

발포 벽지 공정에서 이기종 PLC 그룹 관리를 위한 네트워크 운영과 해석

강 성 덕[†] · 이 동 춘[†] · 김 정 호^{††} · 이 상 범^{†††}

요 약

생산 공정에서 공동의 작업 범위 지역에 위치한 단위 제어 기기들에 대한 효율적인 운영과 자원을 공유하기 위하여 네트워크 기술이 적용되어 운영되고 있다. 본 연구에서는 발포 벽지 공정 관리의 효율화를 위하여 컴퓨터 통합 생산 방식의 표준을 기반으로 공정 라인의 이기종 PLC들의 그룹 관리를 위한 셀(cell) 시스템을 설계하고 시험 운영하였다.

본 연구에서 설계된 이기종 PLC 그룹 운영 해석은 PLC 래더 로직 프로그램에서 데이터 패킷 크기와 노드 수의 변화로 파라미터를 선정하였으며, 이에 따른 시스템의 운영을 위한 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 대응된 변화값을 해석하였다. 이의 해석적 방법은 PLC 네트워크 연결의 인식 패킷의 서비스 시간, 전송 안정 여유의 오버헤드를 고려한 M/G/1의 큐 모델로서 해석식을 유도하였으며, 셀 시스템과 PLC 그룹 관리에 적용하여 운영하였다. PLC의 스캔 타임(scan time)을 고려하여 10-20 msec 정도의 응답 하한선을 가지고 있으며 데이터 패킷의 크기는 50 바이트를 넘지 않고, 노드의 수가 40 이하이면 Jayasumana, Browaka의 결과보다 확장되고 개선된 결과로서 네트워크가 안정되고 실시간 처리가 가능함을 알 수 있었다.

Operation and Analysis of Network for Multivendor PLC Group Management in the Wall Paper Process

Sung Duk Kang[†] · Dong Choon Lee[†] · Jeong Ho Kim^{††} · Sang Burm Rhee^{†††}

ABSTRACT

To operate the automatic devices of manufacturing process more effectively and to solve the needs of the resource sharing, network technology is applied to the unit control devices located in common manufacturing zone and operated by connecting them. This paper introduces a design and test operation of cell system for the management of multivendor PLC by applying to wall paper process based on the manufacturing standardization of CIM.

The analysis of designed multivendor PLC group is performed by selecting the parameters such as variation of data packet size and node number of PLC ladder logic program and variation by analyzing the corresponding variation values of token rotation time and waiting time for the system operation. For the method of the analysis, the

* 본 연구는 94년도 산학협동재단의 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구 결과임.

† 정 회 원: 단국대학교 대학원 전자공학과 박사과정

†† 종신회원: 대전산업대학교 전자계산학과 교수

††† 정 회 원: 단국대학교, 컴퓨터 공학과 교수

논문접수: 1995년 7월 21일, 심사완료: 1996년 2월 9일

equation is derived considering the overhead such as indicated packet service time and transmission safety margin for PLC network connection in M/G/1 queue model, and it is applied to the cell system and PLC group management for operation. Through the experiment, it is found that the realtime processing is possible with expanded and better result than the result obtained by Jayasumana, Browaka with PLC scan time considered, response lower limit of 10-20 msec, data packet size not more than 50 bytes, and the number of nodes less than 40.

1. 서 론

많은 산업 현장에서 생산성의 향상을 위하여 각 생산 기기들의 효율적인 운영과 이의 제조 관리를 연관시킨 컴퓨터 통합 생산 체제의 구축이 요구되고 있다. 이러한 통합 생산 체제의 기능은 공정 작업 흐름의 연결, 분산 및 계층 제어의 구조, 효율적인 데이터 관리, 산업용 네트워크 기술 등의 복합으로 업체별로 생산 구조 및 공정에 따라 다양하게 독자적인 방법으로 전개되어 왔다.

1988년 8월 ISO(International Organization for Standards)에서는 통합 생산 구축을 생산 공정과 제조 관리 측면에서 계층 구조의 여러 층으로 분류하여 CIM (computer integrated manufacturing) 체제인 컴퓨터 통합 생산 참조 모델을 제안하였다[1]. 생산 공정에서 공정을 수행하는 PLC(programmable logic controller), 수치제어기기 등의 프로그램식 단위 제어 기기 계층과 이의 그룹을 감시, 제어 및 통신하는 실시간 처리 기능을 수행하는 계층을 셀(cell) 계층으로 정의하였으며, 이를 수행하는 시스템을 셀 시스템으로 명명하고 있다. 이의 주된 기능은 하위 계층의 단위 제어 기기들에게 공정 데이터를 출력하고, 효율적인 공정 감시 및 제어를 위한 사용자 인터페이스 제공과 단위 제어 기기 사이의 네트워크 운영이다[2, 3]. 생산 환경에서 네트워크 연구는 1986년 A. S. Sethi, T. Saydam의 연구에서 공정 데이터 패킷 길이의 변화에 따른 노드에서의 처리율 해석[4]과 Jayasumana, Browaka의 연구에 의한 노드수에 따른 메시지 크기의 변화 해석을 제안하여 생산 공정에서 MAP 네트워크 구축을 제시하였으며[5], 이들은 생산 현장에서 통합 생산 체제를 위하여 MAP의 안정성 평가에 활용되고 있다[6].

