

고정설비감시를 위한 무선센서네트워크 형태 분석

이후락¹ · 류길수² · 정경열[†]

(Received June 26, 2015 ; Revised July 30, 2015 ; Accepted December 31, 2015)

Wireless sensor network analysis of suitable types for fixed facility surveillance

Hoo-Rock Lee¹ · Keel-Soo Rhyu² · Kyung-Yul Chung[†]

요약: 무선센서네트워크는 구축과 운영측면에서 기존 네트워크방식보다 유리하나 각종 산업플랜트의 중요감시 대상설비는 대부분 건물내부 또는 지하에 위치하며 고정되어있어 일반적인 형태로는 적용이 어렵다. 이러한 특정 환경의 설비감시를 위해서는 해당 조건에 적합한 무선센서네트워크 형태로 적용해야 한다.

따라서, 본 논문에서는 적합한 형태 확인을 위해 TinyOS시뮬레이터인 TOSSIM을 이용하여 고정설비감시 네트워크 환경과 유사한 조건에서 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 제시한다. 확인 대상은 LEACH, Flooding 및 Gossiping 프로토콜로 네트워크의 부하분산과 효율 면에서 계층구조인 LEACH가 좀 더 우수함을 나타낸다.

주제어: 계층구조, 고정설비감시, 무선센서네트워크, 네트워크 형태

Abstract: A Wireless Sensor Network (WSN) is better than a conventional network for use in construction and Operations and Maintenance (O&M) because of its lower surveillance system cost. However, effective operation of a WSN is often difficult to obtain because the surveillance targets are usually fixed inside the building or underground. Therefore, this environmental constraint should be considered in the design of the WSN plant equipment surveillance system prior to installation. This study employs simulations of WSN-based fixed facility surveillance using the TinyOS TOSSIM simulator to investigate ideal types and setups of the WSN. Simulation target protocols included LEACH and flooding and gossiping protocols. The results show that the hierarchically-structured LEACH protocol demonstrated better load-balancing and efficiency than the flatly-structured flooding and gossiping protocol.

Keywords: Hierarchical structure, Fixed facility surveillance, Wireless sensor network, Network topology

1. 서 론

산업플랜트에 있어서 대부분 중요 설비는 건물 내에 위치하고 있으나 전력케이블은 건물 밖에 설치되어 있으면서 지하시설에 위치하고 있다. 이러한 특징은 폭풍우 및 빙설 등의 악천후에도 영향을 받지 않아 공급 신뢰도가 높지만, 가공선로에 비해 공사비가 많이 소요되고 용량에 제약을 받으며 유사시에는 고장복구에 장시간이 소요되는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해서는 지하 전력선로의 원격 감시를 통해 사고를 미연에 방지하거나 체계적으로 관리하여야 한다. 이 경우 지하 전력선로 상의 데이터를 측정하기 위해 유선으로 센서를 연결하게 되면 전력선과 통신배선을 동일하게 설치해야 하므로, 상당한 설치비용과 인력 소모 등의 문제를 야기시킬 수 있다. 그러므로 실시간 모

니터링과 유지보수가 편리하고 비용을 최소화하기에 최적화된 무선센서네트워크 기술의 적용이 요구된다[1].

본 논문에서는 산업플랜트 중에서 지중배전선 감시에 적합한 무선센서네트워크 구조를 확인하기 위해, 지금까지 연구된 능동 및 반응 형태의 프로토콜들을 비교분석한다. 또, 선정된 프로토콜을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석함으로써 적합한 무선센서네트워크 구조를 검증한다.

2. 관련 프로토콜 조사

무선센서네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜로서 지금까지 제안된 것으로는 Flooding, Gossiping을 비롯하여 AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector), DSR(Dynamic Source Routing), DSDV(Destination

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2848-293X>): Division of Plant System and Machinery, University of Science & Technology(UST), 34103 156 Gajeongbuk-Ro Yuseong-Gu Daejeon, Korea, E-mail: kychung@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7333

1 Korea Institute of Machinery and Materials, E-mail: hrock@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7304

2 Division of Information Technology, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: rhyu@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4571

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Sequenced Distance Vector), Direct Diffusion [2] 및 LEACH [3] 등이 있다.

