와 실린더 사용에 대한 “고장허용 자동화 시스템 구축” 방법을 제안하였다. 첫째 Free Flow 컨베이어 시스템에서 센서 고장발생시 컨베이어 동작모드를 가상센서 동작모드로 전환하여 컨베이어의 정상동작 상태를 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 둘째로 실린더 동작시 내압의 변화를 이용하여 동작에 따른 압력센서의 아날로그 데이터 변화를 모니터링 함으로써 실린더의 정상동작과 비정상 동작을 판단할 수 있는 이중 동작 시스템을 제안하였다.

위의 두 가지 방법은 실린더의 수명예측은 물론 윤활유 주입 예상시기와 실린더의 불량유무판단등과 같은 고장허용 시스템이 다양한 응용분야에 적용할 수 있는 토대가 될 것이라 생각된다.

II. 관련 연구

현재 산업용 제어, 자동차, 항공기 등 자동화 시스템의 신뢰도와 안정성을 확보하기 위하여 설비운영을 최적화하거나, 고장 허용 시스템을 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

예를 들면, 통신모듈과 통신 라인을 하드웨어적으로 2 단 구성하여 문제발생시 대기 부품으로 빠르게 전환하여 설비 중단을 막는 방법이 있다. 이러한 방법은 변전소나 원자력발전소 등에서 많이 사용하고 있으나 반도체 관련설비나 그밖에 중소기업 제조설비에는 설비비로 인한 원가상승문제와 시스템을 어디까지 이중화를 시켜야 하는지에 대한 명확한 구분이 쉽지 않기 때문에 이런 제조 기업들은 방법을 알고 있음에도 현실적으로 현장 보수 근로자의 판단능력에만 의존하고 있는 실정이다.

소프트웨어적인 방법의 고장허용 관련 연구로는 첫째로 PLC 프로그램을 사용하여 정규용 제어 로직과 대기용 제어 로직, 즉 고장 허용 로직으로 구분하여 PLC와 로봇간의 통신 이상 발생시 정상 운영되도록 시스템을 구현한 사례가 있다.[1] 하지만 생산현장에서는 통신 채널 이상이나 PLC와 로봇간의 인터페이스로 인한 고장 빈도보다는 오히려 센서나 실린더와 같은 설비부품 이상이 발생하는 빈도가 상대적으로 높았다. 둘째로 중간노드 검색방법을 이용하여 복수 고장 제어를 설계한 사례[2]와 같은 복수 허용 제어에 관한 연구가 있었지만 설비비용에 민감한 기업에서는 적용에 있어서 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 이러한 현장 상황을 고려하여, 통신 경로나 인터페이스 고장의 이중화 보다는 설비장치의 동작 상태를 지속적으로 모니터링 함으로써, 고장 진단뿐만 아니라 유지보수에 필요한 통계 데이터를 확보할 수 있는 고장허용 시스템을 제안한다.

III. 가상센서를 사용한 고장허용 시스템

3.1. VSS

VSS(Virtual Sensor System)시스템은 현장에서 빈번히 발생할 수 있는 센서의 불량 발생시 가상센서를 동작

시킴으로써 설비 중단을 막고 생산 손실을 방지하여 생산량을 증대하고자 하였다.

컨베이어 구동 시 사용되는 모터는 인버터용 모터를 사용해야 하지만 시뮬레이션 구현이 어려운 관계로 RC 서보모터를 사용하여 구성하였다.

그림 1은 생산 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 컨베이어 시스템의 구조이다.

