

열공정에 대한 셀 콘트롤러 운영의 설계와 해석

¹소예인, ^{2*}전상준, ³김정호

Design and Analysis of Cell Controller Operation for Heat Process

¹So Ye In, ^{2*}Jeon Sang June, ³Kim Jeong Ho

요약

생산라인의 운영 효율화, 설비의 융통성을 위하여 제조계획부터 생산에 이르기까지 산업자동화의 구축과 운영이 활발히 이루어지고 있다. ISO/TC184는 생산라인에서 지역적으로 분산되어 있는 PLC, IoT 등 프로그램식 단위제어기기(Programmable Devices)들의 정보를 공유할 수 있는 운영방식들에 대한 표준화가 진행 중이다.

본 연구에서 셀 콘트롤러의 설계는 열 공정에 대한 온도센서, 가스센서, 압력센서 등의 신호와 이를 대응하는 모터나 밸브 등의 동작을 수행하는 PLC그룹과 IoT 그룹으로 구성하였다. 셀 콘트롤러의 동작과 해석은 SDN(Software Defined Network)를 활용한 열 공정에서 수행되는 공정 서비스 유형으로는 실시간(real-time) 전송 서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반(normal) 전송 서비스로 세 종류로 설정하고 수행하였다. 모의실험 결과는 SDN 경로 기법을 활용하여 결과 트래픽 증가 시에 평균 손실률은 약 17% 개선되었고, 실시간 서비스의 지연은 1ms의 낮은 수준으로 성능향상을 확인할 수 있었다.

Abstract

The construction and operation of industrial automation has been actively taking place from manufacturing plan to production for improving operational efficiency of production line and flexibility of equipment. ISO/TC184 is standardizing on operating methods that can share information of programmable device controllers such as PLC and IoT that are geographically distributed in the production line. In this study, the design of the cell controller consists of PLC group and IoT group that perform signals such as temperature sensors, gas sensors, and pressure sensors for thermal processes and corresponding motors or valves. The operation and analysis of the cell controller were performed using SDN(Software Defined Network) and the three types of process services performed in thermal processes are real-time transmission service, loss-sensitive large-capacity transmission service, and normal transmission service. The simulation result showed that the average loss rate improved by about 17% when the traffic increased before and after the application of the SDN route technique, and the delay in the real-time service was as low as 1 ms.

Keywords: PLC, IoT, SDN, Cell Controller, Thermal Process

¹ 한밭대학교 대학원 박사과정(sns_peach@naver.com)

^{2*} 교신저자 한국지질자원연구원 지식정보실장(sjeon@kigam.re.kr)

³ 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수(jhkim@hanbat.ac.kr)

I. 서론

정보처리 기술은 산업 자동화 분야에 유연성을 갖게 하였으며, PLC, 로봇(robot), Loop Controller, 사물인터넷(IoT) 등의 프로그램식 단위기가 자동화에 중추적인 기능을 담당하여 생산성 향상과 원가 절감 등의 효과를 가져왔다. 또한 자동화 기기들은 보다 효율적인 운용과 자원을 공유할 필요성이 요구되어 PLC와 IoT의 배치, PLC를 제외한 IoT만의 조정배치 등이 수행되고 있다[1,2]. 이에 따라 생산 및 제조 공정의 공동 작업 범위 지역에 위치한 프로그래식 단위기기들을 셀 컨트롤러로 설정하여 그룹 운영 및 관리의 개념으로 상호 연결하고 운영하고 있다[2,3]. 본 연구에서 셀 컨트롤러의 해석으로 SDN(Software Defined Network) 컨트롤러와 SDN 서버를 동기화시켜 모의실험을 수행하였다, 또한 열 공정에서 수행되는 PLC 그룹과 IoT 그룹을 공정서비스 유형으로는 실시간(real-time) 전송서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반(normal) 전송 서비스로 세 종류로 설정하고 해석하였다.

II. 공정과 생산 환경에서의 셀 컨트롤러의 운영

(1) 자동화에 따른 표준화 동향과 모델

산 공정과 제조 관리 분야를 유기적으로 통합하는 차원에서 ISO/TC184는 ‘표 1’과 같은 통합 생산 참조 모델을 표준화를 진행 중이다. 이 모델은 생산 공정과 제조 관리 면에서 작업 흐름의 연결로 제안하고, 효율적인 데이터 관리 그리고 사용자 인터페이스 기술을 기반으로 분류하였으며, 각 계층은 생산 및 관리에서 요구되는 산업용 네트워크로서 연결 운영되도록 제안하고 있다[3.4].

