
무선 센서 네트워크에서 IEEE 802.15.4 MAC의 이동성 지원

황 성 호*

Mobility Support of IEEE 802.15.4 MAC in Wireless Sensor Networks

Sung-Ho Hwang*

요 약

전통적인 센서 네트워크는 고가의 센서와 케이블로 연결되어 있어, 센싱 데이터를 수집할 때 유연성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. WSN은 저가의 장비를 사용하고, 임무를 여러 노드에서 나누어서 수행하기 때문에 다각도에서 세밀한 데이터를 수집할 수 있다. 본 논문에서는 대한석탄공사의 작업현장에서 IEEE802.15.4 MAC을 이용하여, 채탄 작업환경을 그대로 적용한 채탄토폴로지를 구성하였다. 채탄 작업시에 작업 관리자의 이동성 지원을 위한 모델들을 제안하였고, 시뮬레이션을 수행하여 최적의 모델을 선정하였다. 본 논문의 결과는 대한석탄공사와 다른 광업소에서 WSN을 적용할 때 중요 자료로 사용할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The traditional sensor network is composed of the cable and the sensor of high price, when collecting a sensing data, there is a weak point which is not pliability. WSN uses the equipment of low price, it will be able to collect the data which is diverse from various node. In this paper we composed coal mining topology which used IEEE802.15.4 MAC in Korea Coal Corporation site. We proposed models for the mobility support of the work manager from the coal mining, we selected the optimum model through simulation experiments. When applying the WSN in the Korea Coal Corporation and other mines, this result can be used as a basis.

키워드

WSN, IEEE802.15.4, Beacon Order, Superframe Order

I. 서 론

전통적인 센서 시스템은 대형의 고가 센서를 사용하고, 유선으로 사용자에게 직접 연결하여 데이터를 수집하는 장소에서 고정된 센서들을 위치해야 한다. 이러한 시스템에 비해 저가의 WSN(wireless sensor networks)은 가격을 절감할 수 있고 단일 임무를 여러 노드에서 나누어서 수행하기 때문에 다각도에서 세밀하게 관찰된 데이터를 수집할 수 있다.

대한 석탄공사 장성광업소의 지하 작업장에서 사용

하는 센서 장비는 케이블에 연결되어 사용하며, 고가의 센서들을 사용하고 있다. 그러나 이러한 센서 장비는 케이블에 연결되어 있어 매일 이동하는 작업 여건상 유연성이 떨어지는 문제점을 안고 있다.

본 논문에서는 대한석탄공사의 작업현장에서, IEEE802.15.4 MAC을 이용하여 채탄 환경에 적합한 토폴로지를 구성하였다. 광산에서 작업 관리자의 이동성 지원을 위한 모델들을 제안하였고, 시뮬레이션을 이용하여 최적의 모델을 선정하였다.

II. 센서네트워크 구성

채탄은 대한석탄공사의 장성광업소에서 석탄을 직접 채굴하는 작업이다. 장성광업소에서는 1995년부터 장공 중단 채탄법을 사용한다.

현재 장성광업소 채탄 과정에서 이산화탄소와 메탄 가스 검출하는 과정은 그림 1과 같이 센서(TC-10M-1)을 통해 검출하게 된다. 검출된 센싱 데이터는 송신기(TBX-404 또는 TBX-383)을 통해 전달되고, 수신기(MP-5)를 통해 서버 PC로 전달이 된다. 이산화탄소와 메탄 가스가 발생하면 클라이언트 PC, 경보등, 휴게실 등을 통해 상황발생을 알린다. 그리고 현재의 장성광업소에서 사용하는 센서 시스템은 RS-232, CVV-S와 3RNCT 케이블을 사용하고, 고정된 위치에서 센서 장비를 사용하고 있다. 센서 시스템은 케이블에 연결되어 있어, 채탄 현장까지 도달하지 못하는 경우가 빈번히 발생한다. 또한 송신기와 수신기를 연결시키는 케이블과 접속단자에 장애가 발생하였을 경우에는 센서 시스템이 작동불능 상태가 발생한다.