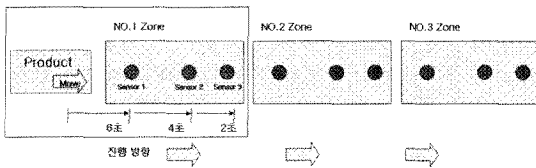


그림 1. Free Flow 컨베이어 시스템
Fig. 1 Free Flow Conveyor System

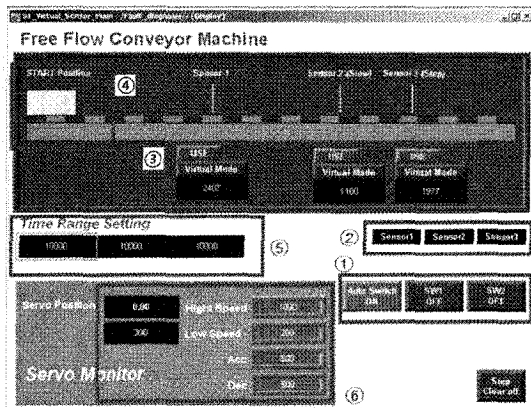


그림 2. Free Flow 컨베이어의 Touch Screen
Fig. 2 Touch Screen of Free Flow Conveyor

컨베이어 시스템에서 생산품은 1번 지역(zone)을 지나 2번 3 번순으로 진행하게 되며, 센서 2 번 감지 시 감속을 하게 되며, 센서 3 번 감지 시 정지하게 되는 간단한 동작을 수행하게 된다.

그림 2는 컨베이어라인을 테스트하기 위하여 시뮬레이션을 구성하였다. 노란색 박스④는 생산품으로써 정상동작시 우측으로 이동하게 된다. 이동도중 센서 1까지 도달시간과 센서 2번까지 도달시간 그리고 센서 3번까지 도달 시간은 PLC의 각각의 버퍼에 저장 된다.

표 1. Auto Step Program 순서
Table. 1 Flow Chart of Auto Step Program

Auto Program 순서	Step 동작
Auto Step.[0]	Program Start
Auto Step.[2]	컨베이어 대기
Auto Step.[5]	센서 1 감지
Auto Step.[7]	센서 2 감지
Auto Step.[10]	센서 3 감지
Auto Step.[13]	복귀 스위치
Auto Step.[14]	Program 초기화

표 1의 Auto Step.[0]에서 Auto Step.[14]까지 순차적인 아래 방향으로 PLC의 프로그램을 수행하며, 그림 2의 시뮬레이션을 동작 시킨다.

그림 2의 ①번은 컨베이어의 동작 스위치로써 Auto Switch On동작에 이어 SW1 스위치를 On동작 시 ④번의 노란색의 네모박스가 우측으로 움직이게 된다. 노란색 박스가 센서3까지 도착 후 다시 SW2(Reset) 스위치를 On을 동작 시 처음 위치 (Start Position)로 복귀한다.

그림 2의 ②번은 컨베이어의 센서 구성이 어려운 관계로 센서구성을 대신 스위치이다.

총 3 개의 센서로 구성 하였으며, 네모박스가 우측으로 이동시 센서 1(감지구간)에서 센서 2(감속구간) 센서 3(정지)번까지 순서대로 동작 시킨다.

이때 ③번의 창에는 각각의 센서감지 시간이 PLC의 각각의 버퍼에 저장이 되고, PLC에서 저장된 Data가 ③번창에서 표시되며 시뮬레이션이 동작한다. 버퍼에 저장된 값은 센서 문제 발생 시 바로 가상센서동작모드(virtual sensor operation mode)로 변환되어 감속에서 정지까지의 정상적인 동작을 수행해야 한다.

그림 2의 정상적인 동작모드는 ③번 상단의 스위치 USE Mode 상태에서 구동되며, 센서 문제 발생 시에는 Not Use Mode로 변환 후 정상동작 여부를 관찰한다. Not Use Mode (가상 센서 동작모드)일 경우에는 Virtual Mode Lamp가 깜빡이며 동작한다.

그림 2의 ⑤ 번은 Time Range Setting 은 컨베이어 동작 시 타이머가 동작을 하게 되는데, 이런 타이머 범위를 설정할 수 있도록 수 있도록 구성 하였다.

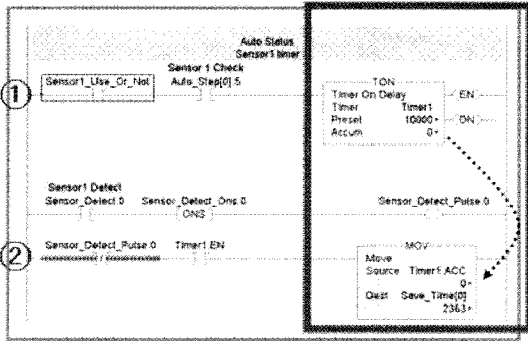


그림 3. VSS 버퍼 저장 프로그램
Fig. 3 Program for VSS Buffer Saving

그림 3의 ①의 접점은 그림 2의 ③ 가상모드 선택 스위치(USE Mode)를 나타내며, 그림 3의 ①번 접점은 그림 2의 ③번 스위치동작에 해당되며 동기 된다.