본 연구에서는 ISO의 통합 생산 구조인 셀 계층과 단위 제어 기기 계층을 기준으로 발포 벽지 생산 공정 관리에서의 셀 시스템을 구성하고, 단위 제어 기

기 계층으로 원료 배합 공정의 PLC에 적용하였다. 본 공정에서의 하위 계층은 계량, 배합 관리와 연관한 이기종 다수의 PLC들로 구성되며 이들은 그룹 운영에 따른 발포 공정의 계량, 배합의 조정을 위한 정보의 공유화가 요구되어 네트워크 체제가 요구되고 있다. 또한 본 공정의 상위 계층은 이의 작업을 지시하는 실시간 처리 소프트웨어인 VRTX를 탑재한 PC로서 셀 시스템을 구성하여 공정의 감시 및 제어가 요구된다. 이의 상하위 계층간의 구성은 PLC 고유의 프로토콜에 대한 Mini-MAP 규격의 적용과 토큰 버스 방식으로 운영하였다. 이의 해석과 평가는 이기종 다수의 PLC 그룹 운영에서 PLC 고유의 래더 로직 프로그램의 크기와 복잡성에 따른 데이터 패킷 길이와 노드 수에 대한 토큰 로테이션 시간과 대기 시간을 유도하여 Mini-MAP 규격에 의한 Jayasumana, Browaka의 데이터 패킷 길이와 노드 수에 대한 처리율[5]과 비교하여 본 공정에서의 실시간 운영 기능을 검증하였다.

2. 통합 생산 체제에서의 셀 시스템의 기능과 운영

표 1에서 제시한 ISO의 컴퓨터 통합 생산 계층 구조도를 고려하면 셀 계층은

- 공정 정보의 실시간 처리
- 공정 정보의 감시 및 제어
- MAP 통신의 적용
- 제조 장비에 따른 구성의 모듈화

의 특성을 가진다[1]. 컴퓨터 통합 생산 체제에서의 셀 시스템과 단위 제어 기기 사이의 운영 및 관리자의 동작 모드는 운영 준비(system set up), 작업 준비(process set up) 및 작업 수행(process execution)으로 나뉜다[1, 2].

운영 준비란 시스템의 동작을 위한 환경 확보가 주된 기능이며, 시스템의 제어 대상이 변경되는 경우

<표 1> ISO 표준화 위원회에서 제안한 컴퓨터 통합 생산 참조 모델
 <Table 1> ISO-CIM reference model

계층 명칭	관리/제어	역할 범위	기본 기능	구체적 실현방법의 예
6 기업 (Enterprise)	경영관리	기업의 목적 달성과 관리	· 경영 관리 · 재무/영업 · 연구 개발	· 경영 정보 관리시스템 · 경영 계획 시스템
5 공장 (Facility/ Plant)	생산 계획	조작 기능의 수행 및 생산 계획과 스케줄링	· 제품설계와 생산기술 · 구매(상위레벨) · 생산관리(상위레벨) · 모진 관리(상위레벨)	· 생산 계획 시스템 · 구매 정보 시스템
4 에리어 (Area)	재료 및 자원의 할당과 통제	생산의 조정, 제조 활동의 지원 및 자원의 획득과 할당	· 생산관리(하위레벨) · 구매(하위레벨) · 자원관리(하위레벨) · 보전관리(하위레벨) · 출하 및 폐기물 처리	· 자원 할당 관리시스템 · 스케줄 관리와 부하 계산
3 셀/군 (Cell/ Group)	다수의 기계와 조작의 협조	제조 현장에서의 제조 활동순서와 통제 및 각종 제조지원 활동의 통제	· 운영준비(구성관리) - 운영자 자원관리 - 시스템의 구성관리 - 단위제어기기의 구성관리 - 공정파라미터 정의 - 단위제어기기의 시험 - 공정 모니터링 정의 · 작업수행 - 작업운전시작 - 작업일시중단 - 작업중단	· 셀컨트롤러 · 군관리 시스템 · 유연 생산 시스템 · 공정 제어 시스템 · 분산 제어 시스템
2 스테이션 (Station)	시퀀스와 동작의 지시	제조 장치의 운전 지시 및 협조 제어	· 제조(스테이션 레벨)	· 프로그래머블 콘트롤러 · 수치제어 콘트롤러 · 로봇트 콘트롤러
1 장치 (Equip- ment)	시퀀스와 동작의 실행	제어 명령의 실행	· 제조(장치레벨)	· 동작기계 · 로봇트 · 액츄에이터(구동기기) · 센서

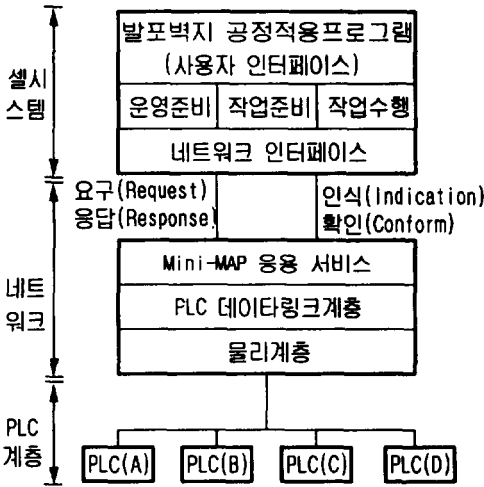
공정의 변경 사항에 대한 데이터만을 입력시킴으로써 대비할 수 있다. 작업 준비란 동일한 동작 환경 하에서 주어진 일을 수행하는데 소요되는 단위 제어 기기들의 조작 내용만을 변경함으로써 제조 작업에 임할 수 있다. 작업 수행에서는 작업 준비 단계에서 정의된 단위 제어 기기들의 동작을 실제로 수행하며 이때 발생되는 외부 사건에 대하여 실시간으로 처리되어야 하는 요구를 만족시켜야 한다[7,8]. 따라서 셀 시스템과 단위 제어 기기 사이의 생산 공정의 공동 작업 범위 지역에서 네트워크 구축은 제조 공정의 구성 환경, 제조 공정별 운영 및 유지 보수의 편의성, 작업

수행상의 실시간 처리, 설치 비용의 절감 등의 요구로 간략화된 계층 구조를 필요로 한다. 또한 이의 수행을 위한 셀 시스템 환경과 단위 제어 기기 사이의 통신을 통한 공용의 메시지 형태를 설정하여 이의 처리율을 해석하여 실시간 특성을 검증하여야 한다[6].

본 연구에서는 중소기업형 발포 벽지 생산 공정을 기본으로 하여 다음의 요구 기능을 설정하여 설계하였다.