상기한 프로토콜을 기반으로 무선센서네트워크 환경에 적합하도록 다양한 측면의 연구가 진행되고 있다. AODV와 DSDV는 특정지점으로의 유니캐스트 라우팅을 위한 디자인으로 TinyOS에 맞게끔 Intel Oregon에서 구현하였고[4], Direct Diffusion은 UCLA CENS에서 구현하여 Tiny Diffusion 2.0버전으로 공개하고 있다[5].

2.1. 경로설정방식에 따른 프로토콜 분류

수많은 응용에 적합한 경로설정 프로토콜은 데이터 중심 프로토콜 방식, 계층적 경로설정 방식, 위치기반 경로설정 방식의 3종류로 구분할 수 있다.

우선, 데이터 중심 프로토콜 방식은 데이터의 명칭을 기반으로 하는 것과 데이터의 속성에 따른 노드에 쿼리를 기반으로 하는 프로토콜이 있다. 이는 대부분 클러스터를 구성하는데 필요한 부가작업을 회피하기 위해 연구되고 있다.

계층적 경로설정 방식은 클러스터기반 센서노드들로 구성된 그룹형태로 수집된 데이터를 클러스터헤드가 효율적으로 싱크노드로 전달하는 형태이다. 이 프로토콜은 클러스터를 형성하여 운영 에너지 효율성, 긴 수명유지, 센서노드 취득 데이터의 지연 최소화 및 클러스터헤드의 데이터 취합 전송 등을 중심으로 연구가 이루어지고 있다.

마지막으로 위치기반 경로설정 방식은 전체적인 네트워크보다 원하는 영역에 데이터를 중계하기 위해 위치 정보를 이용하여 데이터를 전송하는 프로토콜이다. 이와 같이 무선센서네트워크는 애드혹(ad-hoc) 네트워크와 달리 에너지효율을 고려해야 하는 것을 중점으로 여러 프로토콜들이 연구되고 있다[6].

2.2. 통신방식에 따른 프로토콜 분류

적용대상의 특징에 적합한 형태를 파악하기 위해서는 프로토콜의 경로설정 방식에 따른 분류에 추가하여, 통신 방식 및 데이터전송경로 형태에 따라 변경할 필요가 있다. Figure 1은 이러한 분류를 나타내고 있으며, 멀티캐스트(multicast) 통신방식의 대표적인 프로토콜 예로는 SPIN이 있으며, 브로드캐스트(broadcast) 방식으로는 Flooding이 있다. 그 외에 프로토콜들은 대부분 유니캐스트(unicast) 방식으로 운용되고 있으며, 경로를 관리하는 형태에 따라 데이터 전송 전에 경로설정을 결정하는 능동(proactive)방식, 데이터를 전송할 때 경로를 결정하는 반응(reactive)방식, 두 가지 방식을 병합해서 이용하는 복합(Hybrid)방식으로 구분된다.

이 중에서 계층적 구조 라우팅 프로토콜에는 LEACH [3], Hierarchical-PEGASIS [7], TEEN [8], APTEEN [9] 등이 있으며, LEACH와 PEGASIS는 능동방식에, TEEN은 반응방식에, APTEEN은 복합방식에 속한다.

