

첨단 검침 인프라에서 에너지 효율을 위한 기기 할당 방안

정성민*

The Device Allocation Method for Energy Efficiency in Advanced Metering Infrastructures

Jung Sungmin

〈Abstract〉

A smart grid is a next-generation power grid that can improve energy efficiency by applying information and communication technology to the general power grid. The smart grid makes it possible to exchange information about electricity production and consumption between electricity providers and consumers in real-time. Advanced metering infrastructure (AMI) is the core technology of the smart grid. The AMI provides two-way communication by installing a modem in an existing digital meter and typically include smart meters, data collection units, and meter data management systems. Because the AMI requires data collection units to control multiple smart meters, it is essential to ensure network availability under heavy network loads. If the load on the work done by the data collection unit is high, it is necessary to allocation new data collection units to ensure availability and improve energy efficiency. In this paper, we discuss the allocation scheme of data collection units for the energy efficiency of the AMI.

Key Words : Advanced Metering Infrastructure, Energy Efficiency, Device Allocation

I. 서론

스마트그리드는 일반적인 전력망에 정보통신기술을 적용하는 지능형 전력망 기술이다[1, 2]. 스마트 그리드를 이용하여 전력 소비자와 공급자는 전기 에너지 소비량과 스마트 미터 상태에 대한 정보를 실시간으로 수신하고 실시간으로 수집된 정보를 이용하여 에너지를 효율적으로 관리할 수 있다. 스마트 그리드

를 위한 첨단 검침 인프라(AMI, Advanced Metering Infrastructure)는 스마트 미터, 데이터 수집 기기, 그리고 미터기 데이터 관리 시스템으로 구성된다[3]. 첨단 검침 인프라의 성능을 보장하기 위해서 에너지 효율을 분석하는 것이 중요하며 데이터 수집 기기의 개수 및 작업 실행 시간에 따른 작업 부하량을 바탕으로 에너지 효율을 비교할 수 있다.

첨단 검침 인프라에서 데이터 수집 기기가 무선 네트워크를 통해 스마트 미터의 정보를 수집할 때 데이

* 한국원자력연구원 선임연구원

터 수집 기기의 성능 저하로 인한 네트워크의 부하가 발생하면 새로운 기기를 할당하여 부하를 줄일 수 있다. 또한, 새로운 기기들이 할당된 뒤에 인프라에서 발생하는 작업 부하는 모든 데이터 수집 기기로 나뉘며 에너지 효율이 향상될 것이다. 이 경우에 새로운 데이터 수집 기기의 할당과 작업 실행 시간을 고려하여 에너지 효율을 판단하는 것이 필요하다.

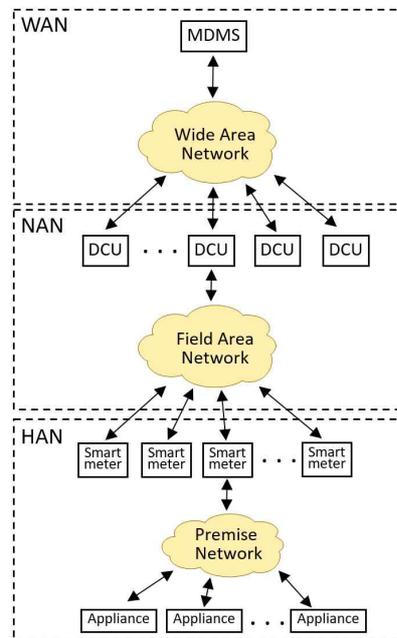
본 논문에서는 첨단 검침 인프라에서 데이터 수집 기기의 개수와 작업 실행 시간에 따른 에너지 효율을 분석한다. 2장에서는 첨단 검침 인프라를 구성하는 세 가지 기기를 살펴본다. 3장에서는 첨단 검침 인프라에서 구성 기기 중에 데이터 수집 기기의 할당에 따른 에너지 효율에 대해 논의한다. 4장에서 수학적 모델을 통해 에너지 효율을 분석하고 5장에서 연구내용을 요약하였다.