- 데이터 획득: 이기종 PLC들로부터 공정 데이터 수집
- 데이터 저장: 데이터 파일 구축

- 각종 보고 출력: 주변 장치 활용
 - 오퍼레이터 인터페이스: 효율적인 공정 감시 제어
 - 이기종 PLC와의 업로드/다운로드
 - 셀 시스템과의 Mini-MAP 적용
- 한편 발포 벽지 생산 공정의 계층별 운영 구성도를 그림 1에 나타내었다.

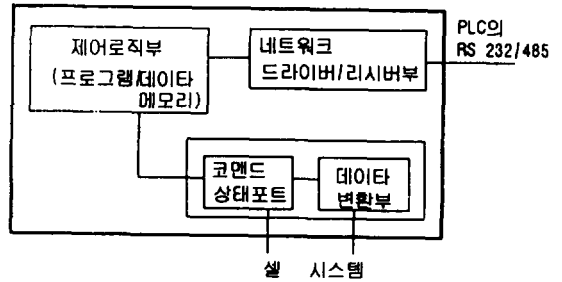


(그림 1) 셀 시스템과 PLC 그룹의 운영 구성도
(Fig. 1) Operation configuration of cell system and PLC group

3. 발포 벽지 생산 공정의 시스템 구성

3.1 하드웨어 구성

발포 벽지 생산 공정의 생산 라인에서는 계량, 배합과 관련한 이기종 다수의 PLC 인터페이스가 요구되며, RS-232C, RS-485의 직렬 인터페이스를 통하여 셀 시스템과 연결된다. 본 공정의 PLC는 Allen Bradley사의 datahighway 프로토콜, Modicon사의 Modbus 프로토콜로서 PLC 고유의 프로토콜이며, 셀 시스템은 각각 고유의 네트워크 접속 장치를 지원하여야 한다. 또한 PLC 기능의 고유 입출력 처리 기능은 계량, 배합 공정에서의 고유 역할을 수행하고 있으며, 이에 따른 PLC 고유의 스캔 타임(scan time)을 유지하여야 한다[8]. 본 공정에서의 PLC에 접속된 네트워크 접속 장치의 구성도는 그림 2와 같다[10].



(그림 2) PLC 네트워크 접속 장치
(Fig. 2) PLC network interface device

- 코맨드 상태 포트(command status port)
셀 시스템으로부터의 명령을 수행하기 위하여 코맨드 레지스터와 이 명령 이행 상태와 데이터 접수 상태를 알리는 세마포(semaphore)를 셀 시스템에 줄 수 있도록 되어 있는 상태 레지스터로서 래치, 디코더, 버퍼로 구성됨
- 데이터 변환부
셀 시스템과의 데이터 교환을 위하여 2 바이트에서 8 바이트의 양방향 레지스터로 구성되어 PLC 고유의 래더 로직 프로그램의 데이터 크기를 부호 동기화 정보가 코드화된 종속적 동기 방법으로 수행되어 이기종 PLC의 래더 로직 데이터 변환과 로직 동기부로 구성됨
- 네트워크 드라이버/리시버부
PLC와의 통신을 위하여 데이터 변환부에서 필요한 드라이브, 리시버, 방향 제어 로직으로 구성됨

3.2 소프트웨어 구성

발포 벽지 생산 공정의 생산 라인과 계량, 배합과 관련한 이기종 다수의 PLC 그룹 관리의 수행을 위한 소프트웨어 모듈을 ISO의 셀 기능을 기준으로 운영 준비, 작업 준비, 작업 이행에 따라 다음의 모듈을 설계하였다. 각 모듈들은 세부 모드로 나누어져 있으며 메뉴 선택 방식에 의해서 운영이 된다.

(1) 운영 준비

• 제품 특성 관리

제품 생산을 위한 기초 자료를 등록하는 모듈로서 모델 및 원료의 종류를 코드화하여 데이터 파일을 구축하며, 원료의 등록 및 수정, 모델의 등

록 및 수정, 모델별 원료 투입량의 등록 및 수정, 모델별 원료 점도의 등록 및 수정으로 구성됨

● 계량, 배합 관리

제품 특성 관리의 모듈에 의하여 구축된 데이터 파일을 이용하여 해당 제품의 원료 및 투입량을 자동으로 조절하여 배합하고, 원료를 PLC와의 통신으로 배합 공정 파일의 입출력을 제어하여 운영함

(2) 작업 준비

● 작업 지시 관리

생산 공정의 수행을 위한 각종 자료를 등록하는 모듈로서 모델 및 생산량에 따른 롤(roll)선정, 원지 규격선정, 인쇄기 선정 관리를 수행하며 원지도포 높이 선정, 배합(compound) 레벨 선정, 온도 선정, 생산 라인의 선정과 함께 원료 배합 출력이 이루어진다.

● 생산 라인 관리

제품 특성 관리와 작업 지시 관리 모듈에 의하여 등록된 자료를 이용하여 PLC와의 톨로 인쇄 공정, 발포 공정의 센서를 제어하여 운영한다. 배합 공정, 인쇄 공정, 발포 공정의 상태를 감시 및 제어하며 경보의 발생시 이벤트를 출력하고 통계 관리 파일에 저장된다. 또한 생산된 제품에 대하여 생산량 및 재고 내용을 데이터 파일에 저장한다.

● 통신 채널 구성 모듈

셀 시스템과 이기종 PLC 간의 통신 요구 서비스 모듈의 수행에 요구되는 통신에 관련된 데이터 지정의 고유 기능으로 통신 프로토콜, 데이터 패킷 포맷, 전송 속도 지정이 수행된다.

(3) 작업 수행

● Recipe 관리

제조 작업 수행을 위한 PLC의 동작을 지정하는 것으로 개개의 PLC들의 동작을 제어하는 명령의 집합으로 PLC 동작의 지정은 이 모듈에서 개개 PLC들에 대한 작업 제어 명령 형태를 만든 다음 동작 수행에 관련 데이터를 입력시킴으로써 수행된다.