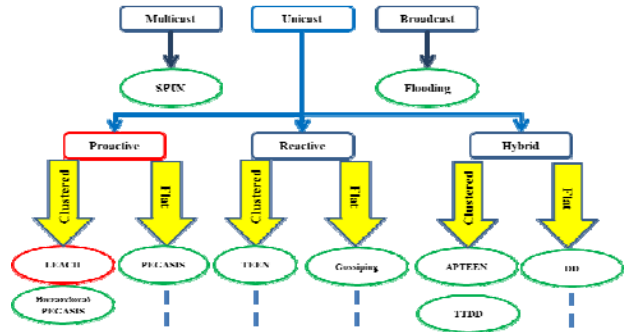


Figure 1: WSN protocol classification diagram of communication and routing method

3. 비교대상 프로토콜 분석

Figure 2는 본 논문에서 대상으로 하고 있는 지중배전선의 무선센서네트워크의 토폴로지를 보여주고 있다. 지중배전선의 경우 맨홀내부에 위치한 센서노드만이 지상과 통신이 가능하며, Figure 2에서 노드 CH(Cluster Head)가 그 역할을 하고 있는 형태이다. 즉, 계층적 구조이면서도 각 클러스터는 스타토폴로지형태의 통신만 가능한 구조로서, 계층적 라우팅 프로토콜이 가장 적합한 형태이다. 위치기반 라우팅 프로토콜에서도 유사한 형태를 고려한 부분이 있으나 위치정보를 이용하여 회피하는 형태이므로 본 목적에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 지중배전선에 상태감시환경에 적합한 프로토콜을 선정하기 위해, Flooding 및 Gossiping 데이터중심 라우팅 프로토콜과 LEACH 계층적 라우팅 프로토콜을 비교하고 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석한다.

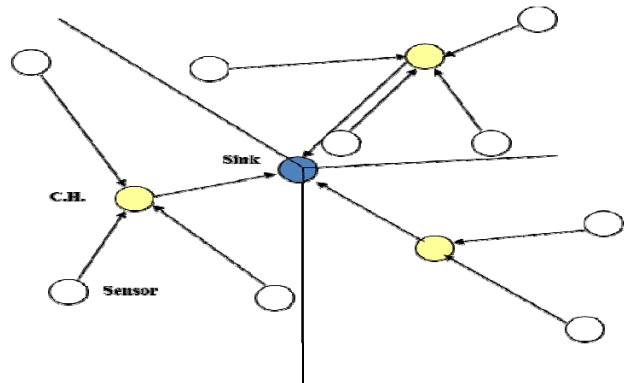


Figure 2: WSN topology diagram for the underground power cable surveillance

3.1 Flooding프로토콜

Flooding프로토콜은 데이터중심 프로토콜 중 브로드캐스트 방식으로 데이터를 전송하는 프로토콜이다. Flooding은 Figure 3과 같이 A노드에서 생성한 데이터를 주변 노드에 브로드캐스트로 전송하면 수신한 노드는 목적지에 도달할 때까지 동일한 방법으로 전송하여 목적지인 싱크(sink)노드에 전달하게 되는 방식이다. 이러한 방식은 토폴로지 관리와 경로

설정에 필요한 비용을 절감할 수 있으나 전송방식에 따른 두 가지 문제점을 가지고 있다.

첫째로 패킷전달 과정에서 복사된 동일한 패킷을 수신함으로써 네트워크 크기에 비례하여 트래픽이 증가하는 내파(implosion)문제와 둘째로 동일 노드에서 브로드캐스트로 전송함에 따라 복사된 패킷을 수신하는 중복(overlap)문제가 있으며, 이러한 문제들이 네트워크의 수명을 단축시키는 원인으로 작용한다.