II. 첨단 검침 인프라 구성 요소

일반적으로 첨단 검침 인프라는 스마트 미터(Smart meter), 데이터 수집 기기(DCU, Data Collection Unit), 미터기 데이터 관리 시스템(MDMS, Meter Data Management System)의 3가지 기기로 구성된다[4, 5].

스마트 미터는 사용자의 전기 에너지 소비량을 기록하는 장치다. 기존의 기계식 미터와는 달리 사용량을 디지털화하여 기록하고 전력 품질 및 부하를 인지하는 기능을 갖는다. 데이터 수집 기기는 할당된 지역에 속해있는 스마트 미터에서 정보를 수집하는 장치다. 일반적으로 전신주에 설치되며, 하나의 도메인 내에 여러 스마트 미터에서 전력 사용량과 상태 등의 정보를 수집하는 역할을 한다. 미터기 데이터 관리 시스템은 전력 사용량 및 첨단 검침 인프라 내 모든 장치의 상태 등의 정보를 관리하는 최종 서버이다.

이것은 인프라 내의 구성 기기를 전체적으로 관리하며 전력 공급 정보를 확인하고 소비자에게 실시간으로 사용량 및 요금 정보를 전달한다. 이를 위해 검침 데이터를 확인하여 오류를 수정하고, 데이터 접근 및 변경 행위에 대해 감사 기능 등을 제공한다. 또한, 실시간 요소를 반영한 요금 계산 및 각종 네트워크 부하 및 구성 설비 변경 등의 이벤트를 처리하는 역할을 담당한다[6].



<그림 1> 첨단 검침 인프라 구조

<그림 1>은 첨단 검침 인프라의 구성 요소 및 네트워크 분류를 보여준다. 인프라를 구축하기 위해 스마트 미터부터 미터기 데이터 관리 시스템까지 양방향 통신 네트워크가 필요하며, 이것은 각각 HAN(Home Area Network), NAN(Neighbor Area Network), 그리고 WAN(Wide Area Network)으로 구성된다[7]. NAN에 속하는 스마트 미터와 데이터 수집 기기 간에 정보 송수신은 PLC(Power Line

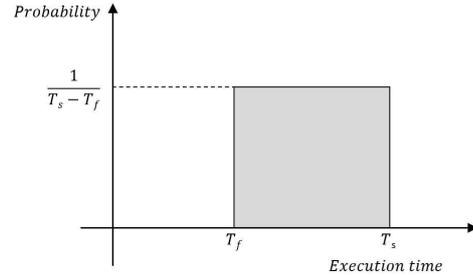
Carrier)나 WiFi 메시 기술, 혹은 Zigbee 기술을 사용한다. NAN에서 데이터 수집 기기의 고장이나 높은 작업 부하는 하드웨어 오류 또는 네트워크 오류를 발생시킨다. 일부 데이터 수집 기기에 많은 작업량에 따른 네트워크 부하가 탐지되면 새로운 기기를 할당해서 문제를 해결할 수 있고 첨단 검침 인프라 관리자는 에너지 효율성을 높이기 위해 기기를 적절하게 할당하는 방안이 필요하다. 에너지 효율을 정량적으로 비교하기 위해 관련 수식을 알아보고 EDP(Energy Delay Product)를 적용하였다[6].

III. 첨단 검침 인프라 모델

첨단 검침 인프라에서 일부 데이터 수집 기기에서 부하가 발생하면 적절히 새로운 기기를 할당해야 한다. 인프라에 새로운 기기를 할당하면 기존에 발생하던 부하가 새로운 기기로 분산된다. 변화된 데이터 수집 기기의 개수에 따른 에너지 효율을 파악하기 위해서 논문에서는 다음을 가정한다.