● 통계 프로세스 관리

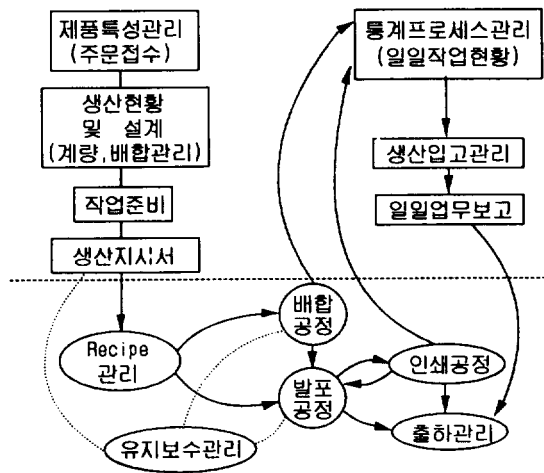
모델별 원료 투입량, 기간별 생산량을 출력하며 생산 라인과 기간별 계획 대비 생산량을 출력한다.

● 출하 관리

각종 보고서 출력 및 재고 관리를 수행하는 모듈로서 생산 입력 보고, 출고 지시서, 거래 명세서, 제품 수불장, 일일 재고 현황을 출력하며 생산 현황 및 계획서를 작성하여 출력한다.

● 유지 보수 관리

정상 작업 수행 도중 작업 종료와 긴급 상황 발생에 의한 경우, 셀 시스템에서 PLC 작업 수행을 종료시키고 유지 보수 관리 상태로 대기한다. 이에 따른 발포 벽지 생산 공정의 소프트웨어 구성을 그림 3에 나타내었다.



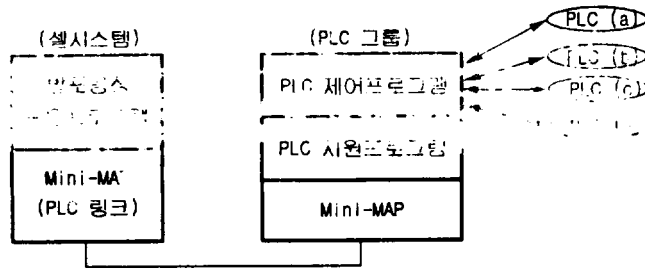
(그림 3) 생산 공정 흐름도

(Fig. 3) Manufacturing process flow diagram

3.3 PLC 네트워크 인터페이스와 운영

발포 공정의 여러 영역에 흩어져 있는 이기종 다수의 PLC 네트워크 인터페이스는 Mini-MAP 네트워크 구조에 대응하여 원격지에서 감시 제어가 메뉴를 통해 PLC 동작에 필요한 각종 정보, 파라미터 등을 다운로드하며, 또 PLC의 상태 모니터링, 동작 중에 발생하는 사건 등의 업로드를 수행한다.

셀 시스템과 PLC간의 접속 모델을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 셀 시스템은 PLC 호스트로서 수행되며 Mini-MAP 식별을 위한 전용자이다. 그리고 운영자 인터페이스를 제공한다. PLC 그룹에서의 PLC



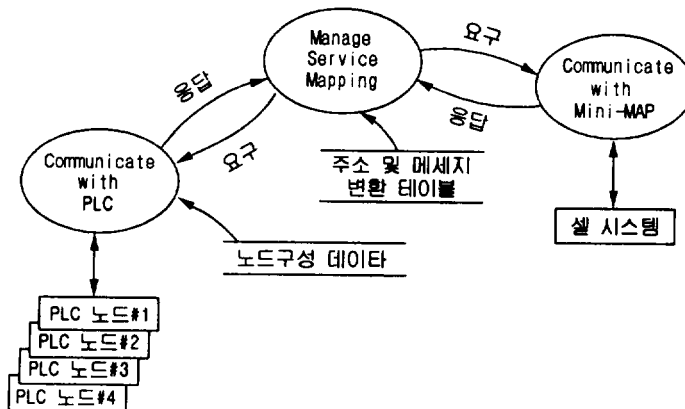
(그림 4) 셀 시스템과 PLC 간의 접속 모델
(Fig. 4) Interface model of cell system and PLC

제어 프로그램은 메뉴를 통한 명령의 선택에 따라 PLC 동작을 지정하며 PLC 상태 등의 PLC 동작 정보를 감시하게 된다. Mini-MAP의 연결 접속 모드의 선택이 가능하다. 또한, PLC 구성 데이터를 가동하며 Mini-MAP 데이터 링크 서비스를 요청하며 또, PLC로부터 온 정보를 처리하여 운영자에게 친숙한 자료로 변환한다. PLC 지원 프로그램은 PLC 고유의 통신 방식과 Mini-MAP과의 연결을 담당하는 게이트웨이 기능을 수행한다. 즉 네트워크를 통하여 전달되는 통신 절차 및 메시지 프레임, 메시지 전달 속도 등을 PLC 고유 방식과 대응시키는 과정이다[9]. 이는 PLC 래더 로직 프로그램, 파라미터, 명령 코드 등이 각 PLC 고유 방식의 통신 프로토콜을 통하여 PLC에게 정보와 명령을 보내 PLC의 동작을 제어하며 PLC로부터 수

집된 자료를 관리하여 프로토콜 변환 모듈의 요구에 응답한다. 이들의 물리적인 데이터 통로는 시리얼 입출력 포트이다.

본 공정에서의 네트워크 적용은 Mini-MAP 구조에 의하며 노드수 32개, 전체 길이 1 km 범위내, 데이터 패킷 크기 16-20 바이트에서 25 msec 이하로서 운영상의 규정을 적용하였다[11]. Allen Bradley사와 Modicon 사의 PLC 고유의 프레임과 IEEE 802.4 프레임의 형태의 변환 과정을 추가하였으며, 송수신 출력 레벨의 동기를 일치시켰다. PLC 고유의 정보 영역은 상위 응용 계층의 데이터 패킷 처리는 그림 5와 같다.