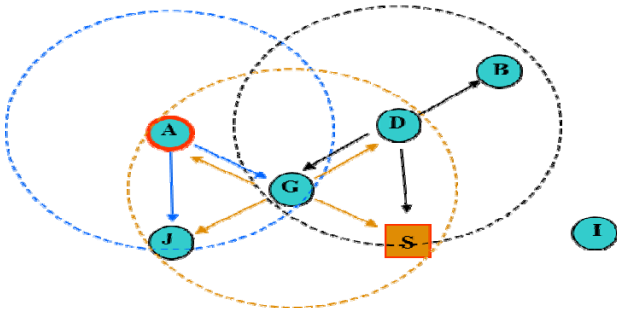


Figure 3: Communication mechanism diagram of Flooding protocol

3.2 Gossiping 프로토콜

데이터중심 프로토콜 중 하나인 Gossiping은 유니캐스트방식에서 반응형태로 경로설정을 수행하는 평면형태 데이터 전송방식으로서, Flooding 프로토콜이 가진 문제점을 개선하기 위해 제시되었다. 구동방식은 Figure 4와 같이 특정 노드에서 데이터를 전송할 때 주변 노드 중 한 개의 노드를 이웃 노드 항목 테이블에서 랜덤으로 선택하여 목적지까지 전송하는 방식이다. 즉, 각 노드는 주변 노드들의 정보를 취득하여 목록화하고 데이터가 발생 또는 수신되면 목적노드를 선택하고 유니캐스트로 전송한다.

이런 방식은 Flooding의 두 가지 문제를 해결할 수 있지만 상황에 따라 최단거리로 갈 수 있는 경로를 많은 노드를 거쳐 가거나 최악의 경우 도달하지 못하는 결과를 초래할 수 있다.

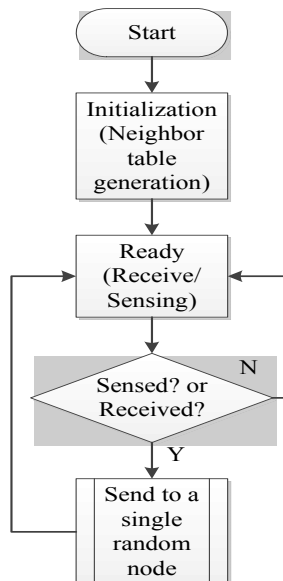


Figure 4: Flow diagram of Gossiping protocol

3.3 LEACH 프로토콜

LEACH는 무선센서네트워크를 위한 계층적 라우팅 프로토콜로 Figure 5와 같은 구조로 동작을 한다. 우선 클러스터를 형성하고 클러스터헤드를 선정하여 TDMA 스케줄을 배포하는 단계인 셋업(set-up)이 있다. 이후엔 스테디스테이트(steady-state)로 각 센서노드에서 데이터를 취득하여 전송하는 단계로 이루어진다. 전송하는 단계의 하나의 프레임(frame)은 모든 센서노드가 데이터를 한번씩 전송하는 형태로 이루어진다. 이 과정이 하나의 라운드로 구성이 되고 각 이 프로토콜은 다음 식 (1)에 의해 CH노드를 선정한다. 이 식은 각 노드에서 CH가 될 가능성을 나타내는 함수 $P_i(t)$ 에 기초하여 에너지 소비의 합을 비교함으로써 다음 라운드의 CH를 선정하며, 각 라운드의 시작시에 클러스터의 각 노드에서 계산된다. 이 함수는 또한 각 라운드에 남아있는 CH노드의 예상 개수인 정수 k 값을 이용하는 방식으로 CH노드를 선정한다.

$$E[CH] = \sum_{i=1}^N P_i(t) \times 1 = k \tag{1}$$

셋업단계는 클러스터를 형성하는 과정으로 노드자신이 CH인지 아닌지 판단하고 CH일 경우 브로드캐스팅으로 자신의 상태를 주변 노드에게 알리고 조인(join)요청을 기다린다. 클러스터가 형성되면 각 노드에 TDMA 스케줄을 클러스터 멤버들에게 전송한다. 반면, CH가 아닌 경우 CH의 메시지를 수신하면 멤버로 속할 CH를 선정하고 선정된 CH에 조인요청을 송신한다. 송신 후 CH로부터 TDMA 스케줄을 기다려서 수신한 스케줄에 맞추어 스테디스테이트 명령을 수행하게 된다.