표 1의 Auto Step.[5]동작과 그림 3의 ①번 라인의 두 번째 접점(Auto_Step.[5])이 On이 되면 TON(TIMER1)의 Acc(Accum)가 값이 증가하게 된다. ②번 라인에서는 Timer 1 Acc값 상승 중에 센서1이 감지되면, ②라인의 Timer1.EN(타이머 동작 중)의 입력 신호가 Off가 되면서 Timer1.Acc(상승 값)을 Save_Time 이란 버퍼에 저장하게 된다.

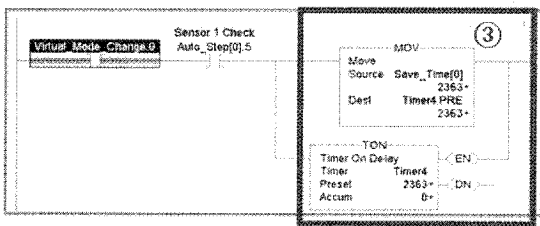


그림 4. VSS 버퍼 저장 프로그램
Fig. 4 Program for VSS Buffer Saving

그림 4의 ③번에서는 센서동작 시 버퍼 (Save_Time.[0])에 저장되어 있던 값을 기준으로 Virtual 센서 TON(Timer4)를 동작을 하게 된다.

그림 5에서 Timer4.DN은 가상센서 동작 Timer4의 완료 신호이며, ④번의 Sensor Out.0을 표 1의 Auto Program의 가상 센서로 사용된다.

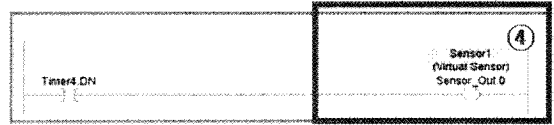


그림 5. VSS 버퍼 저장 프로그램
Fig. 5 Program for VSS Buffer Saving

3.2. IPC의 구성

IPC(Internal Pressure Cylinder)시스템에서 RC 서보모터의 경우에는 서보모터 동작 중 얻을 수 있는 위치(position), 토크(torque), 가속, 감속 등의 데이터 획득이 용이하지만 실리더의 경우 근접센서에 의존하여 실제 동작 수행을 완료여부에 따른 ON 또는 OFF의 같은 단순 입력 정보만 얻을 수 있었다.

이러한 문제를 해결하고자 실린더에서 유입되는 공기의 압력변화를 아날로그 센서를 통해 실시간으로 모니터링하고 분석하여 실제 실린더의 동작 상태를 모니터링 하는 그림 6과 같은 고장허용 시스템을 설계하였다.

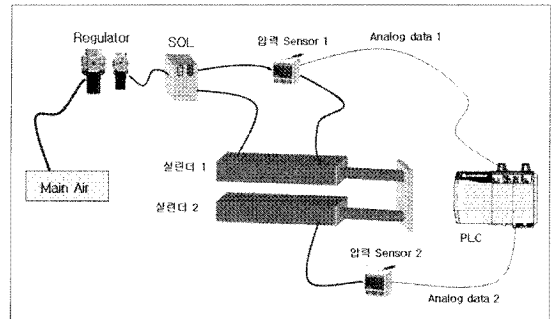


그림 6. IPC (Internal Pressure Cylinder) 구성
Fig. 6 Configuration of Internal Pressure Cylinder

설계한 IPC 시스템은 크게 3 단계로 동작한다.

<IPC 시스템 Test 사양>

- Regulator : 0.05-0.85Mpa
- Solenoid valve : SMC VQ4100-
- 실린더 : SMC (CJ2f16-100AR)
- 압력 Sensor 1 : SMC ZSE40
- 압력 Sensor 2 : SMC ZSE30
- Input 압력 : 300PSI (21.09kg/cm²)

- 동작 1단계

Main Air에서 레귤레이터를 통해 유입된 에어로 솔레노이드 1(Sol)을 동작시키고, 실린더 2는 실린더 1을 기준으로 고정을 하였다.