- PLC와의 통신 모듈(communicate with PLC)
PLC 고유의 래더 로직 프로그램의 정보에 대한



(그림 5) PLC 데이터 패킷 처리의 구조도
(Fig. 5) Structure diagram of PLC data packet process

데이터 패킷을 전송하며, 노드 구성 데이터와 함께 접속 노드별 PLC의 공정 데이터를 전송함

- 상호 변환 모듈(manage service mapping)

PLC 고유의 정보를 Mini-MAP의 데이터 링크 영역의 프레임 동기의 일치와 함께 명령 코드, 데이터 링크 계층의 포맷의 주소 변환, 제어 영역의 조건의 파라미터를 변환시킴

- Mini-MAP과의 통신(communicate with Mini-MAP)

셀 시스템에의 전송을 위한 Mini-MAP 규격에 일치한 데이터를 전송함

PLC 운영의 메시지 크기는 운영 조건에서의 초기에 설정시키는 메시지 버퍼 크기의 설정에 따라 변경할 수 있다. 이 메시지는 요구/응답(order/reply) 방식으로 전송되며, PLC 접속 노드에서의 메시지 요청은 셀 노드에서 각 노드들을 폴링(polling)할 때 한해서 가능하다. 즉 셀에서 특정 노드로 요구(order) 메시지를 보내면 PLC 노드에서 응답(reply) 메시지를 보냄으로서 상호 통신이 수행된다. 이에 따른 운영 시나리오는 다음과 같다.

- 1) 네트워크가 정상적으로 가동되는지를 확인하고 PLC와 셀과의 물리적 접속 상태를 확인한다.
- 2) PLC와 셀 시스템간의 어소시에이션(association)을 설정한다.
- 3) 원거리에 있는 셀 시스템의 오퍼레이터가 먼저 메인 메뉴에서 PLC 상태를 선택하여 PLC의 동작 유무와 PLC를 감시하기 위한 각종 파라미터의 상태를 확인한다.
- 4) PLC의 래더 로직 프로그램 스캔 타임을 결정한다.
- 5) PLC 래더 프로그램에서 중요한 레지스터, 카운터, 타이머 등의 값을 기록한다.
- 6) 셀 시스템에서 PLC 프로그램을 시작하게 하는 명령을 내리면 PLC가 동작을 개시한다.
- 7) 셀 시스템의 네트워크 서비스를 이용하여 PLC의 수행 입출력의 상태를 감시 및 제어한다.
- 8) 7)항을 반복 수행하며 운영자에게 PLC가 수행하는 공정 정보를 디스플레이한다.
- 9) PLC의 긴급 상황 발생시에는 운영자의 개입없이 셀 시스템이 PLC의 동작을 긴급 종료시키고 경보 발생과 함께 대기한다.

4. 시스템 운영 해석과 평가

4.1 시스템 운영 해석

본 연구에서 설계된 PLC와 셀 시스템 간의 운영은 이에 적용된 네트워크의 구조에 따른 운영으로 해석할 수 있으며 공정상에서 실시간 처리 해석적 모델은 PLC 고유 네트워크의 물리 계층과 데이터 링크 계층의 오버 헤드, 인식 패킷의 송신 등이 추가로 고려되어야 한다. 여기서 인식 패킷은 데이터 패킷이 수신될 때마다 발생하므로 소프트웨어적인 지연 시간을 D_s 라고 할 때 네트워크의 모델은 Mini-MAP 규격에 따라 식 (1)과 같이 데이터 패킷 서비스 시간인 x 와 슬롯 시간인 T_s 를 가지는 토큰 버스의 해석적 모델로 변환하여 해석할 수 있다[11].

$$x = \frac{8}{C} (M + 26) + x_a + T_s \tag{1}$$

$$T_s = 2(D_s + D_p) + (\text{safety margin})$$

여기서 C 는 채널 속도, D_p 는 전달 지연 시간, M 은 데이터 패킷의 평균 크기, x_a 는 인식 패킷 서비스 시간을 나타낸다. 본 연구에서는 A. Weaver 등의 연구를 참조하여 D 는 $10 \mu\text{sec}$ 로, 전송 안정 여유는 IEEE 802.4 표준에서 규정하고 있는 $2 \mu\text{sec}$ 로 하여 해석한다[12]. 이 경우에서 노드에 대한 서비스는 토큰을 전달받은 후에야 패킷을 전송하게 되며 토큰은 차대대로 노드를 순환하게 된다. 따라서 각각의 노드에는 하나의 큐가 존재하게 되며 이들 큐는 토큰 로테이션 시간을 한 주기로 하는 주기적인 서비스를 받는다. 부하 파라미터는 노드에 도착하는 데이터 패킷이 되는 데 이들의 도착 간격의 분포는 보통 지수 분포나 포아송 분포를 따르며 본 연구에서는 데이터 패킷의 도착을 Jayasumana 등이 모델링한 포아송 분포를 가지는 것으로 가정한다[13, 14]. 따라서 도착 분포는 포아송 분포, 일반적인 도착율의 서비스 시간 분포, 접속 서비스 채널수는 하나로 하여 $M/G/1$ 큐를 가정하였다.

