

# FEMS 네트워크 유연성 증대를 위한 산업용 무선 네트워크 연구 동향 분석: 미국 NIST 중심으로

정진두, 이일우

한국전자통신연구원 지능화융합연구소 에너지·환경 ICT 연구단

jdjeong@etri.re.kr, ilwoo@etri.re.kr

## Analysis of Research Trends on Industrial Wireless Networks to Increase Flexibility of FEMS Network : Focused on NIST, USA

Jin-Doo Jeong, Il-Woo Lee

Energy & Environment ICT Research Department, ETRI

### 요 약

본 논문은 미국 NIST 연구, 표준 그룹에서 수행한 산업용 무선 네트워크 연구 동향을 분석하여 기술한다. 정부가 추진하는 2050 탄소중립 추진전략을 달성하기 위해서는 가장 높은 비중을 차지하는 산업부문에서의 에너지 사용량을 줄여야 하는데, 산업, 공장의 에너지 효율화를 위해서는 공장 에너지 관리 시스템, 즉 FEMS (Factory Energy Management System) 구축이 요구된다. 공장 내 에너지 모니터링에 기반한 FEMS 적용을 위해서는 에너지 정보를 수집하는 네트워크가 필요하며, 네트워크 구축 비용을 절감하기 위해 네트워크 유연성을 증대시키기 위해서는 FEMS 네트워크에 무선통신 기술이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 NIST 그룹에서 수행한 산업용 무선 네트워크 연구 동향을 분석하여 제시함으로써, FEMS 네트워크 구축 시 무선통신 적용 방안 수립에 기여하고자 한다.

### I. 서 론

대한민국 정부가 2021 년 3 월에 발표한 2050 탄소중립 미래상을 구성하는 10 대 핵심기술 중 하나로 산업공정 고도화가 있고, 산업공정 고도화 중에서도 달성 목표 중 하나가 산업공정 에너지효율 설계 오차를 현재 30%에서 2030 년에 5%로 줄이는 것이다 [1]. 산업공정 에너지 효율 설계 오차를 줄이기 위해 필요한 시스템이 바로 공장 에너지 관리 시스템, 즉 FEMS (Factory Energy Management System)이다. 이렇게 FEMS 기술이 2050 탄소중립을 이루기 위한 기술 중 하나인 이유로, 국내 전체 에너지 사용량 222.6 백만 TOE 중 산업부문에서 138 백만 TOE 에너지가 소모되어, 산업부문 에너지 사용량은 전체 에너지 사용량의 62%에 해당할 정도로 가장 높은 비중을 차지하기 때문이다 [2]. 이것은 제 3 차 에너지기본계획에 포함된 10 만 TOE 이상의 에너지를 사용하는 에너지 다소비 공장을 대상으로 2025 년에 FEMS 설치 의무화의 추진 전략 배경이라고도 할 수 있다 [3].

국내 에너지 사용량 중 가장 높은 비중을 차지하는 산업부문에서의 에너지 사용량을 감소시키기 위해서는 산업, 공장에서의 에너지 사용 효율화가 이루어져야 하는데, 산업부문 에너지 효율화를 달성하기 위한 핵심 시스템이 FEMS 이다. FEMS 는 산업, 공장에서의 에너지 효율화를 달성하기 위해 여러 기술 요소들로 구성되는데, 공장 내 유틸리티, 계통, 공정에서의 에너지 사용량을 계측, 수집하여 모니터링하는 것이 필수 기술 요소 중 하나이다. 공장 내 에너지 사용량을 수집하기 위해서는 에너지 수집용 네트워크가 구축되어야 하는데, 현재까지는 이더넷 등 유선통신 기술이 주축이 되어 공장 내 네트워크가 구축되고 있다. 하지만, 4 차 산업혁명을 맞이하는 시대적 요구에 따라, 스마트 팩토리 구축용 URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication) 5G 통신 기술, IEEE 802.11be Wi-Fi 7 등 4 차 산업혁명 시대 요구사항에 부합하고자 하는 다양한 차세대 무선통신 기술들이 여러 연구, 표준기관에서 연구, 개발, 표준화되고 있다 [4, 5].

FEMS 네트워크 구축에 있어 무선통신 기술을 적용함으로써, 네트워크 구축 비용 절감, 네트워크 유연성 증대 등의 장점을 얻을 수 있다. 본 논문에서는,

차세대 무선통신 기술로 널리 알려진 5G 통신이나 Wi-Fi 7 통신을 연구, 표준화하는 3GPP 그룹이나 IEEE 802.11 그룹이 아닌, 산업 현장에서 필요로 하는 각종 기술과 표준을 연구, 개발하여 산업의 기술 발전을 도모하고 상품의 신뢰성을 증가시키는 목적을 가지고 설립된 미국 상무부 산하 NIST (National Institute of Standards and Technology) 그룹의 산업용 무선 네트워크 연구 동향에 관해 기술한다.