- 동작 2단계

실린더 1에 공기가 유입되어 전 후진 동작을 수행하며 압력 센서 1에 전진 동작 시 압력의 변화를 확인한다.

- 동작 3단계

실린더 2는 실린더 2에 가지고 있는 자체 내압을 이용해 압력센서 2의 변화를 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

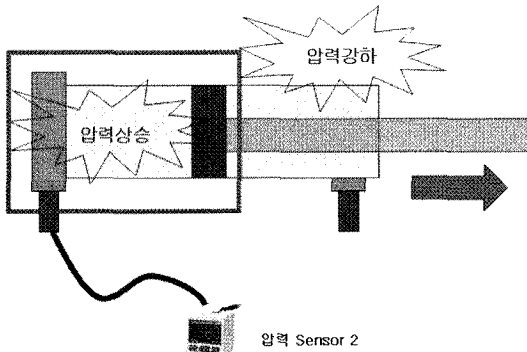


그림 7. 실린더 2 동작에 따른 압력 상태
Fig. 7 Air Pressure of Cylinder 2

그림 7은 실린더2가 후진상태에서 전진상태 동작 시 내부 압력 상태를 나타낸다. 작업 순서는 우선 실린더 2를 후진한 상태에서 에어라인을 구성 하고 압력센서 2를 부착한다. 실린더 1이 동작하면서 고정되어있던 실린더 2가 전진상태로 되고 압력센서 2값이 변하게 된다. 압력센서 2에서 변화하는 값을 PLC로 모니터링 하였다.

IV. 실험

그림 8은 VSS의 동작을 트렌드를 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 컨베이어 위치에는 PLC Scan Time에 의한 약간의 변화만 있었을 뿐 위치에는 변화가 없이 동작함을 확인 할 수 있었다.

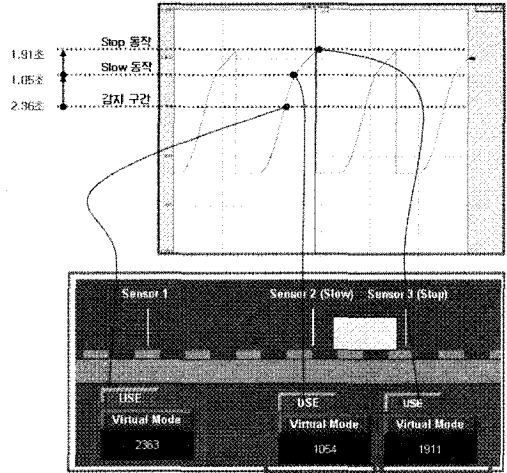


그림 8. VSS의 Trend 분석
Fig. 8 Analysis of VSS Trend

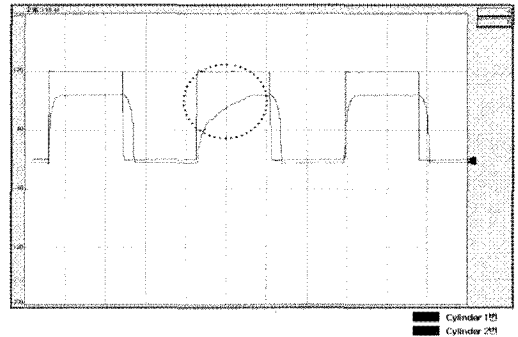


그림 9. IPC의 동작 Trend 분석
Fig. 9 Analysis of IPC Trend

그림 9는 실린더 1이 전진 동작중, 약 4회에 걸쳐 부하를 가한 결과 파형이다. 실린더 1에는 압력의 변화가 없었고, 실린더 2에는 압력이 낮아졌다가 서서히 증가 되는 것을 볼 수 있었다.

4.1. IPC 적용

그림 10은 실린더의 동작을 항상 전진 상태에 놓아두고, 실린더 후진동작을 시키는 포트에는 압력 센서를 부착 하였다. 실린더가 전진동작에서 외부의 압력이 증가하면 실린더내부의 진공의 량이 증가하여 압력센서의 아날로그 데이터가 변하게 된다. 이러한 방법으로 실린더의 압력변화를 확인할 수 있게 된다.