Table 1. Integrated system reference model proposed of ISO/TC184

layer	soupe	basic function	practical service
Enterprise	- Corporate Purpose	-Business Management -Financial Management	- Management Planing - Decision support
Facility/Plant	- Product Design - Resource Management	- Product Design(high level) - Resource Management(high level) - Maintenance Management(high level) - Shipment Management	-Manufacturing Planing · Purchase Planning
Area	- Production Assignment - Manufacturing Activity Support - Resource Allocation	- Product Design(high level) - Resource Management(high level) - Maintenance Management(high level)	- Manage Assignment - Load Assignment
Cell/Group	- Manufacturing Activity - Manufacturing Command	- Operatot Configuration - System Configuration - Programmable Devices Configuration - Operation Start/Stop - Monitoring Configuration	- Cell Controller - Group Controller - FMS - Distribution System - Process Monitoring System
Programmable Devices	Manufacturing Device Operation	- Manufacturing Process	· PLC/IoT · CNC · Robot
Equipment	Command Execute	- Input/Output State	- Sensor - Actuator

(2) 셀 컨트롤러의 구조와 기능

ISO/TC/184에서 3 계층은 ‘셀(cell)’ 또는 ‘그룹(group)’ 계층은 특정 제조 혹은 공동 작업 범위 지역의 동작을 수행하기 위한 기계, 장비의 그룹 관리를 의미한다[1,5]. 이 시스템은 이들을

네트워크로 연결하여 생산 공정의 감시, 제어 및 통신하는 기능을 수행하는 프로세스 시스템으로 ‘셀 컨트롤러(cell controller)’로 명명되기도 한다[1,5]. 이의 주된 기능은 프로그램식 단위 제어 기기들로부터 공정 데이터를 수집하고 저장하며, 주변 기기를 활용하여 각종 공정 데이터를 출력하고, 효율적인 공정 감시 및 제어를 위한 사용자 인터페이스 제공과 제어기기 사이의 네트워크 운영되고 있다. 본 연구에서는 PLC 그룹과 IoT 그룹의 공동범위를 ‘셀 컨트롤러(zone master)’개념으로 설정하고 설계하고자 한다[3,5]

(3) 셀 컨트롤러의 배치와 전송구조

‘그림 1’에서 PLC 그룹과 IoT 그룹을 통한 사용자 도메인 간에 디바이스 I/O 제어 정보를 교환하기 위해서 가상 PCI 주소 공간 대신에 채널접속단자 모듈의 I/O ring 을 사용하는 방식으로 구성을 나타낸 것이다.

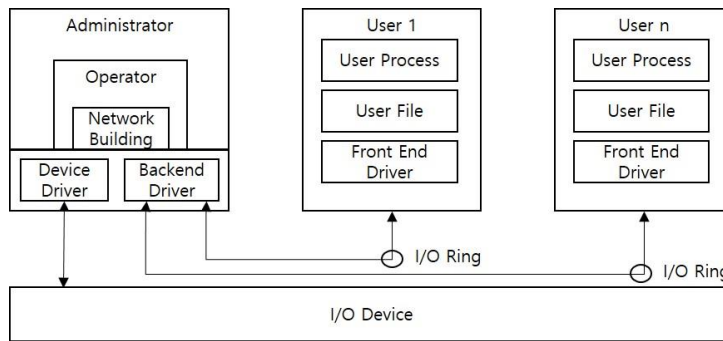


Figure 1. Node operation method of I/O device

I/O ring 은 가상 머신 간 통신을 위해서 제공하는 공유 메모리와 디바이스 콜을 사용하여 구현하였다. 장비제어기를 관리자라 하고 PLC 그룹과 사물인터넷 그룹을 대상으로 운영자로 하여 I/O ring 형태로 연결한 모습이다. 종래의 계층구조에서 이러한 구조는 디바이스 드라이버가 물리 네트워크를 직접 접근함으로써 서로 독립된 메모리 영역을 사용함으로써 수평적인 구조로 운영이 될 수 있다[7].