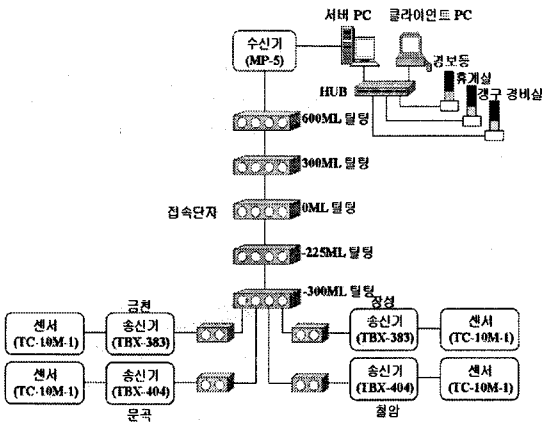


그림 1. 장성광업소 센서 시스템
Fig. 1 The Sensor System of Jangseong Mine

본 논문에서는 기존의 센서 시스템을 대신하고, 채탄 작업 현장의 실정에 맞는 WSN을 구성한다.

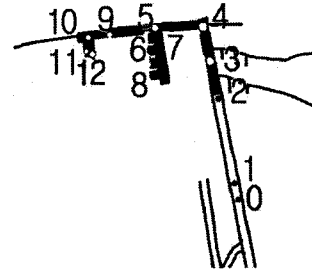


그림 2. 채탄 작업장
Fig. 2 Coal Mining Workplace

본 논문에서 대상이 되는 작업장은 장성광업소의 21개 채탄 작업장 중에서 장성-300ML의 작업장을 선택하였다. 채탄이 시작되면 작업자 12명과 관리자 1명이 그림 2와 같이 배치된다. 관리자 0은 작업자 1부터 작업자 12까지 의견을 교환하며 작업장을 순회한다. 순회를 마치면 다시 작업자 1부터 작업자 12까지 순회한다.

각 작업자 간의 거리를 측정해보면, 작업자 1과 작업자 4사이의 거리는 48m, 작업자 4와 작업자 10사이의 거리는 53m, 작업자 10과 작업자 12사이의 거리는 21m이다.

채탄 작업 환경을 그대로 적용하고자 주 경도에서 분기된 형태로 그림 3과 같이 WSN 노드(node)들을 배치하였다. WSN 노드들은 10m 간격으로 배치하고, 전과도달 거리는 12m로 한다. 이때 각 WSN 작업자 노드 1부터 작업자 노드 16까지의 모든 노드들은 관리자 노드 0로 이산화탄소와 메탄 가스 발생 센싱 데이터를 주기적으로 보낸다. WSN 관리자 노드 0은 WSN 노드 1부터 노드 16까지 순회하는 것으로 하며, 노드를 지날 때 마다 10초간의 정지 시간을 가진다.

즉, WSN 작업자 노드들은 고정된 형태로 구성하고, WSN 관리자 노드 0만이 이동하면서 WSN 작업자 노드로부터 보내오는 이산화탄소와 메탄 가스 센싱 데이터를 수신한다.

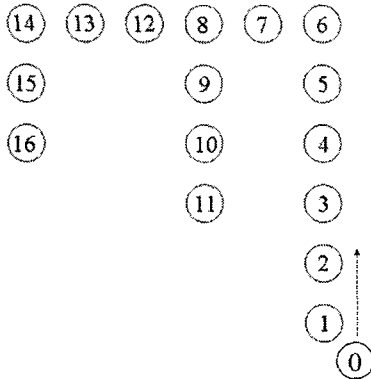


그림 3. 채탄 토폴로지
Fig. 3 Coal Mining Topology

본 논문에서는 지금부터 WSN 작업자 노드와 WSN 관리자 노드를 단순히 작업자 노드와 관리자 노드로 표기한다.