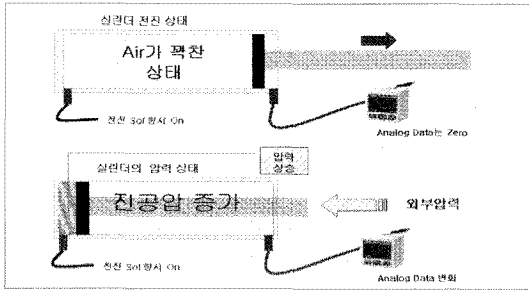


그림 10. IPC 적용사례-1
Fig. 10 Application of IPC-1

그림 10의 방법을 적용한 것이 그림 11의 LCD 생산라인에 사용되는 서보 모터와 실린더를 혼용으로 사용한 LCD Glass Cutting System이다. 서보 모터의 동작 특성으로는 유리가 깨질 우려가 있기 때문에 기존에는 단순히 스프링을 이용하여 LCD Glass 정밀 커팅을 하였다. IPC에서는 스프링 대신 공기 특성의 유연함을 이용하여 실린더에 작을 틀을 부착 후 유리에 자국을 남겨 커팅작업을 하게 된다.

기존의 스프링방식은 실린더 전진 동작 후 유리에 어느 정도의 압력이 가해졌는지 확인 불가능하기 때문에 서보모터 위치값을 미세하게 조절하면서 설정해야 하는 번거로움이 있다. 그러나 IPC의 실린더 내부의 압력 강하원리를 적용 시 Glass Cutting되는 데이터 값을 쉽게 찾아 셋팅 작업에서 효율성이 증가될 수 있다. 또한 실린더의 동작에 따른 압력상태를 실시간으로 모니터링 하고 관리 한다면 Glass Cutting 품질을 향상시킬 수 있는 장점도 있을 것이다.

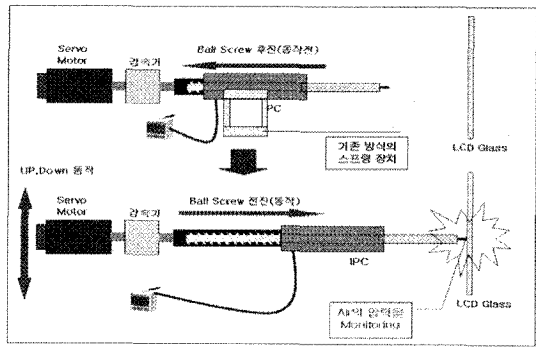


그림 11. IPC 적용-2
Fig. 11. Application of IPC-2

4.2. VSS & IPC 적용

그림 12는 실린더로 전·후진 동작을 수행하는 기계이다. 실린더 전진동작 수행 후 PLC에서는 전진 감지센서의 입력을 기다리게 된다. 기존의 시스템 방식은 실린더가 전진동작 후 센서의 입력이 들어오지 않을 경우 몇 초 후 알람을 발생 시키고 기계의 다음동작 수행을 시키지 않는다. 그 이유는 PLC는 기계의 실린더 동작여부를 단지 센서로만 보기 때문이다.

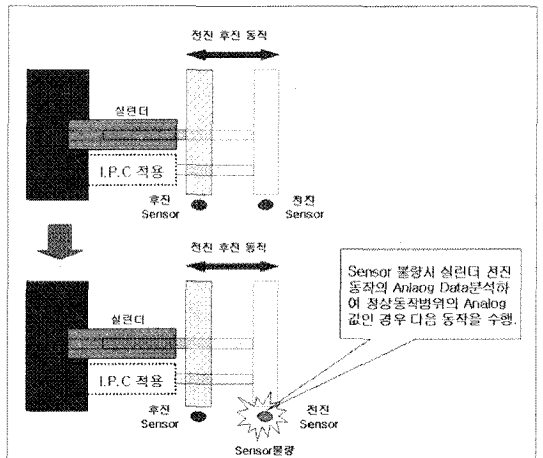


그림 12. VSS 와 IPC 적용
Fig. 12 Application of VSS and IPC

하지만 IPC를 적용 시 기계의 동작상태(실린더의 전진)의 여부를 아날로그 데이터를 받을 수 있기 때문에 실린더의 정상동작을 여부를 알 수 있게 된다.