‘표 2’는 장비제어기와 PLC 그룹과 IoT 그룹 사이에 데이터 교환방식의 메시지 형식을 나타내었다. 처음 4 바이트는 메시지의 총사이즈와 명령코드 등이 포함되고 message header 에는 PLC 그룹과 IoT 그룹의 device ID 등 의 정보가 들어있고, message text 에는 장비제어기와 PLC 그룹과 IoT 그룹 간 전송이 이루어지는 실제 값들이 들어 있다. 예를 들면, 열 공정에서 압력제어기에는 압력값, 설정치, 현재 압력과 설정치의 차이 등 각각의 사물인터넷 제어기별로 필요한 데이터를 포함하는 부분이다. 셀 컨트롤러에 연결하는 압력제어기, 가스제어기, 온도제어기와 PLC 입출력은 통신의 효율성과 표준화된 양식으로서의 데이터를 전송하도록 정의하였다.

Table 2. Message Format

Number of Bytes	Description
4 Bytes	Message Length, MSB First
10 Bytes	Message Header
0-n Bytes	Message Text

(4) PLC 그룹과 IoT 그룹의 열 공정의 전송 절차

‘표 3’은 열 공정에 따른 PLC 그룹과 사물인터넷 그룹에 연결된 입출력 센서를 나타내었고, ‘표 4’는 PLC 그룹과 사물인터넷 그룹을 이용한 열 공정과의 서로 주로 받아야 하는 데이터에 대한 내용을 나타내었다. 열 공정의 장비제어기는 PLC 그룹과 IoT 그룹에서 전송되는 데이터를 취합하고 분석해서 결과를 각각의 센서와 액츄에이터에서 제어해야 할 값을 전송함으로써 해당하는 PLC 그룹과 IoT 그룹이 제어를 수행하도록 하고 있음을 알 수 있다[5,6]

Table 3.Input/output sensors of PLC/IoT for heat process

name	input sensor	output actuator	coverage
input monitor (IoT1)	- chamber temp.read - monitor temp. read	- output valve	- input: 0.0001~760Torr - input valve: 0~100%
temp. control (PLC/IoT2)	- control temp. read - monitor temp. read	- heater power control	- heat: 25~900℃ - power: 0~100%
gas control (IoT3)	- Ar gas read - O2 gas read	- Ar valve control - O2 valve control	- Ar gas: 0~200sccm - gas valve: 0~100%
motor control (PLC/IoT4)	-boiler open sensor -pump on/off status	-pump on/off	- on/off - open/close

Table 4.PLC/IoT heat processes monitor/control

name	sending data	receive data
input monitor (IoT1)	- chamber input state - process control input value - set control input value	- initial command - control process
temp. control (PLC/IoT2)	- process temp. input value - set temp. value	- initial command - control temp.
gas control (IoT3)	- process gas value - setting gas value	- initial command - control gas
motor control (PLC/IoT4)	- pump process value - valve ststs parameter (open/close)	- initial command - pump on/off

PLC 그룹과 IoT 그룹은 장비제어기에 전송해야 할 데이터는 실시간 전송해야 하며, 셀 컨트롤러로부터 받는 즉 열 공정 진행을 하는 과정에서 각 PLC 와 IoT 에서 취합한 데이터를 해석한 결과를 가지고 전송하게 된다. 이에 따라 본 연구는 공정서비스 유형으로는 실시간(real-time) 전송서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반(normal) 전송 서비스로 세 종류로 설정하고 해설을 수행하였다[7].

III. 열 공정 해석을 위한 시뮬레이션 구성

(1) 성능평가를 위한 시뮬레이션 구성

‘그림 2’은 열 공정의 셀 컨트롤러의 운영을 위한 PLC 그룹과 IoT 그룹의 시뮬레이션을 위한 구성은 다음과 같다.

① 기존 장비제어기에서 모든 제어를 담당하던 구조에서 각 센서들의 데이터는 공통 서비스 플랫폼을 통해서 공유할 수 있도록 구성하였고, 온도제어, 가스제어, 압력제어, I/O 제어를 위한 4 개의 애플리케이션으로 구현하였다.

② 각각의 애플리케이션은 데이터 전송 플랫폼을 통해서 데이터 형식으로 소켓(socket) 프로그램으로 TCP/IP 를 통해서 전송되는 구조로 구성하였다.