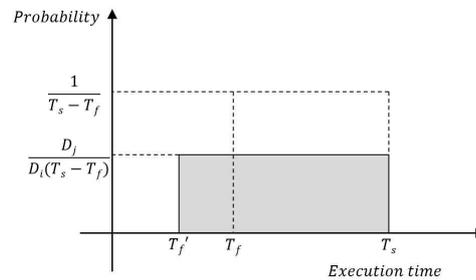
정량적인 계산을 위해 초기에 D_i 개의 데이터 수집 기기가 첨단 검침 인프라에 분포되고 기기의 작업 실행이 T_f 초에서 T_s 초까지 균등 분포를 이룬다고 가정한다. 여기서 T_f 는 가장 빠른 작업 실행 시간을 의미하고, T_s 는 가장 느린 작업 실행 시간을 의미한다.

<그림 2>는 이와 같은 가정을 바탕으로 하는 첨단 검침 인프라 내의 작업 실행 시간의 확률 분포 함수이다. 분포 함수는 $U(T_f, T_s)$ 이고, 데이터 수집 기기의 개수가 첨단 검침 인프라의 작업 실행 시간에 영향을 준다고 가정한다. 그리고, 첨단 검침 인프라의 부하에 따라 새로운 데이터 수집 기기를 할당하고 난 후에 기기의 개수를 D_j 라고 한다.



<그림 2> 초기 확률 분포 함수

데이터 수집 기기의 개수가 증가하면서 <그림 2>와 같이 균등분포를 이루고 있던 작업 실행 시간에 대한 확률분포가 다음과 같이 새로운 확률분포로 바뀌게 된다.



<그림 3> 새로운 기기 할당 후 확률분포 함수

<그림 3>은 새로운 데이터 수집 기기를 할당하는 경우 확률분포 함수를 나타낸다. 초기의 데이터 수집 기기 수가 D_i 개이고 현재 기기의 수는 D_j 개이므로 새로운 확률분포 함수는 $U(T_s - (T_s - T_f)(D_j/D_i), T_s)$ 가 되며, 이때 확률분포 함수의 평균($E[X]$)은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E[X] = T_s - \frac{(T_s - T_f)}{2D_i} D_j$$

위 수식을 바탕으로 에너지 효율을 분석하기 위해

EDP를 비교한다[8]. 첨단 검침 인프라에 m 개의 스마트 미터가 있다고 가정하면 1개의 데이터 수집 기기는 m/D_j 개의 스마트 미터의 자료를 수집하게 된다. 새로 기기가 할당된 뒤에 T_{EDP} 는 1개 단위 작업의 실행 시간을 의미하고 E_{EDP} 는 데이터 수집 기기의 에너지 소비량을 의미한다. 또한, W 는 스마트 미터 1개의 작업을 처리하기 위해 소비되는 에너지양이라고 가정한다. EDP는 평균값을 사용하여 각 데이터 수집 기기의 작업 실행 시간과 에너지 소비량의 곱으로 표현된다. EDP 값이 작을수록 첨단 검침 인프라의 에너지 효율이 높다는 것을 의미한다. 식 (2)와 식 (3)은 각각 T_{EDP} 와 E_{EDP} 를 나타내며, EDP는 식 (4)로 정의한다. 따라서, 식 (4)는 새로운 기기를 할당하는 경우의 에너지 효율을 나타낸다.

$$T_{EDP} = \frac{m}{D_j} \left(T_s - \frac{(T_s - T_f)}{2D_i} D_j \right)$$

$$E_{EDP} = W \times m \left(T_s - \frac{(T_s - T_f)}{2D_i} D_j \right)$$

$$EDP = T_{EDP} \times E_{EDP}$$

위와 같이 정의된 수식을 이용하여 다음 장에서 첨단 검침 인프라의 에너지 효율을 비교한다.