우선, 토큰 로테이션 시간은 데이터 패킷의 서비스 시간과 토큰 버스 오버 헤드, 윈도우 개방에 따른 오버헤드의 합으로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 토큰 로테이션 시간을 T_r , 도착율을 L packet/sec

이라고 할 때,

$$\begin{aligned}
 T_r &= \text{도착한 데이터 패킷의 서비스 시간} + \text{토큰버스 오버헤드} \\
 &\quad + \text{윈도우 개방에 따른 오버헤드} \\
 &= T_1 + T_2 + T_3 \\
 &= T_1 + T_0 \tag{2}
 \end{aligned}$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 T_0 는 전체의 오버헤드를 의미한다. 식 (2)에서 우변의 항들을 차례대로 구해보면 다음과 같다. 각각의 노드에는 T_r 동안 평균 $L * T_r$ 개의 데이터 패킷이 도착하며 T_r 동안 N 개의 노드 중에서 n 개의 노드에서 서비스를 수행할 확률은 이항 분포를 갖게되어 다음 식 (3)이 성립한다.

$$\begin{aligned}
 P(n=k) &= \binom{N}{k} \cdot P^k (1-P)^{N-k} \quad 0 \leq k \leq N \tag{3} \\
 n &= N \cdot P \\
 n^2 &= NP(1-P) + N^2 P^2 \\
 T_1 &= x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n \quad 0 \leq n \leq N
 \end{aligned}$$

여기서 x 는 n 번째의 노드에서 패킷의 서비스에 걸린 시간을 나타낸다. 식 (3)에서 T_1, x, n 이 모두 랜덤 변수이므로 T_1 의 평균값은 다음식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 E[T_1] &= E[x_1 + x_2 + \dots + x_n] \\
 \bar{T}_1 &= E[x_1] + E[x_2] + \dots + E[x_n] \tag{4}
 \end{aligned}$$

한편 n 이 랜덤 변수이고 x 와 n 은 서로 독립이라고 가정하면 T_r 동안 도착한 패킷의 서비스 시간 T_1 의 평균값은 다음 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\bar{T}_1 = E[n] x = NPx \tag{5}$$

다음 토큰 전달에 따른 오버헤드 T_2 는 다음 식 (6)과 같이 주어진다.

$$T_2 = N x_t + N D_p = N (x_t + D_p) \tag{6}$$

여기서 전달 지연 시간 D_p 의 영향을 고려한 것은 다음과 같이 토큰의 전달 지연 과정에서 D_p 만큼의

지연을 고려하고 있다.

윈도우 개방에 따른 오버헤드는 가장 낮은 어드레스를 갖는 노드를 제외하면 ISSC(inter solicit successor counter)의 값이 0 이 될 때마다 한번씩 슬롯 시간 만큼의 윈도우를 개방하게 된다[15]. 그리고 가장 낮은 어드레스를 갖는 노드는 슬롯 시간의 두배 크기를 갖는 윈도우를 개방하게 된다. 그러므로 한번의 토큰 로테이션 시간 동안에 고려되어야 할 평균적인 오버헤드는 식 (7)과 같다.

$$T_3 = \frac{T_s}{ISSC} (N-1) + \frac{T_s}{ISSC} 2 = \frac{T_s}{ISSC} (N+1) \tag{7}$$

따라서 토큰 로테이션 시간의 평균값은 다음의 식 (8)로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 \bar{T}_r &= T_1 + T_2 + T_3 = N \cdot P \cdot x + N \cdot (x_t + D_p) \\
 &\quad + \frac{T_s}{ISSC} (N+1) = NPx + T_0 = \frac{T_0}{1 - N \cdot L \cdot x} \tag{8}
 \end{aligned}$$

다음에 M/G/1 큐 모델에 관한 L. Kleinrock이 제안한 식을 이용하여 대기 시간을 구하면 다음의 식 (9)(10)(11)들을 얻을 수 있다[16].

$$q = P + P^2 \frac{1 + C_b^2}{2(1-P)} \tag{9}$$

$$W_g = \frac{P(1 + C_b^2)}{2(1-P)} \cdot \bar{T}_r \tag{10}$$

$$C = \frac{\delta^2 T_r}{(\bar{T}_r)} \tag{11}$$

식 (9)는 M/G/1 큐 모델의 평균 큐 크기에 관한 식을 나타내며 Pollaczek-Khinchin 평균값의 공식이다. 그러므로 분산 계수의 제곱인 C_b^2 와 큐에서의 대기 시간 W_g 는 다음의 식 (12)(13)들로 구할 수 있다.

$$C_b^2 = \frac{NP(2-P)x^2}{\bar{T}_r^2} \tag{12}$$

$$W_g = \frac{L(\bar{T}_r^2) + NP(2-P)x^2}{2(1-P)} \tag{13}$$

따라서 데이터 패킷은 큐를 벗어나서 곧 서비스를 받는 것이 아니라 노드가 토큰을 넘겨받은 후에야 시

비스를 받게된다. 그러므로 토큰을 넘겨 받을때까지의 잠재적인 지연 시간을 고려하여야 한다. 만약 데이터 패킷이 큐를 벗어났을때 노드는 토큰을 가지고 있었다면 지연 시간은 0이며, 노드가 방금 토큰을 다른 노드로 넘겨주었다면 지연 시간은 \bar{T}_r 이 될 것이다[17]. 이와 같이 살펴보면 잠재적 지연 시간은 \bar{T}_r 은 구간 $[0, T_r]$ 에 균일하게 분포하는 랜덤 변수가 된다. 따라서 T_L 의 평균값은 다음 식 (14)로 주어진다.

$$\bar{T}_L = E[T_L] = \frac{\bar{T}_r}{2} \quad (14)$$

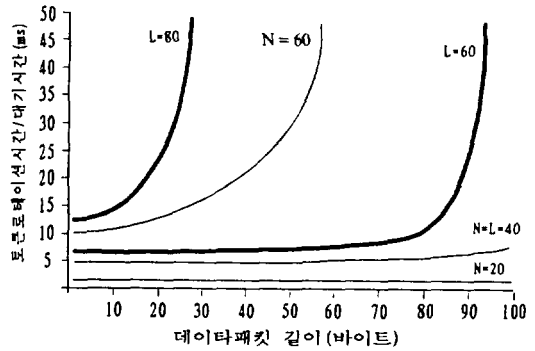
식 (13)과 (14)에서 전체적인 대기 시간 W 는 다음 식 (15)와 같다.

$$W = W_g + \bar{T}_L = \frac{L(\bar{T}_r^2) + N \cdot P(2-P)x^2}{2(1-P)} + \frac{\bar{T}_r}{2} \quad (15)$$

따라서 실시간 처리 환경인 생산 공정에서 네트워크 해석을 위하여 본 연구에서는 접속 노드 수에 대한 데이터 패킷의 대기 시간 처리에서 인식 패킷의 서비스 시간, 전송 안정 여유 등의 오버헤드를 고려함으로서보다 개선된 식을 제안하여 공정에 적용하였다.