### II. 본 론

미국 NIST 그룹에서 산업용 무선통신 기술 연구의 시작은 2017 년 9 월에 발표한 산업 공장장에서 2GHz 대역에서의 무선 신호 분석에 관한 보고서라고 볼 수 있다 [6]. 이 보고서에서는, 비면허 대역 기반 산업부문 레거시 무선통신 방식이 일반적으로 사용하는 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 대역에 대해, 두 개 산업의 공장장에서 수집된 무선 신호 데이터를 분석하여 2.4GHz ISM 비면허 대역에 대한 통계 채널 모델 개발에 관한 내용이 기술된다.

4 차 산업혁명 시대를 위한 차세대 무선통신 기술들이 연구되고 있는 와중에도, 네트워크 구축 비용 절감과 네트워크 유연성 증대 등의 장점을 얻을 수 있는 무선통신 기술을 공장에 적용하고자 하는 방법이나 가이드라인 등도 연구되고 있다 [7]. 미국 NIST 그룹에서도 2018 년 4 월에 발표한 보고서에서 무선통신 시스템을 산업에 적용하고자 하는 방법을 제시한다 [8]. 이 보고서는 업데이트되어 2018 년 12 월과 2019 년 6 월에 IEEE SCIE 논문에 게재되어 공장 무선 네트워크 기술 연구자들에게 공개되었다 [9, 10]. NIST 에서 작성한 무선통신 시스템의 산업, 공장으로서의 적용 가이드라인에는 무선통신 기술을 산업, 공장 내 여러 분야에 적용할 때 적응성 정도를 나타낸 표가 제시되고 있다. 이 분석 표는 공장 FEMS 네트워크 구축 시에 적용하고자 하는 통신 방식들을 통신 특성 파라미터와 에너지 관리 레벨에 따라 통신 적응성을 수치적으로 구할 수 있는 FEMS 네트워킹 통신 적응성 매트릭스 도출 방법으로 업그레이드된다 [11].

2019 년 9 월 NIST 그룹에서는 산업용 무선통신을 연구, 표준하는 그룹들에서 충분한 실증적 연구없이

제시한 기존 무선 사용자 요구 사항을 분석하였고 공장 작업 셀에 대한 무선 사용자 요구 사항에 관한 NIST 그룹의 관점을 제시하는 보고서를 발간하였다 [12]. 이 보고서의 분석에 따르면, 공장에서의 무선통신 기술의 신뢰성을 높이고 지연 시간을 줄이기 위해서는 공장 환경에서 무선통신 기술의 특성화에 대해 더 많은 연구가 수행되어야 한다.

NIST 그룹에서는 산업 운영을 지원하는 무선통신 기술의 성능을 평가하기 위한 새로운 테스트베드 설계 방법과 테스트베드에서 에뮬레이트된 사이버-물리 시스템 (CPS: Cyber-Physical System) 모델 역할을 하는 협업 로봇 작업 셀 제조 시나리오 개발 방법을 제시하는 보고서를 2021년 5월에 발행하였다 [13]. 그림 1은 이 보고서에서 제시한 NIST 산업 무선통신 테스트베드 구조를 보여준다. 그림 1에서 보여지는 NIST 산업 무선통신 테스트베드는 생산 모듈 간 통신 세션을 생성하고 유선통신 또는 무선통신 기술을 사용하여 통신 링크의 전송 성능을 면밀히 검사할 수 있는 작업 셀 수준 평가 플랫폼에 기반한다.

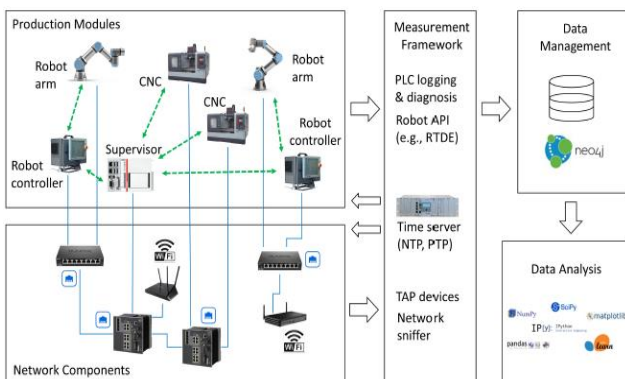


그림 1. NIST 산업 무선통신 테스트베드 구조

현재 산업, 공장용 네트워크 구축에 사용되는 무선통신 방식 중 가장 큰 사용 비중을 사용하는 무선통신 방식은 와이파이 (Wi-Fi) 통신이다 [14]. 최근인 2022년 2월 NIST에서는 와이파이 통신이 적용된 로봇 추력 스프링 테스트베드에서, 공장 무선통신 채널의 다중 경로 전파, 네트워크 정체 및 전파 방해를 분석하기 위해, 기계학습을 적용하여 무선통신 링크의 신호 대 간섭 수준을 학습하고 예측하는 방식으로 공장 내 무선통신 채널을 분석한 보고서를 발표하였다 [15]. 그림 2는 기계학습에 기반하여 산업 무선통신 채널의 무선통신 채널과 전파 방해를 분석하기 위한 로봇 추력 스프링 테스트베드 구조를 보여준다.