IV. 에너지 효율 비교 및 분석

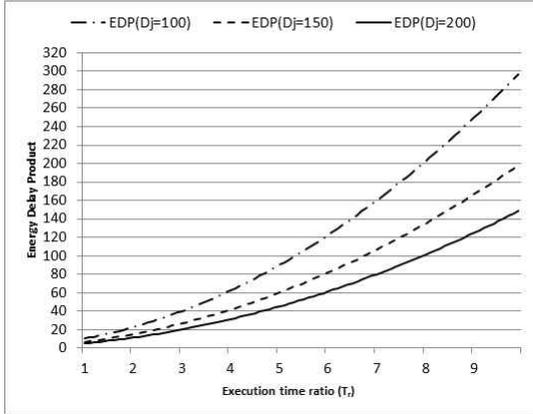
에너지 효율을 비교하기 위해 데이터 수집 기기의 개수 및 작업 실행 시간의 비율을 고려하여 EDP를 구한다. <표 1>은 EDP를 계산하기 위한 시뮬레이션에서 사용되는 변수를 의미한다. 작업 실행 시간의 비율을 증가하는 것은 첨단 검침 인프라 내에 부하가 증가한다고 가정할 수 있다. 가장 빠른 작업 실행 시

간(T_f)은 0.1초라고 하고 가장 느린 작업 실행 시간(T_s)은 0.1에서 1.0초 사이의 값을 갖는다. 이때 작업 실행 시간의 비율(T_r)은 인프라 내에서 발생하는 부하라고 가정할 수 있고 1에서 10 사이의 값이 된다. 그리고 초기의 데이터 수집 기기(D_i)의 개수는 100개, 기기 할당 후 데이터 수집 기기의 개수(D_j)는 100에서 200개 사이의 값을 갖는다. 스마트 미터의 개수(m)는 1,000개라고 하고, 작업 처리에 소모되는 에너지양(W)은 0.1와트(W)라고 가정한다. 그리고 기기를 할당하는 기준이 되는 임계값(T_h)을 2, 기기 할당에 대한 가중치(α)를 0.05라고 가정하였다.

<표 1> 시뮬레이션 환경

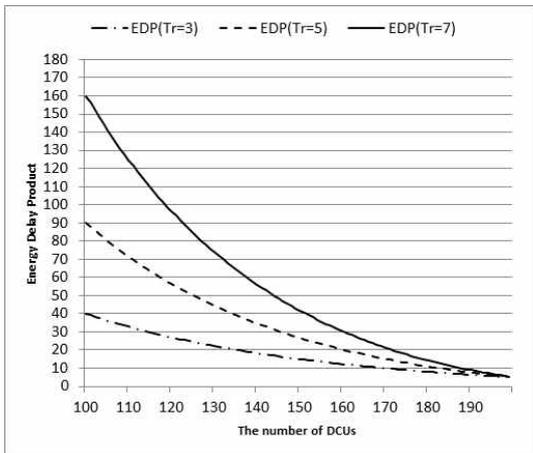
변수	값	의미
T_f	0.1	가장 빠른 작업 실행 시간
T_s	0.1 ~ 1.0	가장 느린 작업 실행 시간
T_r	1 ~ 10	작업시간 비율, 부하(T_f/T_s)
D_i	100	초기 데이터 수집 기기 개수
D_j	100 ~ 200	할당 후 데이터 수집 기기 개수
m	1,000	스마트 미터 개수
W	0.1	작업 처리에 소모되는 에너지양
T_h	2	EDP 비율에 대한 임계값
α	0.05	기기 할당 가중치

<그림 4>는 가장 빠른 작업 실행 시간과 가장 느린 작업 실행 시간의 비율(T_r), 즉 기기의 부하가 증가하는 경우에 EDP 변화량을 보여준다. 1점 쇄선, 파선, 실선은 데이터 수집 기기의 개수가 각각 100개, 150개, 200개임을 나타낸다. 그림과 같이 데이터 수집 기기가 일정한 경우는 부하(T_r)가 증가할수록 EDP는 급격하게 늘어나는 것을 알 수 있다. 또한, 데이터 수집 기기의 개수가 많을수록 작업 실행 시간의 변화에 따른 EDP 증가량은 상대적으로 적은 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 작업 실행 시간에 따른 EDP

