무선센서네트워크에서 에너지 효율을 위한 혼합적 라우팅 프로토콜

김진수*

Hybrid Routing protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks

Jin-Su Kim*

요 약 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜은 네트워크 내의 노드들의 에너지를 균등하게 소비하나 고립 노드가 발생하여 에너지 효율을 저해하며, 홉 기반의 라우팅 프로토콜은 대규모 네트워크나 동적으로 변경되는 환경에는 적당하나, 정기적인 플러딩과 싱크 주변 노드들의 급격한 에너지 손실로 인해 네트워크 생존 시간을 줄어들게 한다.
따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 내의 노드들의 제한된 에너지 자원을 균등하게 소모하기 위해 클러스터링 기반의 라우팅 방법을 사용하고 클러스터에 포함되지 않은 고립 노드들을 근접 클러스터에 홉 방식을 적용하였다. 참여 못한 고립 노드들을 클러스터에 포함시킬 때 노드들의 에너지 부하를 균등하게 하기 위해 피보나치수열을 이용하여 클러스터에 참여하는 노드 수를 조절하였다. 본 논문에서 제안한 프로토콜이 기존의 방법에 비해 고립 노드의 수를 줄여 에너지 효율이 높아짐을 보였다.

주제어 : 무선 센서 네트워크, 혼합적 클러스터 기반 라우팅, 홉 기반 라우팅, 에너지 효율, 고립 노드

Abstract The Cluster-based routing protocol is consumed the energy consumption efficiently, but there are many isolated nodes while clustering, so these are impeding energy efficiency. Hop-by-hop based routing protocol is suitable large-scaled network or dynamic environment. However, with the periodic flooding signal and rapid energy loss of near sink nodes, the network life time become shorter.
In this paper, We propose the hybrid routing protocol that combine the cluster based routing method for energy efficiency of nodes and hop-by-hop method for re-joining the isolated nodes and load balance of nodes in the near cluster using fibonacci sequence. Based on the analysis, it is proved that the hybrid routing protocol provided higher energy efficiency and less the isolated nodes than previous methods.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Hybrid Cluster-based Routing, Hop-based Routing, Energy Efficiency, Isolated Nodes

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network; WSN)는 유비쿼터스 컴퓨팅 구현을 위한 기반 네트워크로, 초경량, 저 전력, 제한적인 메모리와 프로세서 등과 같은 자원의 제약성을 갖는 많은 센서들로 구성된 무선 네트워크이다[3]. WSN에서 각 노드마다 센싱된 정보와 전달된 센싱 정보를 싱크(Sink)로 전송해야 한다. 평면적 라우팅 기법인 Directed Diffusion[1]이나 Energy Efficient Directed Diffusion[4] 같은 경우 데이터 수집을 위한 질의를 모든 노드에 전송하고, 질의를 받은 노드들은 적합성 정도 값을 설정하여 경로를 설정하고 이 경로를 이용하여 정보를 전송한다. 이러한 방법은 주기적인 플러딩을 사용함으로 에너지 소모가 급격히 떨어지는 특징이 있으나 동적으로 변경되는 환경에서는 적합하다. 홉 방식은 직접 싱크로 전송보다 에너지 효율이 좋지만 싱크 주위의 노드들이 빠르게 에너지를 소비하는 단점을

*안양대학교 교양학부대학 조교수
논문접수: 2012년 9월 25일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 10월 20일

가지고 있다. 계층적 클러스터링 기반의 라우팅 방법에는 LEACH[5], LEACH-C[6], 3DE_fix[2] 등이 있으며, 이러한 라우팅 기법에서는 센서 노드들의 클러스터를 형성한 후, 자신이 속한 클러스터 헤드(Cluster Head, CH)에게 데이터를 전송하며, 클러스터 헤드는 이러한 정보들을 통합하여 싱크로 전송한다. 클러스터링 기반의 라우팅은 네트워크 내 노드들의 에너지를 균등하게 소비한다는 장점은 있지만 제한된 거리에서 효율적이고 대규모 센서 네트워크 환경에서는 클러스터에 속하지 않는 고립 노드가 발생한다.

따라서 무선 센서 네트워크 내의 노드들의 제한된 에너지 자원을 균등하게 소모하기 위해 클러스터링 기반의 라우팅 방법과 클러스터에 포함되지 않는 고립 노드들을 근접 클러스터에 홉 방식을 이용하여 조인시킴으로써 에너지 효율적인 혼합 라우팅 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다.