③ 셀 컨트롤러는 PLC/IoT 에서 받은 장비의 상태를 분석하기 위한 정보 분석 프로그램과 시퀀스 제어를 위한 시퀀스 결정 프로그램, 그리고 PLC/IoT 의 파라미터를 관리하기 위한 프로그램으로 구성하였다.

④ 셀 컨트롤러는 PLC/IoT 에서 보내온 데이터를 분석하여 열공정을 위한 시퀀스를 결정하고 결과에 따라 해당 PLC/IoT 에 파라미터 형태로 제어 관련 데이터를 전송하여 제어를 진행하게 된다.

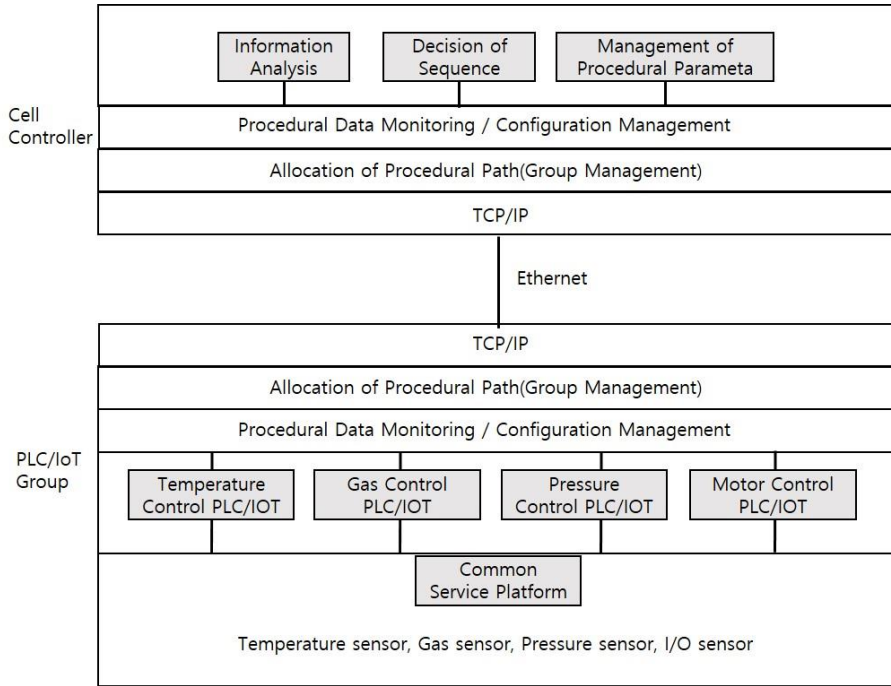


Figure 2..Simulation configuration for performance evaluation

(2) PLC 그룹과 사물인터넷 그룹의 SW 설계

본 연구에서 셀 컨트롤러의 동적 모델은 PLC 그룹, PLC 와 IoT 의 혼재된 그룹 그리고 IoT 그룹으로 설계하고 속성정의는 기능의 작동, 그리고 시간과 관련된 정보를 기술하고, 이벤트 정의는 공정시간에 대한 의존적인 제조의 특성을 표시하여 준다. ‘그림 3’에 나타낸 동적 모델(Dynamic Model) : IDEF2 설계 모델은 어떠한 객체 또는 정보로 제조 환경을 거치는 과정에서 센서와 액츄에이터 등 요소를 컴퍼넌트 별로 설계하였다[8].