〈그림 5〉는 할당되는 데이터 수집 기기의 개수의 변화에 따른 EDP를 보여준다. 먼저 실행 시간의 비율(T_e)이 일정한 경우에 기기의 개수가 증가할수록 EDP는 낮아지는 것을 알 수 있다. 그림에서 1점 쇄선, 파선, 실선은 실행 시간의 비율이 각각 3, 5, 7임을 나타낸다. 기기의 개수가 같은 경우 단위 작업 실행 시간의 비율에 대한 차이가 클수록 EDP가 크고, 개수가 증가하는 경우 실행 시간의 비율이 높을수록 EDP의 변화율도 크다는 것을 알 수 있다.

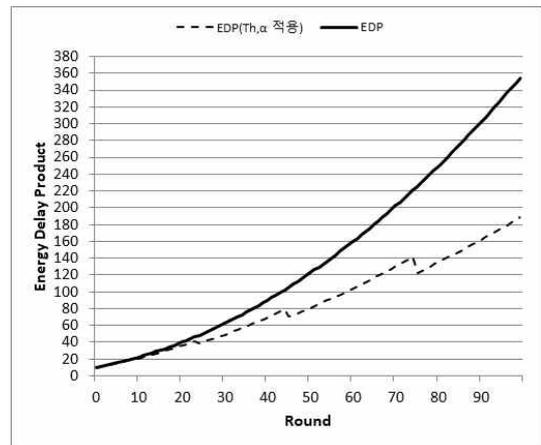


〈그림 5〉 기기의 개수에 따른 EDP

이처럼 첨단 검침 인프라에서 데이터 수집 기기 개수와 작업 실행 시간은 에너지 효율에 많은 영향을 준다. 기기 간의 성능 차이, 즉 첨단 검침 인프라에 부하가 발생한다면 EDP가 증가하면서 에너지 효율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 따라서 이때 새로운 기기를 할당하여 EDP를 낮추고 에너지 효율을 높일 수 있다.

〈그림 6〉과 같이 데이터 수집 기기 할당에 대한 임계치와 가중치를 적용하여 EDP를 계산하여 적용되지 않은 경우와 에너지 효율을 비교한다. 가장 빠른 작업 시간이 0.1초인 경우에 기기 실행 시간의 비율(T_e)은 라운드에 따라 1부터 10까지 일정하게 증가한다고 가정한다.

현재 라운드의 EDP와 기준이 되는 EDP의 비율을 계산하여 결과가 임계치(T_h)를 초과하면 정해진 가중치(α)만큼 데이터 수집 기기의 개수를 증가시킨다. 이때 기기의 개수가 변화하고 난 후에 EDP가 이후 라운드에서 임계치 계산을 위한 기준값이 된다. 이후 라운드에서 기기가 증가한 만큼 EDP는 낮아져 에너지 효율이 높아진다.



〈그림 6〉 임계치를 적용하여 제안된 방법에 따른 EDP

<그림 6>에서 실선은 부하가 증가하는 경우에 데이터 수집 기기의 개수가 일정한 경우 EDP를 의미하고, 파선은 임계치(T_n)는 2.0으로 가중치(α)는 0.05를 적용하여 EDP의 비율이 2배가 되면 데이터 수집 기기의 개수를 이전 단계의 5% 만큼 늘리는 경우 EDP의 변화를 보여준다. 임계치와 가중치에 따라 기기를 추가로 할당하는 경우는 9, 23, 44, 그리고 74라운드에서 EDP는 기준값의 2배가 되어 데이터 수집 기기의 개수는 각각 초기 100개에서 다음 라운드마다 각각 105, 111, 117, 그리고 123개가 되어 EDP를 조절하게 된다.