III. 이동성 지원을 위한 시나리오

WSN의 사실상 표준인, Zigbee는 IEEE 802.15.4 MAC 을 사용하여, 응용층 프레임워크, 네트워킹 절차, 보안 기능을 지정한다[1][2]. Zigbee 라우팅 프로토콜 (cluster-tree, mesh or hybrid)을 선택하는데 일치된 의견이 없으므로, 본 논문에서는 현재 존재하는 라우팅 프로토콜인 AODV를 사용하여 성능 분석을 수행하고, 사용하는 MAC은 IEEE 802.15.4를 사용한다.

WSN을 장성광업소의 채탄 작업장에 적용시키고, 작업자 노드들은 고정되고, 관리자 노드만이 이동을 할 때 다음과 같은 시나리오 들을 고려할 수 있다.

① direct transmission model

작업자 노드들이 단순히 이동하는 관리자 노드에게 센싱 데이터를 전달하는 모델이다.

② one sink model

작업자 노드 중에 한 노드를 sink노드를 정하고, 다른 모든 작업자 노드들이 sink 노드로 센싱 데이터를 전송한다. Sink 노드는 수집한 모든 센싱 데이터를 관리자 노드로 전송하는 모델이다. Direct transmission model은 작업자 노드들이 각자 이동하는 관리자 노드를 찾기 위해

노력하지만, one sink model은 sink 노드만이 이동하는 관리자 노드를 찾기 때문에 direct transmission model 보다는 좋은 성능을 보이리라 판단된다. 그러나 센싱 데이터를 sink 노드에 전송하고, sink 노드는 다시 센싱 데이터를 관리자 노드에게 전송해야 하므로 발생하는 총 패킷 양이 두 배로 증가하는 단점이 있다.

위의 두 ①, ②모델은 이동하는 관리자 노드를 찾기 위해 센싱 데이터를 보낼 때마다 많은 라우팅 정보가 요구되고, 경로를 찾기 못해 발생하는 재전송 지연으로 만족할 만한 성능을 내지 못한다.

이동하는 관리자 노드를 찾기 위해 작업자 노드들의 경로 탐색을 위한 라우팅 정보를 최소화하기 위한 모델이 필요하다.

관리자 노드를 제외한 모든 작업자 노드들이 고정되어 있다. 고정된 작업자 노드들 간에 센싱 데이터를 주고 받는 것이, 이동하는 관리자 노드와 작업자 노드 사이에서 센싱 데이터를 주고받는 것에 비해 안정된 라우팅 지연과 재전송 지연을 가져오리라 예상된다.

③ one agent model

관리자 노드는 현재 가장 인접한 작업자 노드에 접속을 하고, 이 인접한 노드를 agent라 부른다. Agent 노드는 다른 모든 작업자 노드들에게 센싱 데이터를 자신에게 보내라는 신호를 보낸다. 다른 모든 작업자 노드들은 센싱 데이터를 agent 노드로 전송하고, agent 노드는 수신한 센싱 데이터를 다시 관리자 노드에게 전송하는 모델이다.

④ one agent with sink model

모든 작업자 노드들이 sink 작업자 노드로 데이터를 전송한다. 관리자 노드와 가장 인접한 노드인 agent 노드는 sink 노드에게 수집한 센싱 데이터를 보내라고 요구한다. Sink 노드는 agent 노드로 수집한 센싱 데이터를 전송하고, agent 노드는 수신한 센싱 데이터를 다시 관리자 노드에게 전송하는 모델이다. Sink 노드 하나 또는 둘 이상의 노드를 둘 수 있다.

