

적정 FEMS 네트워킹을 위한 통신 적응성 매트릭스 도출 방법

정진두, 이일우

한국전자통신연구원 에너지·환경 ICT 연구단

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

A Derivation Method of Communication Applicability Matrix for Appropriate FEMS Networking

Jin-Doo Jeong, Il-Woo Lee

Energy & Environment ICT Research Department, ETRI

요 약

본 논문은 국내 에너지 및 전력 소비의 가장 큰 수요처인 산업/공장 부문에서의 에너지 효율화를 위한 FEMS (Factory Energy Management System) 구축 시에 네트워크 구성 가이드를 얻을 수 있는 FEMS 통신 적응성 매트릭스 도출 방법을 제안한다. FEMS 통신 적응성 매트릭스의 도출은 사용 가능 통신 방식들에 관한 FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스와 해당 공장의 공정, 유틸리티 환경을 반영한 에너지 레벨별 FEMS 네트워크 매트릭스에 기반한다. 본 논문에서 제안한 방법에 의해 도출된 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스로부터 FEMS 네트워크 통신 방식과 에너지 관리 레벨의 적응 상관성에 관한 전반적인 맵을 볼 수 있어, FEMS 네트워크의 적정 구성에 가이드를 얻을 수 있다.

I. 서 론

전력거래소에서 발간한 “2018 년도 전력시장 통계”에 따르면, 2018 년 전력 소비량 측면에서 산업 부문은 약 56%의 비율을 점유하고 있다 [1]. 그러므로, 국내 전력 및 에너지 소비량의 가장 큰 수요처는 산업 부문이라 할 수 있다. 따라서, 국가 에너지 절약에 있어 산업 부문의 전력 및 에너지의 소비 절감은 큰 기여를 한다고 볼 수 있다. 산업 부문에서의 전력 및 에너지 절감을 위해서는 에너지 관리에 기반한 산업 부문의 에너지 효율화를 달성해야 하는데, 이 때 필요한 시스템이 바로 산업 부문에서의 공장 에너지 관리 시스템, 영문 약자로 FEMS (Factory Energy Management System)이다. 최근 정부가 발표한 제 3 차 에너지기본계획에 따르면, 10 만 TOE (Ton of Oil Equivalent) 이상의 에너지 다소비업체들을 대상으로 하여 2025 년도에 FEMS 설치의 의무화가 계획되어 있고, 10 만 TOE 미만 중소기업의 경우에는 2024 년도까지 FEMS 보급/확산을 위한 지원을 확대할 예정이다 [2]. 그러므로, 산업 부문 에너지 효율화 달성을 위해 FEMS 시스템이 필수적으로 구축되어야 하는 시대가 다가오고 있다고 볼 수 있다.

산업 부문의 에너지 효율화 달성을 위한 FEMS 구축에는 공장 내 에너지 자원들이 사용하는 에너지의 소비량을 모니터링하는 기능이 기반이 된다. 일반적으로 산업 부문 및 공장에서는 진동, 금속, 먼지 등의 네트워크 또는 통신 기능 외적인 요인이 많아 공장 에너지 소비량 모니터링 또는 공장 에너지 제어에 주로 유선 방식의 통신이 사용되고 있다. 그렇지만, 4 차 산업시대로의 시대 변화와 함께 공정 유연성 달성, 네트워크 구축 비용 절감 등의 4 차 산업시대 요구사항 달성을 위해 5G, Wi-Fi 7 등의 무선통신 기술들이 공장 환경에 적합하도록 발전, 진화 중이다 [3-5]. 또한, 공장 환경으로의 무선통신의 진화 이외에도 무선통신을 산업 부문이나 공장에 적용하기 위한 노력들이 수행되고 있다. 이러한 노력들 중 하나로 무선통신 기술을 공장 등의 산업 부문에 적용할 때 고려하여야 하는 사항들의 목록 작성에 관한 체크리스트를 제안하는 것이다. 대표적으로, 파나소닉은 진동, 금속, 먼지 등으로 인해 열악해진 통신 환경에서 무선통신 기술을 적용하는 과정에서 확인하여야 하는 사항들에 관한 체크리스트 가이드를 제시했다 [6]. 이러한 무선통신 기술의 진화 및 공장

적용 체크리스트 등을 기반으로, 기존 유선통신 뿐만 아니라 발전된 무선통신 기술 특성을 분석하여 적용함으로써, FEMS 시스템을 구축하고자 하는 공장 환경에 적합한 FEMS 네트워크를 구성할 수 있다.

본 논문에서는 FEMS 네트워크 구성 파라미터를 설정하고 구성 파라미터에 따른 네트워크 통신 특성 매트릭스와 공장 에너지 관리 레벨별 네트워크 상관성 매트릭스를 확보한 후 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 구함으로써, 해당 공장 환경에 적합한 FEMS 네트워크 구성을 가이드할 수 있는 방법을 제안한다.