스테디스테이트 명령은 클러스터 구성이 완료되면 해당 노드가 CH인지 클러스터 멤버인지 판단하여 CH가 아닌 경우 해당 전송시간까지 슬립(sleep)상태로 대기한 후 일정시간이 지나면 CH로 데이터를 전송하고 CH로부터 스케줄을 받을 때까지 대기한다. CH로부터 스케줄을 수신하면 해당 시간에 데이터를 전송하고 그렇지 않을 경우 새로운 라운드로 판단하고 클러스터 설정으로 돌아간다.

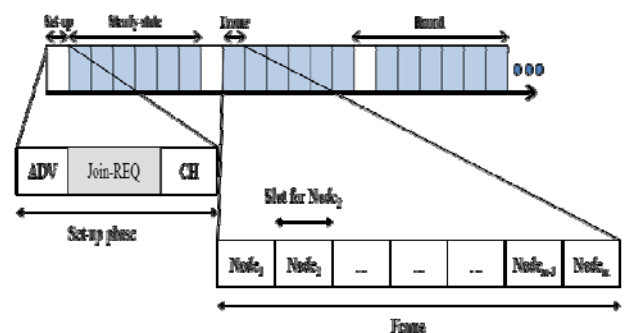


Figure 5: Communication packet structure of LEACH protocol

4. 산업플랜트 환경 프로토콜 성능분석

전반적인 관련연구 조사를 통해 적용대상인 지중배전선로 설비 상태감시를 위해 적합한 경로설정 방법이 계층구조 클러스터 네트워크 경로설정 방법임을 확인하였다. 또한, 계층구조의 클러스터 네트워크 경로설정 방법에서 가장 단순하고 효율적인 LEACH가 적합한 것으로 판단되어 그 성능을 분석하고자 한다. 분석에 있어서 능동형태인 LEACH에 대하여 반응형태인 Flooding과 Gossiping을 대상으로 비교 시뮬레이션을 수행한다.

상기 3종류의 프로토콜 선정은 다양한 산업플랜트 환경에서 요구되는, 프로토콜 동작 방식이 간단하지만 적용 대상 환경과 목적에 맞게 데이터중심 또는 계층적 구조의 프로토콜을 고려할 필요가 있기 때문이다.

4.1 무선센서네트워크 시뮬레이션 수행

상기한 3종류의 프로토콜이 구현 목표 플랫폼인 TinyOS에서 구동이 가능한 형태로 제공되고 있어 TinyOS의 시뮬레이터인 TOSSIM [10]을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경변수는 다음과 같다.

- Build a lossy model : 20 × 20 nodes
- <node id>:<node id>:<bit error rate>
- Radio model : fixed radius (10.0)
- Case
 - Node number : 25, 50
- Loss probability
 - Flooding, Gossiping : 0 %
 - LEACH : 10%, 25%, 50%
- Network performance calculation
 - Packet traffic
 - Consumption power factor : receive (2), transmit (3)
- Topology form
 - 0 : sink node
 - 10, 20, 30, 40, 50 : CH node

토폴로지의 구성과 노드 배치는 산업플랜트 지하고정설비인 지중배전선 맨홀 배치도와 유사한 형태로 Figure 6 및 7과 같이 구성하였다. 다만 Flooding과 Gossiping의 경우 CH와 관계없이 데이터 전송을 수행하는 특성상 LEACH와 차이를 나타낼 수 있음을 가정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2 무선센서네트워크 시뮬레이션 결과분석

시뮬레이션 결과 25개 노드들이 소비한 총 전력소모는 LEACH가 가장 적게 소비하였으나 수신율은 Gossiping보다 높게 나타났다. 반면 50개 노드들이 소비한 전력과 수신율은 Gossiping이 약간 높지만 전력소비는 좀 더 많은 차이를 보임을 알 수 있었다.