모델 ③, ④는 작업자 노드와 이동하는 관리자 노드가 직접 센싱 데이터를 주고받는 것이 아니라, 고정된 작업자 노드들이 고정된 agent 노드로 센싱 데이터를 보내고,

agent와 관리자 노드는 인접해 있으므로, 라우팅 지연과 재전송 지연을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

IV. 실험 및 고찰

실험에 사용된 시뮬레이션 도구는 분산 객체 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 사용하였다[3].

IEEE 802.15.4 MAC에서 코디네이터(coordinator)는 슈퍼프레임(superframe) 구조를 사용하여 채널 시간을 선택적으로 제한할 수 있다. 슈퍼프레임은 네트워크 코디네이터가 전송하는 비컨(beacon)에 의해 범위가 결정된다. 비컨 프레임은 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에서 전송되며, 만약 코디네이터가 슈퍼프레임을 사용하지 않는다면 비컨은 전송되지 않는다. 비컨은 연결된 디바이스를 동기화시키고, 슈퍼프레임 구조를 설명하기 위해 사용된다. 슈퍼 프레임은 활동 구간과 비활동 구간을 가질 수 있다. 코디네이터는 비활동구간동안에는 저전력 모드로 들어갈 수 있다[4].

네트워크상에서 비컨의 전송 가능 유무에 따라 비컨 사용모드(beacon-enabled mode)와 비컨 비사용모드(nonbeacon-enabled mode)로 나눌 수 있다. 비컨 사용모드에서는 코디네이터가 접속된 디바이스에 동기를 맞추기 위해서 주기적으로 비컨을 브로드캐스트(broadcast)한다. 비컨 비사용모드는 코디네이터가 비컨을 주기적으로 브로드캐스트하지 않고, 비컨을 원하는 디바이스에게 비컨을 유니캐스트(unicast)한다.

IEEE 802.15.4 표준에서 완전 기능 디바이스(FFD : Full Function Device)와 축소 기능 디바이스(RFD : Reduced Function Device)의 두 가지 형태의 디바이스가 있다. FFD는 모든 MAC 서비스를 포함하고 있어 네트워크 코디네이터나 네트워크 디바이스로 동작할 수 있다. RFD는 MAC 서비스의 일부분만을 지원하며 네트워크 디바이스로만 작동할 수 있다[5].

본 논문에서 모든 노드들은 비컨 사용모드로 동작하고, FFD를 사용하며, 똑같은 전송 범위, 전력 손실, 초기 에너지를 사용한다. 다른 파라미터들은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터 설정
Table. 1 Simulation Parameters Setting

노드 수	작업자 16, 관리자 1
전송 범위	12 meters
Traffic Type	CBR
패킷 크기	70 Bytes
Beacon Order	3, 4, 5
Superframe Order	3, 4, 5
이동 속도	1, 2, 3, 4, 5m/s
Tx Power	0.0744W
Rx Power	0.0648W
Idle Power	0.0000552W

모든 실험에서 비컨들 사이의 간격(interval)을 나타내는 파라미터인 BO(Beacon Order)와 슈퍼프레임 활성화 구간(active period)을 나타내는 파라미터인 SO(Superframe Order)는 동일한 값으로 설정하였다. BO와 SO가 동일한 값을 갖는다는 것은 모든 노드들이 항상 활성화(active)되어 있음을 의미한다. 그리고 BO와 SO 값이 작을 경우(BO=SO=0, 1, 2)에는 충돌(collision) 발생량이 많아진다[6][7][8]. 따라서 BO와 SO 값은 3, 4, 5로 변화를 주며 실험을 하였다.

전송된 전체 센싱 데이터 패킷은 신호(signaling) 패킷을 제외한 센싱 데이터 패킷을 의미한다. 데이터 패킷 전달율은 전송된 전체 센싱 데이터 패킷 중에서 전달된 데이터 패킷의 비율을 의미한다. 본 논문에서는 신호 패킷은 고려하지 않았다.