II. 본 론

산업이나 공장에 적합하도록 진화, 발전하는 무선통신 기술이나 무선통신 기술을 공장에 적용하는데 유용하게 사용 가능한 체크리스트 등을 바탕으로 유선통신 뿐만 아니라 무선통신 기술도 공장 환경에 한단계 더 접근하였음을 알 수 있다. 여기에 4 차 산업혁명의 요구사항들 중 하나인 공정 유연성과 네트워크 구축 비용 절감을 달성할 있는 네트워크 구성 방법을 확보할 수 있다면, 4 차 산업혁명 시대 기술 진화에 부응하는 FEMS 시스템을 구축하여 산업, 공장에서의 에너지 효율화를 이룰 수 있다. 생산 공정, 가공 방식, 사용 에너지원, 생산 품목에 따라 다양한 공장 환경에 적합한 FEMS 네트워크 구성 방법을 구하기 위해서는 유무선 통신기술들의 특성에 관한 분석이 선행되어야 한다. 문헌 [7]에서는 유무선 통신기술 분석의 바탕이되는 통신 특성 다이어그램 작성 방법을 LTE 통신과 LoRa 통신을 예를 들어 제시하면서, 이러한 통신 특성 다이어그램 작성을 통해 공장마다 다른 채널 환경에 적합한 통신 기술을 선택하여 적용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

본 논문에서는 문헌 [7]에서 제시한 통신 특성 다이어그램을 FEMS 네트워크 구성 방법 가이드에 활용 가능한 매트릭스 형태로 응용하면서, 공장 환경을 반영한 공장 에너지 관리 레벨별 상관성 매트릭스를 적용하여, 해당 공장 맞춤형 FEMS 네트워크 구성에 가이드가 될 수 있는 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 도출하는 방법을 제안하고자 한다.

표 1 은 문헌 [7]에서 제시한 LTE 와 LoRa 통신에 관한 통신 특성 다이어그램을 기반으로 광네트워크와 Wi-Fi 통신을 포함하여, 본 논문에서 예로 설정한 FEMS 네트워크 구성 파라미터들에 대해 FEMS

네트워크 구성 방법 가이드 추출을 위한 FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스 작성 예를 보여준다. 표 1 에서 보여지는 FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스를 통해 FEMS 네트워크 구축에 활용 가능한 통신 인프라 또는 통신 방식에 대해 FEMS 네트워크 구성 파라미터에 따른 통신 특성들이 수치화되면서 비교, 분석 가능하다.

표 1. FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스

	FEMS 네트워크 구성 파라미터						
	설치 비용 절감	운영 비용 절감	단말 저비용	에너지 효율	고신뢰	저지연	고속 전송
광네트워크	2	2	2	8	8	8	2
LTE	4	2	2	4	8	6	6
Wi-Fi	6	8	6	2	4	6	6
LoRa	8	8	8	8	2	2	8

FEMS 시스템은 유틸리티, 계통, 공정 등의 에너지 관리 레벨별 에너지 생산, 소모 정보를 모니터링하면서 에너지 과생산이나 에너지 누설 등 에너지 소비 분석을 통해 전사수급 관리를 하거나 설비를 제어하여 에너지 효율 최적화를 도모할 수 있다. 그러므로, 효율적인 공장 에너지 관리를 위하여 에너지 관리 레벨별 설비에서의 에너지 정보 모니터링이나 설비 제어에 있어 FEMS 네트워크의 중요도나 연관성을 분석하는 것은 FEMS 시스템 구축 과정에서 중요한 부분이라 할 수 있다. 표 2 는 본 논문에서 제시하는 FEMS 네트워크 구성 파라미터에 따른 에너지 관리 레벨별 FEMS 네트워크 상관성 매트릭스 작성 예를 보여준다. 이러한 에너지 관리 레벨별 FEMS 네트워크 상관성 매트릭스 작성은, FEMS 네트워크 구성 파라미터 설정과 유사하게, FEMS 를 도입하고자 하는 공장에 관한 실사 또는 해당 공장 설계나 설비, 공정에 관한 실사를 통해 이루어진다.

표 2. 에너지 레벨별 FEMS 네트워크 상관성 매트릭스

	에너지 관리 레벨				
	유틸리티 1	유틸리티 2	계통 1	공정 1	공정 2
설치 비용 절감 (Low CAPEX)	12	12	8	8	8
운영 비용 절감 (Low OPEX)	12	12	8	8	8
단말 저비용 (Low Cost)	12	8	8	8	8
에너지 효율 (Low Power)	12	8	8	8	4
고신뢰 (High Reliability)	4	8	8	12	12
저지연 (Low Latency)	4	8	8	12	12
고속 전송 (High Data Rate)	4	4	8	12	8
재배치 용이성 (Flexibility)	8	8	8	12	8

이제 표 1 의 FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스를 표 2 의 에너지 관리 레벨별 FEMS 네트워크 상관성 매트릭스에 적용하여 연관시키면, FEMS 네트워크 구성 방안 도출을 위한 정량적 평가 지표가 되는 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 구할 수 있다. 표 1 과 표 2 에 공통으로 적용된 FEMS 네트워크 구성 파라미터를 따라 표 1 의 통신 특성 매트릭스 구성 값들을 표 2 의 네트워크 상관성 매트릭스 값들에 곱하면, 표 3 에서 보여지는 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 얻을 수 있다.