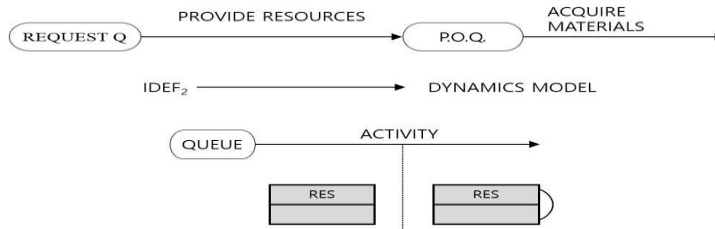


Figure 3..IDEF2 Dynamic Model

제조 공정에 의해 처리되기까지 대기하는 데 소요되는 시간은 ‘그림 4’에서 제조 계획은 “센서 입력(sensor resources)”이라 명명되어 있는 활동에 의하여 처리될 때까지 공급을 요청 큐(Request Queue : REQUEST Q)에서 대기하게 하며 "액츄에이터 출력(actuator output)"라 명명되어 있는 활동에 의하여 다음과 같이 수행하게 된다. 먼저, 공정의 그룹관리를 위한 컴포넌트 프레임워크 아키텍처의 컴포넌트를 설계하고, 단말공용 플랫폼에 공통으로 활용할 수 있도록 설계하였다. ‘그림 5’에서 PLC 와 IoT 컴포넌트는 온도, 압력, 유량, 레벨 등 공정 데이터 표현을 SW 컴포넌트로 구성하는 재활용 할 수 있으며, 통신 SW 컴포넌트 구현은 PLC 통신, IoT 통신의 공정 환경설정 컴포넌트로 설계하였다. 따라서 다음의 SW 컴포넌트로 구성할 수 있다[3.8-10]

- o HUD 컴포넌트: UI/UX, 공정 데이터 표현, 제어기법 등
- o HMI 컴포넌트: 공정환경 설정, 모니터링, 이력관리 등
- o PLC 컴포넌트: PLC 입출력, PLC 통신 등
- o IoT 컴포넌트 : IoT 입출력, IoT 통신 등