그림 4와 그림5에서 보는 바와 마찬가지로 BO와 SO의 값이 증가할수록 direct transmission model은 급격히 성능이 나빠지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 BO와 SO의 값이 증가하면 superframe interval이 커지게 되고, 이동하는 관리자 노드가 작업자 노드와 동기를 맞추는 시간 간격이 더 걸리고, 작업자 노드 각각 관리자 노드를 찾게 되므로, 데이터 패킷 전달률이 감소하고 평균 전송지연이 커지게 된다. Agent 모델들은 superframe interval 증가 영향을 받지 않고 데이터 패킷 전달율은 최소 95%이상의 만족할 만한 성능을 보여주고 있고, 지연은 one agent model이 가장 낮은 지연을 보여주고 있다. 그러나 one sink model은 direct transmission model에 비해 안정된 성능을 보여주고 있으나, agent 모델들에 비해 많은 성능 차이가 나는 것을 알 수 있다.

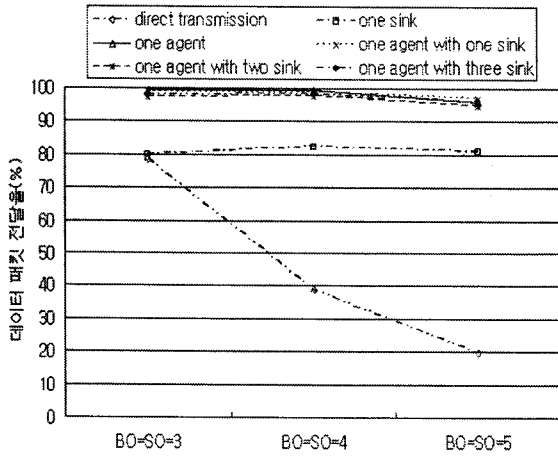


그림 4. BO와 SO 변화에 따른 데이터 패킷 전달률
Fig. 4 Data packet delivery ratio with different BO and SO

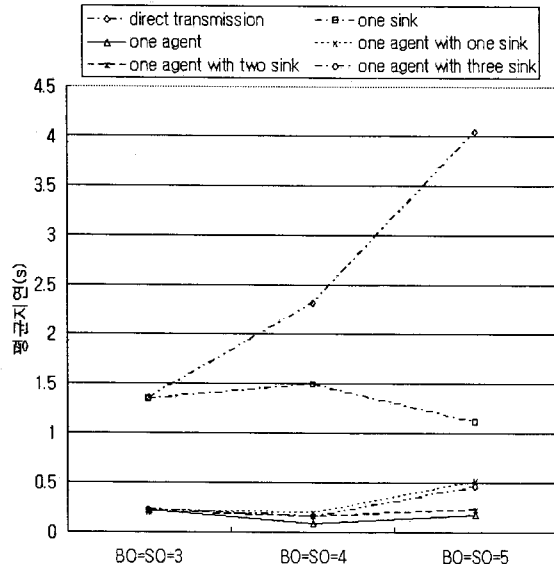


그림 5. BO와 SO 변화에 따른 평균지연
Fig. 5 Mean delay with different BO and SO

그림 6과 그림 7은 관리자 이동 속도 변화에 따른 성능 변화를 보여주고 있다. Direct transmission model과 one sink model은 agent model들에 비해 나쁜 성능을 보여주고 있다. Agent model들은 대부분 비슷한 성능을 보이지만, one agent model이 가장 안정적으로 보인다.