4.2 시스템 운영의 평가

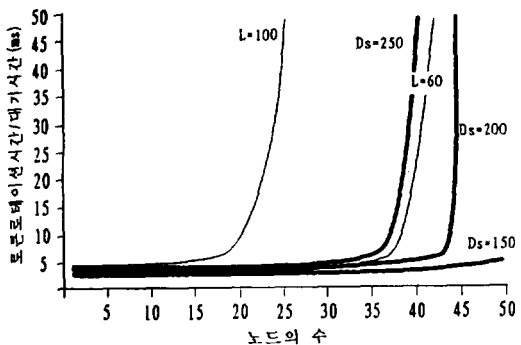
본 발포 공정에서의 PLC의 래더 로직 프로그램에 대한 전송 데이터 패킷 처리에 대한 해석식에서 데이터 패킷의 크기를 10 바이트에서 100 바이트까지 변화시킬 경우, 노드의 수(N), 데이터 패킷의 도착률(L)에 따른 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 대응적 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 노드의 수가 60, 도착률이 60 packet/sec 이상으로 커질수록, 데이터 패킷의 크기에 따라 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 증가 비율이 급격히 커짐을 알 수 있다. 설계된 셀 시스템은 본 공정에 적용된 PLC에 따라 2바이트에서 8 바이트의 프레임으로 동기가 수행되며 데이터 패킷의 크기가 50 바이트 이하인 경우에 대기 시간의 변화는 이 노드 수가 60인 경우를 제외하고 데이터링크 계층의 오버헤드를 고려하더라도 대부분 10 msec 이하의 값을 나타내었다. 이는 생산 공정에서 PLC 등의 단위 제어 기기가 10-20 msec 정도의 응답 하한선을 가지고 이의 정보의 데이터 패킷 크기가 50 바이트를 넘지 않는 범위에서 적용한 네트워크가



(그림 6) 데이터 패킷 크기의 변화에 따른 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 결과
(Fig. 6) Result of token rotation time and waiting time about variation of data packet size

안정하게 운영이 됨을 알 수 있었다.

그림 7은 노드의 수의 변화에 따른 결과를 나타내었다. 인식 패킷 서비스 시간 등의 지연 시간(Ds)과 도착률의 변화에 따라 노드의 수의 영향을 예측할 수 있다. 노드에서의 지연 시간이 150 μ sec 이하에서 노드의 수가 40 이하이면 안정된 값을 나타내고 있으며 노드에서의 지연 시간이 200 μ sec 이상이 되면 본 연구에서 설계된 PLC와 셀 시스템간의 네트워크는 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 해석에서 인식 패킷의 서비스 시간, 전송 안정 여유 등의 오버헤드를 고려하더라도 노드의 수가 40 이하이고, 평균 도착률이



(그림 7) 노드 수의 변화에 따른 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 결과
(Fig. 7) Result of token rotation time and waiting time about variation of node number

〈표 2〉 Jayasumana, Browaka 결과와 비교
 〈Table 2〉 Comparison of the result obtained by Jayasumana, Browaka

(1) 데이터 패킷의 크기가 변화된 경우

비교 범위	해석 방법	파라미터	토큰로테이션 시간 10[msec]	대기 시간 10[msec]
데이터 패킷의 크기 60 [바이트]	Jayasumana의 해석	노드의 수	35	35
		제안된 알고리즘 해석	노드의 수	40
		도착율 [packet/sec]	40	40
		소프트웨어 지연시간 [μsec]	150	200

(2) 노드의 수가 변화된 경우

비교 범위	해석 방법	파라미터	토큰로테이션 시간 10[msec]	대기 시간 10[msec]
노드의 수(35 노드)	Browaka의 해석	도착율 [packet/sec]	70	70
		제안된 알고리즘 해석	도착율 [packet/sec]	60
		데이터패킷의 크기 [바이트]	40	40
		소프트웨어 지연시간 [μsec]	150	200

40 packet/sec 이하이면, 표 2와 같이 Jayasumana, Browaka의 결과[5, 13, 14, 18]보다 확장되고 개선된 결과로서 생산 공정에서 네트워크의 안정된 동작을 수행함을 알 수 있으며 실시간 처리 분야에 적용이 가능함을 알 수 있었다.

5. 결 론

생산 공정의 다양한 단위 제어 기기와 감시 제어 시스템은 계층화된 구조를 유지하면서 공동 작업 범위 지역에 위치한 단위 제어 기기들에 대하여 공장 환경에 적절한 네트워크를 사용하여 운영되고 있다. 최근 컴퓨터 통합 생산 방식의 표준에 따라 본 연구에서는 발포 벽지 공정에 적용하여 이기종의 PLC들의 관리

를 위한 셀 시스템을 설계하여 시범 운영하였다.