각각의 결과를 면밀히 분석하기 위해 노드별로 소비전력의 추이를 Figure 8과 9에 나타내었다. 시뮬레이션 조건에서 CH로 사용될 노드를 지정하고 진행하였는데, 25개 노드의 시뮬레이션 결과에서 LEACH는 전반적으로 고른 분포를 가지나 Gossiping은 그렇지 못한 상태를 나타내었다. 즉, 전체 네

트워크를 효율적으로 운영하기에는 LEACH와 같은 계층구조가 더 적합하다는 것을 알려주는 결과이다. 다만, 노드수가 증가함에 따라 트래픽이 증가하므로 데이터를 전달하는 노드들에서는 전력소비가 집중됨을 50개 노드의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있었다.

Table 1에 전체 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그 결과 송신패킷 대비 수신율에서는 Gossiping이 2% 앞서는 것을 알 수 있으나 총 데이터 수신량에서도 Gossiping이 더 많은 관계로 총 전력소비 또한 많게 됨을 알 수 있다. 즉, 네트워크의 부하분산과 효율성 면에서 계층구조가 좀 더 우수함을 확인할 수 있다.

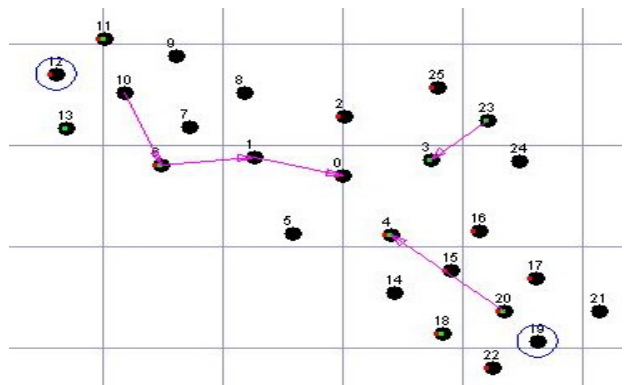


Figure 6: Deployment diagram of 25 nodes

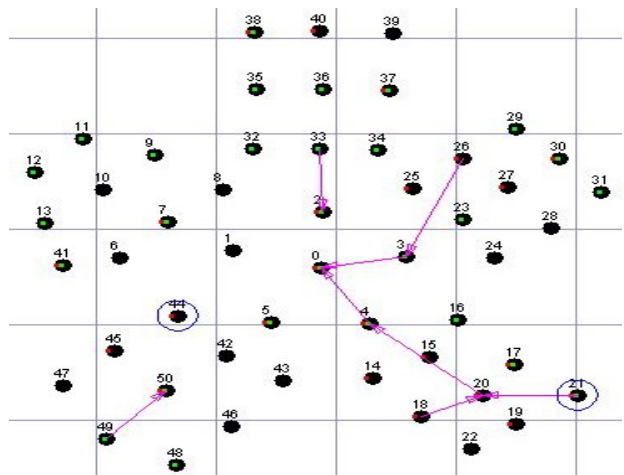


Figure 7: Deployment diagram of 50 nodes

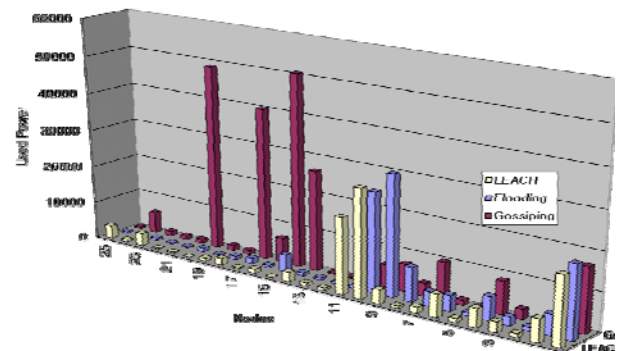


Figure 8: Power consumption comparing chart for 25 nodes

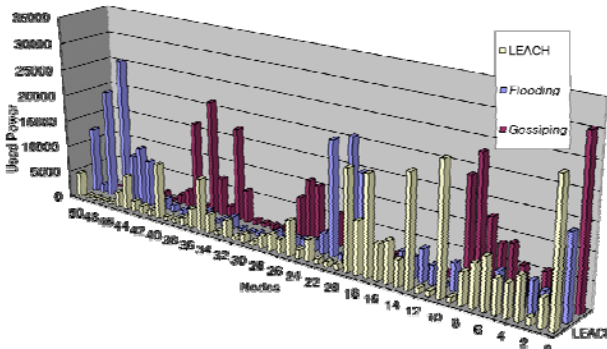


Figure 9: Power consumption comparing chart for 50 nodes

Table 1: Simulation results

Routing protocol	Loss probability (%)	Whole node transfer packet	Received packet at the Sink	Total received packet	Total transfer packet	Consumption power
LEACH	10	12,389	4,944	51,013	44,116	271,541
	25	11,364	4,219	37,222	32,939	207,353
	50	11,061	5,127	45,226	40,754	245,897
Flooding	-	10,617	2,846	47,161	41,138	249,587
Gossiping	-	12,219	5,861	51,352	45,477	275,792

5. 결 론

본 논문에서는 산업플랜트 설비의 상태감시를 위해 비용 대비 성능, 효율, 설치 용이성 등을 고려하여 적합한 무선센서네트워크 기술을 선정할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 우선 대상 플랜트의 형태와 특징을 파악하고 에너지플랜트에서 생산한 전력을 수용가까지 공급하는 역할인 지중배전선 설비 상태감시 요구사항을 기준으로 적용이 가능한 기술 범위를 설정하고 해당 기술을 조사·분석하였다.

조사대상인 무선센서네트워크의 적용을 위해 관련연구들의 데이터 전송 프로토콜을 분석하여 지중배전선 설비분야에 적합한 형태를 분석하였다. 비교 분석 대상에 있어서 능동형태인 계층구조형 프로토콜 LEACH에 대하여 반응형태인 평면구조형 데이터 중심 프로토콜 Flooding과 Gossiping을 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 결과를 비교하였다. 수행 결과 네트워크의 부하 분산과 효율성 면에서 계층구조가 좀 더 우수함을 확인하였다.