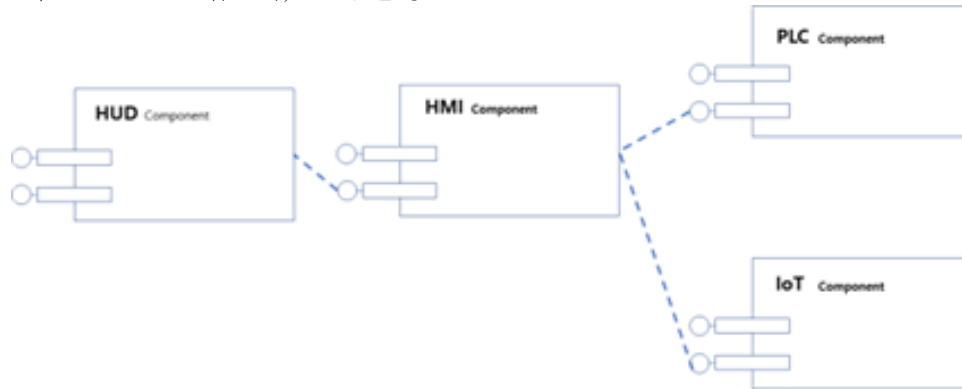


Figure 4..Association of SW component framework for heat process

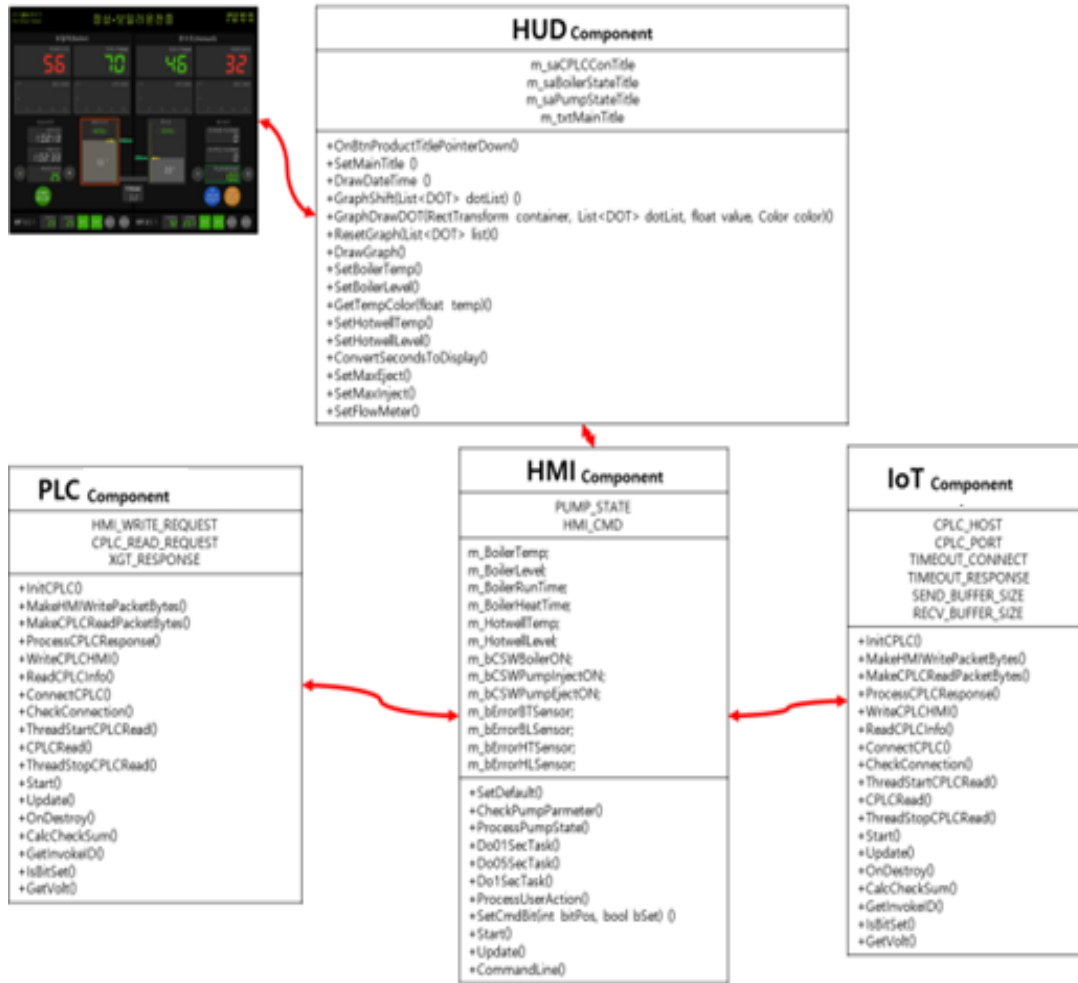


Figure 5..SW Component Framework Reuse of cell controller

IV. 셸 컨트롤러 운영에 따른 성능 평가

(1) SDN 을 이용한 모의실험

SDN 의 모의실험 환경에서 사용된 관련 파라미터와 애플레이터는 ‘표 5’과 같다. 열 공정에서 PLC 그룹과 IoT 그룹을 위한 네트워크 서비스 유형으로는 실시간(real-time) 전송서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반(normal) 전송 서비스로 구성하였고, 데이터 전송률은 60-100 Mbps 로 설정하였다[9].

Table 5.Simulation parameters based on SDN

parameters/modules	configurations
Group Simulator	Mininet
Cell Controller	Openv1 Routing(hop=1)
PLC Switch	16 point x n
IoT Switch	8 point x n(level)
Data Rate(Mbps)	60-100
Service type	Normal, real-time, bulk data

본 연구에서 SDN 기반의 PLC/IoT 그룹 운영의 모의실험은 실시간 전송 서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반 전송서비스로 나누어 수행하였다. 모의실험은 SDN 기반의 경로 기법의 시뮬레이션의 서비스 손실율과 지연을 측정하고 이를 비교하였다[12,13]. 또한 서로 다른 서비스에 차별화 우선순위를 제공하기 위하여 실시간 서비스의 경우에는 우선적으로 처리될 수 있도록 전송에 가장 높은 우선순위를 설정하였다. 그리고 대용량 서비스의 경우에는 대역폭을 예약하여 충분한 품질 제공이 될 수 있도록 설정하였다.

(2) SDN 을 이용한 셀 컨트롤러의 서비스 평가

본 서비스 평가는 SDN 을 이용한 손실율과 지연을 측정한 결과를 ‘그림 6’과 ‘그림 7’에 나타내었다.