본 연구에서 설계된 이기종 PLC 운영의 해석은 시스템의 동작이 공정상의 특정한 시간 범위 내에 완료되는 실시간 처리의 범위를 검증하였다. 본 시스템의 해석에서 부하 파라미터로서 PLC 리더 로직 프로그램의 데이터 패킷의 크기와 노드 수의 변화로 선정하여 이에 따른 시스템의 운영을 위한 토큰 로테이션 시간과 대기 시간의 대응된 변화값을 해석하였다. 이의 해석적 방법은 M/G/1의 큐 모델로서 PLC 네트워크 연결의 인식 패킷의 서비스 시간, 전송 안정 여유의 오버 헤드를 고려하여 해석식을 유도하였으며, 셀 시스템과 PLC 그룹 관리에 적용하여 운영하였다. PLC의 스캔 타임을 고려하여 10-20 msec 정도의 응답 하한선을 가지고 있으며 데이터 패킷의 크기는 50 바이트를 넘지 않고, 노드의 수가 40 이하이면, Jayasumana, Browaka의 결과보다 확장되고 개선된 결과로서 네트워크의 안정되고 실시간 처리가 가능함을 알 수 있었다. 이는 본 연구에서 적용한 발포 생산 공정의 추후 확장과 변경에서의 유연성을 검증하였으며, 기능의 처리 가능 범위를 설정할 수 있었다. 앞으로의 연구 방향은 본 네트워크 서비스에 따른 PLC 운영의 데이터 패킷의 분할 기법에 의한 설계와 이의 실시간 처리 등이 실제적인 생산 환경과 연관되어 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Asok Ray, "Network for Computer Integrated Manufacturing," IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 40-47, May 1988.
- [2] Hebrick A. Schutz, "The Role of MAP in Factory Integration," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 35, No. 1, pp. 6-12, Feb. 1988.
- [3] L.J. McGriffin, L.O. Reid, S.R.Sparks, "MAP/TOP in CIM Distributed Computing," IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 23-31. May 1988.
- [4] A.S.Sethi and T. Saydam, "Performance Analysis of Token Bus Local Area Network," Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 9, pp. 191-200, 1985.
- [5] J. Suppan, Borowka, "Analyzing the Perform-

ance of the MAP Backbone," MAP Application Review, pp. 87-100, SME Publications, Dearborn, MI, 1986.

[6] Anura P. Jayasumana, Geetha G. Jayasumana, "On the Use of the IEEE 802.4 Token Bus in Distributed Real-Time Control Systems," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 36, No. 3, Aug. 1989.

[7] J. L. Burbidge, 'The Introduction of Group Technology', Halsted Press, New York, NY, 1975.

[8] Luping Liang et al., "Process Groups and Group Communications: Classifications and Requirements," IEEE Computer, 1990.

[9] Dan Moon, "Developing Standards Smooth the Integration of Programmable Factory Floor Devices," Control Engineering, Vol. 32, No. 10, pp. 49-55, Oct. 1985.

[10] 박남수, 김정호, 이상범, "분산된 단위 제어 기기의 실시간 처리를 위한 접속 모듈의 설계" 대한 전자공학회 논문지, 제 30권 B편 제 9호, 1993년 9월.

[11] Manufacturing Automation Protocol, version 3.0, General Motors, Aug. 1988.

[12] A. Weaver and C.F. Sunner, "The IEEE Token Bus a Performance Bound on GM MAP," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 35 No. 1, pp. 13-17, Feb. 1988.

[13] A.P. Jayasumana, and P.D. Fisher, "Performance Modeling of IEEE 802.4 Token Bus," Proc. on IEEE-NES Workshop Factory Communication, pp. 221-252, Mar. 1987.

[14] A.P. Jayasumana, "Throughput Analysis of IEEE 802.4 Priority Scheme," IEEE Trans. Communication, Vol. 37, No. 6, pp. 565-571, June 1989.

[15] Siamack Ayandeh, "Performance Evaluation of the IEEE 802.4 Token Bus Protocol for Distributed Real Time Application," IEEE Press, pp. 1102-1110, 1990.

[16] L. Kleinrock, 'Queueing Systems volume 1: Theory', John Wiley & Sons Inc. 1985.

[17] O. J. Boxma and B. W. Meister, "Waiting Time

Approximations for Cyclic-Service Systems with Switchover Times," Performance Evaluation, Vol 7, No. 4, pp. 299-308, Nov. 1987.

[18] A. P. Jayasumana and G. G. Jayasumana, "Simulation and Performance Evaluation of 802.4 Priority Scheme," in Proc. IEEE Symp. Simulation Computer Networks, pp. 232-238. Aug. 1987.

[19] 한국전자통신연구소, FA용 네트워크 시스템 개발에 관한 연구, 최종연구보고서, 1986-1988.

[20] William Stallings, 'Data and Computer Communications', McMillan Publishing Company, 1989.

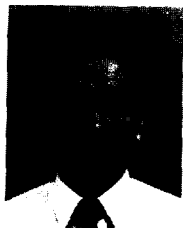
[21] Vincent C. Jones, 'MAP/TOP Networking', McGraw-Hill, 1990.



강 성 덕

1990년 2월 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1992년 2월 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 12월~1994년 2월 대우 전자 영상 연구소 연구원

1992년 3월~현재 단국대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 관심분야: 멀티미디어 처리(음성 및 영상 처리), 데이터 통신, 컴퓨터 구조



이 동 춘

1983년 2월 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1985년 12월 미국 califonia state univ. 전자계산학과 졸업(공학석사)
 1993년 9월~현재 단국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

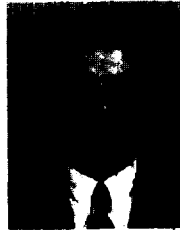
1985년 1월~1985년 12월 IBM 연구원
 1986년 6월~1993년 12월 삼성 종합 기술원 선임 연구원
 1994년 9월~1995년 12월 미래통신(주) 연구 소장
 1996년 1월~현재 한솔텔레콤(주) 부장
 관심분야: 멀티미디어 처리(음성 및 영상처리), 데이터 통신, 컴퓨터구조



김 정 호

- 1980년 경북대학교 전자공학과 (학사)
- 1983년 경북대학교 대학원 전자공학과(석사)
- 1990년 전자계산조직응용 기술사
- 1991년 공업계측제어 기술사

1992년 전기통신 기술사
 1983년~현재 한국전자통신연구소 책임연구원/실장
 관심분야: 컴퓨터네트워크, 실시간처리시스템.



이 상 범

- 1974년 연세대학교 전자공학과 (학사)
- 1978년 서울대학교 대학원 전자공학과(석사)
- 1986년 연세대학교 대학원 전자공학과(박사)
- 1983년~1984년 미국 IOWA대학 컴퓨터공학과 객원교수

1979년~1992년 단국대학교 전자공학과 교수
 1993년~현재 단국대학교 컴퓨터공학과 교수