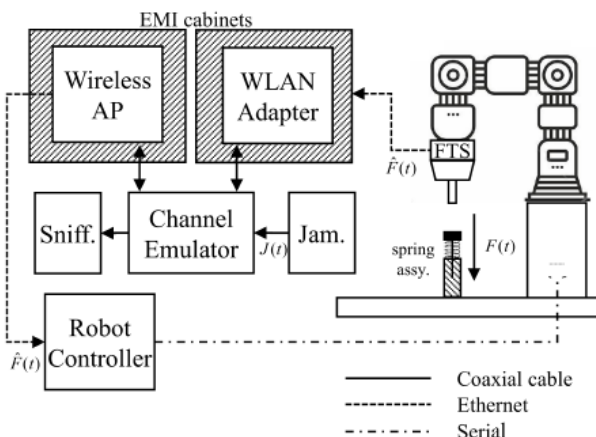


그림 2. 로봇 추력 스프링 테스트베드 구조

### III. 결론

본 논문에서는 미국 상무부 산하에서 산업 기술을 연구, 표준화하는 NIST 그룹에서 수행한 산업용 무선 네트워크 연구 동향을 분석하여 기술하였다. NIST 그룹의 산업용 무선 네트워크 연구 동향을 파악함으로써, 산업, 공장 에너지 효율화를 위한 FEMS 네트워크 구축 시에 네트워크 구축 비용 절감 및 유연성 증대 등을 위해 무선통신을 적용하는 방안 수립에 기여할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020900290)

### 참고 문헌

- [1] 정한교, "탄소중립 기술혁신 추진전략", 인더스트리 뉴스, 2021년 4월  
(<https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=41879>).
- [2] 김선혁, 도윤미, 권순현, 이좌형, 이상금, 허태욱, "공장에너지관리시스템(FEMS)의 공정 이상 모니터링을 위한 신경망 기반 이벤트 분류 알고리즘", 2022년도 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2022년 6월.
- [3] 산업통상자원부, "제3차 에너지기본계획", 2019년 6월.
- [4] 박옥선, 김석기, 박기윤 외 2인, "5G URLLC 기술 동향", 전자통신동향분석 34권 제6호, pp. 42-50, 2019년 12월.
- [5] E. Khorov, I. Levitsky, and I. F. Akyildiz, "Current status and directions of IEEE 802.11be, the future Wi-Fi 7," IEEE Access, Vol. 8, 2020, pp. 88664-88688.
- [6] Y. Liu, N. Moayeri, "Wireless Activities in the 2GHz Radio Bands in Industrial Plants", NIST Technical Note 1972, 2017년 9월.
- [7] 정진두, 허태욱, 이일우, "FEMS 네트워킹을 위한 산업용 무선통신에 관한 연구", 2020년도 한국통신학회 추계종합학술발표회, pp. 359-360, 2020년 11월.
- [8] R. Candell, M. Hany, K. B. Lee, Y. Liu, J. Quimby, K. Remley, "Guide to Industrial Wireless Systems Deployments", NIST Advanced Manufacturing Series 300-4, 2018년 4월.
- [9] R. Candell, M. Kashef, Y. Liu, K. B. Lee, S. Fofou, "Industrial Wireless Systems Guidelines: Practical Considerations and Deployment Life Cycle", IEEE Industrial Electronics Magazine, 2018년 12월.
- [10] Y. Liu, M. Kashef, K. B. Lee, L. Benmohamed, R. Candell, "Wireless Network Design for Emerging IIoT Application: Reference Framework and Use Cases", Proceedings of the IEEE, 2019년 6월.
- [11] 정진두, 이일우, "적정 FEMS 네트워킹을 위한 통신 적응성 매트릭스 도출 방법", 2021년도 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp. 940-941, 2021년 6월.
- [12] K. Montgomery, R. Candell, Y. Liu, M. Hany, "Wireless User Requirements for the Factory Workcell", NIST Advanced Manufacturing Series 300-8, 2019년 9월.
- [13] Y. Liu, M. Hany, K. Montgomery, R. Candell, "A Collaborative Robot Work-Cell Tested for Industrial Wireless Communications", NISTIR 8365, 2021년 5월.
- [14] 정진두, 이일우, "FEMS 무선 네트워킹 모듈 개발", 2022년도 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp. 441-442, 2022년 6월.
- [15] R. Candell, M. Kashef, K. Montgomery, Y. Liu, "Machine Learning Based Wireless Interface Estimation in a Robotic Force-Seeking Application", NISTIR 8416, 2022년 2월.