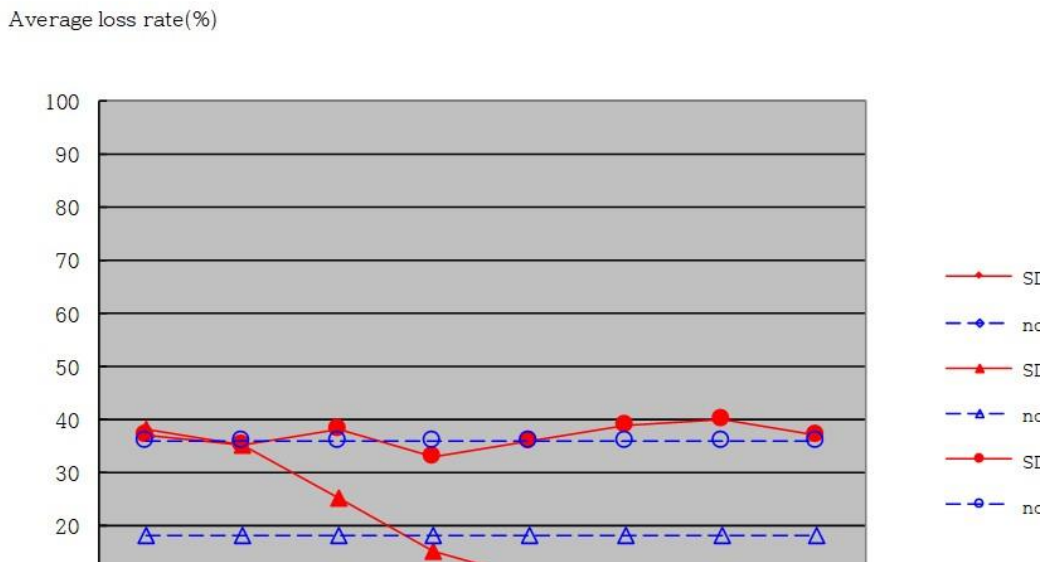


Figure 6. Average loss rate for PLC/IoT transmission service

‘그림 6’은 실시간 전송 서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반 전송 서비스에 대하여 SDN 시뮬레이션의 전송 손실률을 나타내었다[11,13]. 대용량 전송 서비스에서 데이터 처리율이 75Mbps 이상 일 때 SDN 기반의 링크 기법을 적용 후 손실률은 17% 감소하는 것을 나타내었다.

‘그림 7’는 실시간 전송 서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반 전송 서비스에 대하여 SDN 시뮬레이션의 전송 지연을 나타낸다. SDN 기반의 경로기법을 적용 후 75Mbps 이하에서는 높은 지연시간을 나타내지만 75Mbps 이상에서는 적용 전 기법보다 지연시간이 줄어드는 것을 나타내었다. 그리고 실시간 서비스의 지연은 1ms 의 낮은 수준의 성능을 나타내었다.

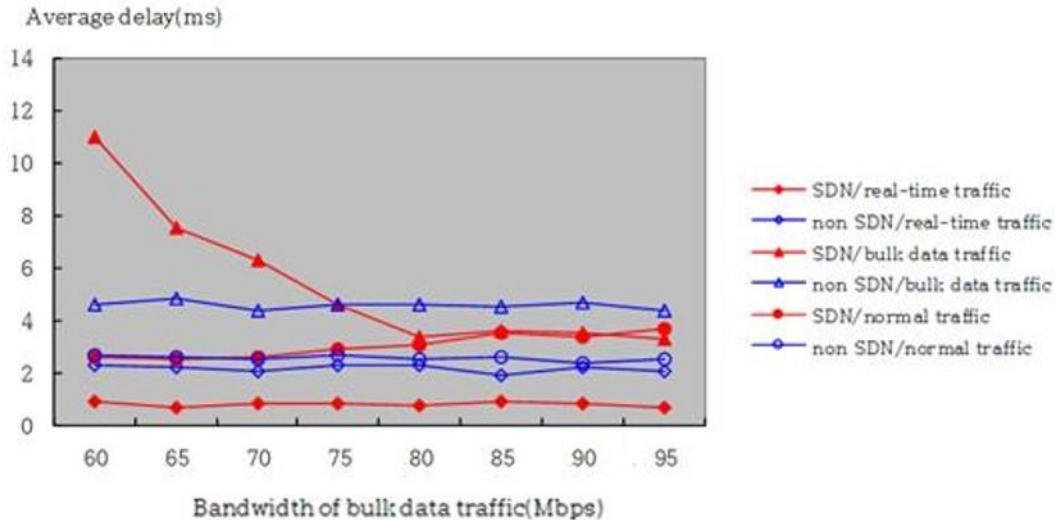


Figure 7. Average delay of PLC/IoT transmission service

V. 결론

제조공정에서 생산라인의 운영 효율화, 설비의 융통성을 위하여 ISO/TC184 표준화에서 3 번째 층은 다수의 기기와 조작의 협조라는 개념 하에 ‘생산 및 제조 공정의 공동 작업 범위 지역그룹’을 셀 컨트롤러로 설정하여 운영을 제안하고 있다.