만약 PLC 버퍼에 저장되어 있던 아날로그 데이터를 비교를 통해 정상 값으로 판단이 되면, 센서입력 신호를 무시하고 PLC는 다음 동작 수행을 하여 기계를 정상 가동 시킨다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 고장허용 시스템을 두 가지 형태로 분류해서 적용해 보았다.

첫째는 컨베이어 동작 시 문제가 발생할 수 있는 센서를 대신한 VSS를 구현하였고, 둘째는 IPC를 이용하여 하나는 정상적인 동작을 수행을 하고, 다른 하나의 실린

더는 내압의 변화를 아날로그 데이터를 받아서 실린더의 동작 상태에 따른 트렌드의 변화를 확인 하였다. 그러나 VSS의 시뮬레이션 구현은 실제 현장 적용 후 충분한 테스트가 진행되어야 할 것이다. 또한 설비 문제 발생은 많은 변수를 가지고 있기에, PLC에서 동작상의 센서 데이터를 모두 가지고 있을 경우 프로그램의 복잡함은 물론 PLC Scan Time의 영향을 끼치게 될 것이다. 하지만 설비의 동작정보를 보다 데이터베이스화된 방법, 즉 PC에서 장비의 동작 정보를 모두 저장하고, 장비 문제 발생시 이벤트 프로그램을 활용하여 PLC에서 정보를 업데이트 하는 방법도 있을 것이다.

IPC는 실린더의 수명예상과 그리스주입 예상시기 실린더 불량유무 판단을 물론 더 나아가 아날로그 데이터의 신뢰성확보와 브레이크 기능을 가진 실린더가 개발된다면, 실린더의 포지션 제어 까지도 가능할 것으로 생각된다. 또한 IPC에서는 복수개의 실린더를 사용했으나, 단일 구조의 실린더로 내압의 변화를 알 수 있는 기능을 가진 모델을 개발하는 것도 좋은 방법일 것이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 설비 문제 발생전에 사용자나 보수자에게 문제발생 신호를 통보하기 때문에 보수 일정 계획을 통한 설비보수의 효율 증대, 생산 설비의 수명 연장, 설비 문제로 인한 생산 손실의 감소를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] 지웅, "산업용 Robot와 PLC 통신상에서의 고장 허용 제어 Logic 구조개발", 석사 학위 논문 한양대 대학원, 2009 pp.1-2.
- [2] 정영미, "자동화 시스템의 고장 진단 및 고장 허용 제어에 관한 연구", 석사 학위 논문 부경대 대학원, 2003 pp.32.
- [3] 이석용, "PLC 고장허용에 대한 이중화 시스템 연구", 석사 학위 논문 한국기술교육대 대학원, 2000.
- [4] 오승모, "PLC의 기술개발 동향과 국내의 시장현황", 모션컨트롤, 2004.

저자소개

송민우(Min-Woo Song)



2010.02 한국기술교육대학교
전기전자공학 석사
2003.8~2009.12 주)에스에프에이
2009.12~현재 주)에스에프에이
재직 중

※ 관심분야: 센서네트워크, 전기시스템

최원석(Won-Seok Choi)



2004. 공주대 컴퓨터교육과 학사
2010. 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과 석사
2010.02~현재 주)라플레이스
재직중

※ 관심분야: 임베디드시스템, 운영체제, 컴퓨터비전

이두완(Doo-Wan Lee)



2001. 대전대학교 전자물리학 학사
2003. 한국교원대학교
컴퓨터교육학 석사
2009.3~현재 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과 박사과정

※ 관심분야: 센서네트워크, 임베디드시스템

장경식(Kyung-Sik Jang)



1987. 고려대학교 전자공학과 학사
1989. KAIST전기및전자공학과
석사
1998. 동경공업대학교
전기전자공학 박사

1987.3~1998.2 KT 연구개발단
1998.3~1999.2 삼성전자 시스템 LSI 사업부
1999.3~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부
부교수

※ 관심분야: 임베디드시스템, 센서네트워크