향후 무선센서네트워크 보안기술 연구를 통해 실제 현장에서 에너지플랜트 중요설비의 상태감시를 국가보안 등급에 맞는 기술수준으로 결과를 도출하고 수집 데이터의 수신율을 높일 수 있는 신뢰성 향상기술 연구를 통해 현장에서 활용될 수 있도록 해야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No.2011151000050) 및 한국해양과학기술진흥원(KIMST)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No.1525004748)입니다.

References

- [1] H. R. Lee, K. Y. Chung, and K. S. Jhang, "A study of wireless sensor network routing protocols for maintenance access hatch condition surveillance," Journal of Information Processing Systems vol. 9, no. 2, pp. 237-246, 2013.
- [2] C. CIntanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, 2003.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.
- [4] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, A. Woo, E. Brewer, and D. Culler, "The emergence of networking abstractions and techniques in TinyOS," First Symposium on Network Systems Design and Implementation, vol. 1, pp. 1-14, 2004.
- [5] Tiny Diffusion, <http://www.cens.ucla.edu/~eoster/tiny-diff/>, Accessed February 8, 2005.
- [6] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," Ad Hoc Networks, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, 2005.
- [7] S. Lindsey, C. Raghavendra, and K. Sivalingam, "Data gathering in sensor networks using the energy*delay metric," Proceedings 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium. pp. 2001-2008, CA, 2001.
- [8] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Proceeding of the 15th Parallel and Distributed Processing Symp, pp. 2009-2015, 2001.
- [9] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks," Proceeding of the 2nd Int'l Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, pp. 195-202, 2002.
- [10] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "TOSSIM: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications," Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 126-137, 2003.