본 연구는 설계된 셀 컨트롤러의 운영을 위해 보일러 등 열 공정으로 설정하였고, 이를 위해 성능평가를 위해 SDN 기반의 PLC/IoT 그룹 운영의 모의실험은 셀 컨트롤러의 운영으로 한 실시간(real-time) 전송서비스, 손실에 민감한 대용량 전송 서비스, 일반(normal) 전송 서비스로 세 종류로 설정하였다. SDN 경로 기반의 링크 트래픽은 셀 컨트롤러 동작에서 SDN 컨트롤러와 SDN 서버를 동기화시켜 모의실험 결과 트래픽 증가 시에 평균 손실률은 약 17% 개선되었고, 실시간 서비스의 지연은 1ms 의 낮은 수준으로 성능향상을 확인할 수 있었다. 다음에는 단위기기의 그룹 운영 및 관리의 개념으로 상호 연결하여 최적의 환경에 의한 유지 보수의 신뢰성과 공정정보에 대한 정보보호 안정성에 대한 연구를 진행하고자 한다.

VI. 참고문헌

- [1] J.H.Kim, ‘IoT Platforms’, KRnet, June. 2014.
- [2] J.S. Yim, ”2015년 ICT 10 Issue“, ISSUE CRUNCH, KT, 2018.
- [3] Yein, So, Jeongho Kim, “ A Process Device Configurations and Security Analysis”, Foundation Start-up Report, Ministry of SMEs and Startups(MSS), 2019.2
- [4] S.Y.Yim, H.Kim, M.S.Yoo, “Routing Protocol of Zone Master Design for Hybrid Network”, Journal of KIISE, Vol 34. No 4, pp. 269-275, 2007.8.
- [5] D.Camps-Mur, A. Garcia-Saavrdra, “Device-to_device communications :overview and experimentation”, IEEE Comm., vol. 20, no. 3, pp. 1-8, June 2013.
- [6] Preetha Thulasiraman, Kevin A. White, "Topology control of tactical wireless sensor networks using energy efficient zone routing", Digital Communications and Networks, vol. 2, Issue 1, pp.1-14, February 2016.
- [7] Lee, Chang-Moo, “A study on strategy in ICT convergence environment”, The Journal of Supercomputing, Vol.1, No.13, May 2014.
- [8] U.S. Air Force (no author), "Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM) Architecture Part

II. Volume VI-Dynamics Modeling Manual (IDEF2)." AFWAL-TR-81-4023. Wright- Patterson Air Force Base. Ohio 45433. June 2012.

[9] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvail, N. Reider, G. Mikls, and Z. Turnyi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," IEEE Commun. Mag., vol. 50, no.3, pp. 170-177, Mar. 2012.

[10] A. Serbanati, et al., "IoT-A Project Deliverable D4.2 – Concept and Solutions for Privacy and Security in the Resolution Infrastructure.", Feb 2012.

[11] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in LTE-Advanced networks", IEEE Wireless Commun. Mag., vol. 19, no. 3, pp. 96-104, June 2012.

[12] Huda AlAamri, Mehran Abolhasan, et al, "Optimised relay selection for route discovery in reactive routing", Networks, vol. 11pp.70-88, 2013.

[13] Aqsa Malik, Jawad Ahmed, Junaid Qadir, Muhammad U. Ilyas, "A measurement study of open source SDN layers in open stack ", Computer Comm., vol. 102, pp.139-149, April 2017.

[14] Aous Thabit Naman, Yu Wang, "Responsive high throughput congestion control for interactive applications over SDN-enabled networks", Computer Networks, vol. 134, pp. 152-166, April 2018.

[15] D. Johnson, D. Maltz, Y. Hu, "The Dynamic source routing protocol (DSR) for network for IPV" IETF RFC2328, April, 2014.

저자 소개



소예인(So Ye In)

2012년 9월 한밭대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야: 데이터통신, 정보보안



전상준(Jeon Sang June)

2015년 2월 한밭대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
 2017년 3월 한밭대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
 한국지질자원연구원 정책기획본부 지식정보실장
 관심분야: 정보보안, 네트워크, 열공정 컨트롤러



김정호(Kim Jeong Ho)

1994. 2. 단국대학교 대학원 공학박사
 1983.2 경북대학교 공학석사
 1983.3-1996.2 한국전자통신연구원
 1996-.3- 현재 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수
 1989.8 정보처리기술사
 1990.12 정보통신기술사

관심분야: 네트워크와 데이터통신, 정보보호, 사물인터넷