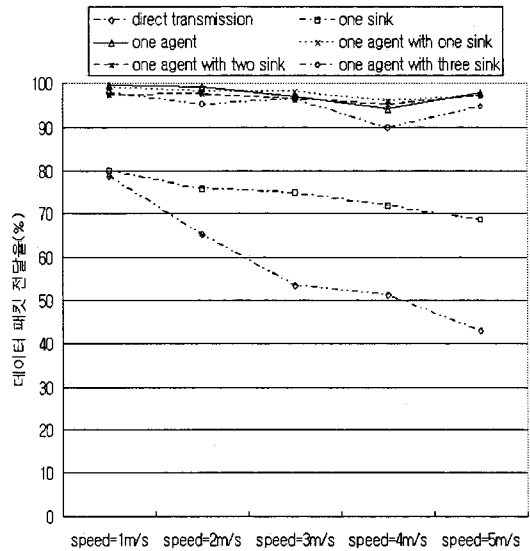


그림 6. Speed 변화에 따른 데이터 패킷 전달률
Fig. 6 Data packet delivery ratio with different speed

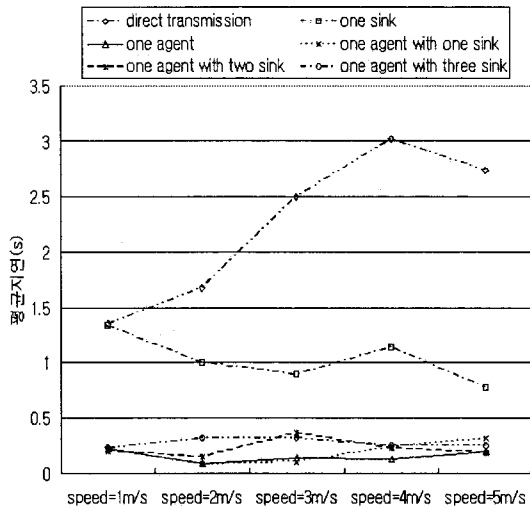


그림 7. Speed 변화에 따른 평균지연
Fig. 7 Mean delay with different speed

One agent model 방식에서는 작업자 노드들이 agent 노드로 센싱 데이터를 전송한 후, agent 노드가 관리자 노드로 전송한다. 반면 다른 agent 모델들은 센싱 데이터들이 sink 노드를 더 거치기 때문에 지연이 더 발생할 수 밖에 없다. 따라서 one agent model이 지연에서 가장 안정적인 성능을 보여주고 있다.

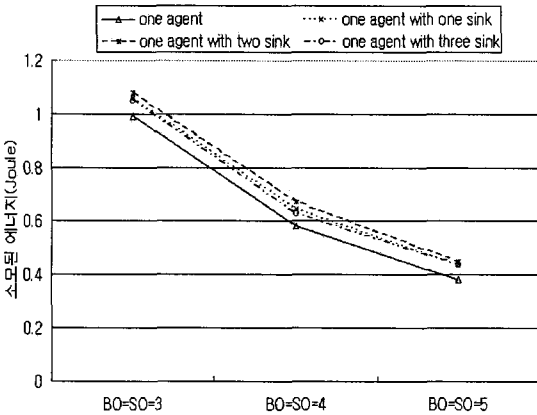


그림 8. BO와 SO 변화에 따른 소모된 에너지
Fig. 8 energy consumption with different BO and SO

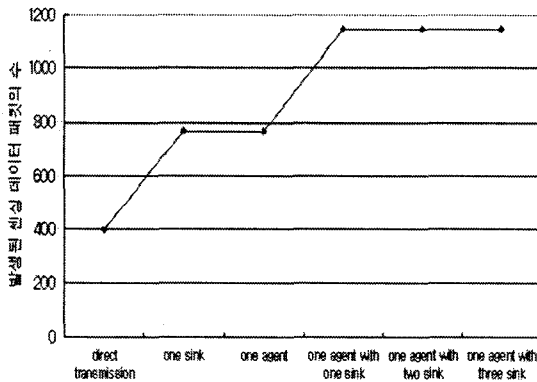


그림 9. 모델별 발생된 센싱 데이터 패킷의 수
Fig. 9 The number of transmitting sensing data packets for the models

Agent model 별로 소모된 에너지를 비교해 보면 그림 8과 같다. Sink 노드가 존재하는 경우, sink 노드가 없을 때 비하여 발생하는 패킷의 수가 두배가 되므로, sink 노드가 없는 one agent model이 sink 노드가 존재하는 다른 agent 모델들보다 소모된 에너지가 적을 것을 알 수 있다. WSN 노드의 특성상 장시간 사용될 경우 에너지 소모 차이는 더 클 것이다.