<표 2> 임계치 적용하는 경우 EDP

라운드	부하 비율	임계치 미적용		임계치 적용	
		EDP	DCU	EDP	DCU
1	1.0	10	100	10	100
10	2.0	22.50	100	20.72	105
24	3.4	48.40	100	38.53	111
45	5.5	105.63	100	70.28	117
75	8.5	225.63	100	122.87	123

<표2>와 같이 최종적으로 EDP를 단순 비교한다면 45% 이상 낮아지는 것을 확인할 수 있고, 그만큼 에너지 효율이 향상했다고 볼 수 있다. 첨단 검침 인프라에서 에너지 효율을 위해 기기의 부하가 탐지되는 경우 데이터 수집 기기를 추가로 할당하여 에너지 효율을 높일 수 있다.

V. 결론

첨단 검침 인프라는 스마트 그리드를 구축하기 위한 필수적인 기술로써, 스마트 미터, 데이터 수집 기기, 미터기 데이터 관리 시스템으로 구성된다. 본 논문에서는 첨단 검침 인프라의 에너지 효율을 확인하

기 위해서 NAN 구간에서 데이터 수집 기기와 스마트 미터의 개수 및 작업 실행 시간을 바탕으로 에너지 효율을 비교하였다. 간단한 실험 결과는 각 기간의 작업 실행 시간의 차이, 즉 성능의 차이가 클수록 에너지 효율은 낮아지고, 기기의 개수가 많을수록 에너지 효율은 높아지는 것을 보여준다. 따라서 성능의 차이에 따라 전략적으로 기기를 할당한다면 에너지 효율을 크게 높일 수 있을 것이다. 이때 추가로 할당된 기기의 설치 비용 및 유지보수 비용을 고려하여 에너지 효율을 비교하여야 한다.

추후, 기기의 설치 비용 및 유지보수 비용 등과 같은 다양한 파라미터를 통한 성능 평가를 하고 첨단 검침 인프라의 에너지 효율을 극대화하는 방안에 관해 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] C. Bennett and S. B. Wicker, "Decreased time delay and security enhancement recommendations for AMI smart meter networks," 2010 Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2010, pp. 1-6.
- [2] J. Zhou, R. Qingyang Hu and Y. Qian, "Scalable Distributed Communication Architectures to Support Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, no. 9, 2012, pp. 1632-1642.
- [3] H. Li, S. Gong, L. Lai, Z. Han, R. C. Qiu and D. Yang, "Efficient and Secure Wireless Communications for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grids," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 3, 2012,

- pp. 1540-1551.
- [4] R. R. Mohassel, A. S. Fung, F. Mohammadi and K. Raahemifar, "A survey on advanced metering infrastructure and its application in Smart Grids," IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2014, pp. 1-8
 - [5] 한국방송통신전파진흥원, 스마트그리드 구축을 위한 AMI 기술 동향, 2014년 2월.
 - [6] S. Yeo and H. Lee, "Using Mathematical Modeling in Provisioning a Heterogeneous Cloud Computing Environment," IEEE Computer, vol. 44, no. 8, 2011, pp. 55-62.
 - [7] 안윤영, 박창민, "스마트그리드에서의 AMI 네트워크 기술 동향", 정보통신산업진흥원, 2012.

■ 저자소개 ■



정 성 민
Jung, Sungmin

2014년 3월~현재
한국원자력연구원 선임연구원
2014년 2월
성균관대학교
전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
2008년 2월
성균관대학교
전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
2005년 2월
성균관대학교 정보통신공학부
(공학사)
관심분야 : 원자력보안, 제어시스템보안,
센서네트워크
E-mail : smjung@kaeri.re.kr

논문접수일 : 2020년 3월 9일
수 정 일 : 2020년 3월 16일
게재확정일 : 2020년 3월 18일