표 3 의 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 통해 FEMS 통신 방식과 에너지 관리 레벨의 적응 상관도 맵(Map)을 볼 수 있다. 비용적 측면보다 통신 품질적 측면에서 장점을 갖는 광 네트워크의 경우, 공정 1 과 공정 2 의 에너지 관리 레벨을 포함하는 FEMS 모델에 적합함을 표 10 에서 보여지는 적응성 상관 맵으로부터 볼 수 있다. 반면, 유틸리티 1 과 유틸리티 2 레벨의 에너지 관리에서 좋은 특성 맵을 보여주는 LoRa 통신은 유틸리티 레벨에서의 에너지 모니터링에 기반한 전사관리를 주요 기능으로 갖는 FEMS 모델에 적합함을 표 3 에서 볼 수 있다.

표 3. FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스

		유틸리티 1	유틸리티 2	계통 1	공정 1	공정 2
		24	24	16	16	16
광 네트워크	설치 비용 (Low CAPEX)	24	24	16	16	16
	운영 비용 절감 (Low OPEX)	24	24	16	16	16
	단말 저비용 (Low Cost)	24	16	16	16	16
	에너지 효율 (Low Power)	96	64	64	64	32
	고신뢰 (High Reliability)	32	64	64	96	96
	저지연 (Low Latency)	32	64	64	96	96
	고속 전송 (High Data Rate)	32	32	64	96	64
	재배치 용이성 (Flexibility)	16	16	16	24	16
LTE	설치 비용 (Low CAPEX)	48	48	32	32	32
	운영 비용 절감 (Low OPEX)	24	24	16	16	16
	단말 저비용 (Low Cost)	24	16	16	16	16
	에너지 효율 (Low Power)	48	32	32	32	16
	고신뢰 (High Reliability)	32	64	64	96	96
	저지연 (Low Latency)	24	48	48	72	72
	고속 전송 (High Data Rate)	32	32	64	96	64
	재배치 용이성 (Flexibility)	48	48	48	72	48
Wi-Fi	설치 비용 (Low CAPEX)	72	72	48	48	48
	운영 비용 절감 (Low OPEX)	96	96	64	64	64
	단말 저비용 (Low Cost)	72	48	48	48	48
	에너지 효율 (Low Power)	24	16	16	16	8
	고신뢰 (High Reliability)	16	32	32	48	48
	저지연 (Low Latency)	24	48	48	72	72
	고속 전송 (High Data Rate)	24	24	48	72	48
	재배치 용이성 (Flexibility)	48	48	48	72	48
LoRa	설치 비용 (Low CAPEX)	96	96	64	64	64
	운영 비용 절감 (Low OPEX)	96	96	64	64	64
	단말 저비용 (Low Cost)	96	64	64	64	64
	에너지 효율 (Low Power)	96	64	64	64	32
	고신뢰 (High Reliability)	8	16	16	24	24
	저지연 (Low Latency)	8	16	16	24	24
	고속 전송 (High Data Rate)	8	8	16	24	16
	재배치 용이성 (Flexibility)	64	64	64	96	64

III. 결 론

본 논문에서는 국내 전력 및 에너지 소비 부문 중 가장 큰 수요처인 산업 부문에서의 에너지 효율화를 달성하기 위한 FEMS 시스템 구축 시에 FEMS 네트워크 구성을 가이드할 수 있는 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스 도출 방법을 제안하였다. FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스는 FEMS 구성에 사용되는 통신 방식들에 관한 FEMS 네트워크 통신 특성 매트릭스에 해당 공장의 공정, 유틸리티 환경을 반영한 에너지 레벨별 FEMS 네트워크 매트릭스를 적용하여 도출된다. 제안된 방법으로 도출된 FEMS 네트워크 통신 적응성 매트릭스를 통해 FEMS 네트워크 통신 방식과 에너지 관리 레벨의 적응 상관도 맵을 얻을 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] 전력거래소, “2018 년도 전력시장 통계”, 2019 년 5 월.
- [2] 산업통상자원부, “제 3 차 에너지기본계획”, 2019 년 6 월.
- [3] 5G Forum, “스마트공장 백서”, 2019 년 1 월
- [4] 박옥선, 김석기, 박기윤 외 2 인, “5G URLLC 기술 동향”, 전자통신동향분석 34 권 제 6 호, pp. 42-50, 2019 년 12 월.
- [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] Panasonic, “Preparing for industry 4.0: Mobility considerations & technology checklist for manufacturers,” Panasonic Toughbook, 2016.
- [7] 정진두, 허태욱, 이일우, “FEMS 네트워킹을 위한 산업용 무선통신에 관한 연구”, 2020 년도 한국통신학회 추계종합학술발표회, pp. 359-360, 2020 년 11 월.