모델별로 발생된 센싱 데이터 패킷의 수는 그림 9와 같다. Direct transmission model에 비해 sink노드나 agent 노드를 두는 경우, 발생하는 패킷의 수는 두 배로 증가한다. 또한 agent model에서 sink 노드를 두는 경우 sink를 두지 않는 model 보다 발생하는 패킷의 수가 두 배가 된다.

위와 같은 실험결과로 볼 때 agent를 두는 모델이 agent 없는 모델보다 더 나은 성능을 보이고 있다. Agent가 있는 모델 중에서 sink가 없는 one agent 방식이 소모된 에너지와 발생하는 패킷의 수가 가장 적게 소모한다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 대한석탄공사 장성광업소의 채탄 작업장에서 WSN을 적용할 때 one agent model이 가장 우수하다고 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 장성광업소의 채탄 작업을 WSN 기술을 사용하여 채탄 토폴로지를 구성하였다. 관리자 노드가 이동하는 환경하에서, 라우팅 프로토콜은 AODV, MAC은 IEEE 802.15.4와 시뮬레이션은 NS-2를 사용하였다. 그리고 이동하는 관리자 노드로 센싱 데이터를 전송하기에 적합한 모델들을 제안하였다.

시뮬레이션 결과 제안한 모델 중 direct transmission model과 one sink model의 성능은 많이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. Agent를 두는 모델들은 대체적으로 비슷하고, 좋은 성능을 나타내고 있다. 그러나 이 agent 모델 중에서 소모된 에너지를 비교해보면, BO와 SO가 증가할수록 에너지 소모가 감소하며, one agent model이 가장 적은 에너지를 사용하는 것을 볼 수 있었다. 전체 전송된 패킷을 수를 비교하면, agent 모델 중에서 sink를 두는 모델이 sink를 두지 않는 모델(one agent model) 보다 두 배의 패킷 수가 필요하였다.

이러한 실험 결과로부터 장성광업소의 채탄 작업에서 WSN을 도입할 때 본 논문에서 제안한 one agent model을 채택하는 것이 적합하리라 판단된다.

참고문헌

- [1] ZigBee Alliance, "ZigBee Alliance - ZigBee Specification version 1.0," December 2004.
- [2] Canfeng Chen, Jian Ma, "Simulation Study of AODV Performance over IEEE 802.15.4 MAC in WSN with Mobile Sinks," 21st International Conference on AINAW'07
- [3] K. Fall, K.Varadhan, "The Ns Manual(formerly ns

Notes and Documentation)," The VINT Project, UC Berkely, LBL, USC/ISI and XEROX PARC, January 2007.

- [4] IEEE Std. 802.15.4, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs), 8 September 2006.
- [5] IEEE 802 LAN/MAN Stanards Committee, "IEEE Standard, 802.15.4-2003," IEEE Computer Society.
- [6] Jianliang Zheng and Myung J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality? : A Discussion on a Potential Low Power, Low Bit Rate Standard," IEEE Communication Magazine, pp. 140-146, June 2004.
- [7] Jianliang Zheng and Myung J. Lee, "A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4," Sensor Network Operations, IEEE Press, Wiley Interscience, Chapter 4, pp.218-237, 2006.
- [8] Jin-Shyan Lee, " An Experiment on Performance Study of IEEE 802.15.4 Wireless Networks," 10th IEEE Conference on Volume 2, September 2005

저자소개

황 성 호(Sung-Ho Hwang)



1991년 성균관대학교 전자공학과 (공학사)

1993년 성균관대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1996년 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1997년~현재 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학부 부교수

※관심분야: MANET, WSN, 네트워크 설계