2. 고립노드 최소화와 노드들의 로드 밸런스를 위한 라우팅 프로토콜

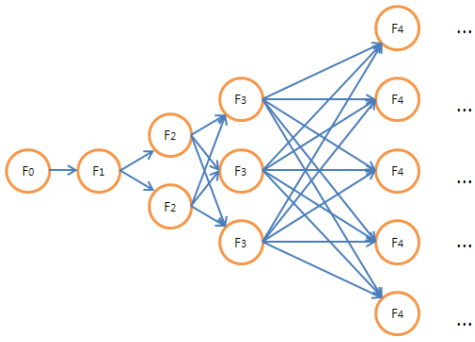
2.1 센싱 정보 전송을 위한 로드 밸런스

기존의 플러딩을 통해 홉 카운트 수를 증가시켜 줌으로써 전체 센서 네트워크에서 각 노드가 센싱 혹은 전달받은 정보를 싱크 방향으로 전달 가능한 노드들을 인식하여 싱크 방향의 홉 카운트가 자신의 홉 카운트보다 적은 노드들에게 전송을 한다. 따라서 싱크 주위의 노드들은 이러한 많은 정보의 송수신으로 인해 가용 에너지를 빠르게 소모된다. 비록 싱크 주위에 노드 밀도를 높여 전체 네트워크의 생존 시간을 높일 수는 있지만, 싱크로부터 바깥부분의 노드 수를 차별적으로 배치하기가 용이하지 않다. 따라서 균등한 노드들의 송수신을 통한 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 피보나치수열을 응용한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 피보나치수열의 일반적인 식은 다음과 같다.

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad (1)$$

이때 $F_0 = 1, F_1 = 1$이다.

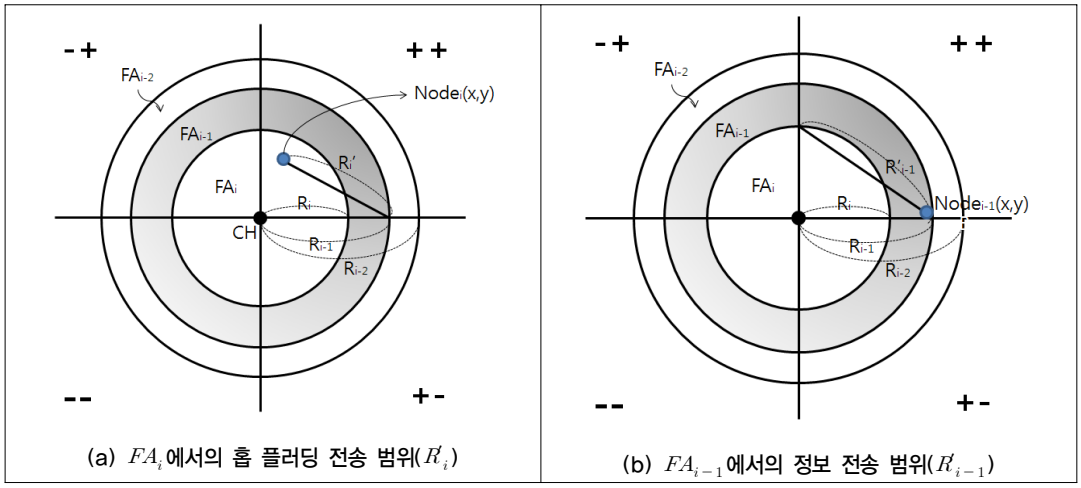
피보나치수열은 선행하는 두 숫자의 합이 다음 합의 수치가 되는 특수한 수열로서 n항과 $n+1$항의 비율은 1:1.618 이고 황금분할(phi, ϕ) 또는 황금률이라 한다[7].



[그림 1] 로드 밸런싱을 위한 노드들의 센싱 정보 전송의 흐름

[그림 1]은 무선 센서 네트워크에 황금비를 적용하여 로드 밸런싱을 위한 노드들의 센싱 정보 전송 흐름을 나타낸다. F_0에서 센싱된 정보는 F_1에 전송되고, F_1에서 센싱 혹은 F_0로부터 전송받은 정보를 F_2 레벨의 두 노드에 균등하게 전송한다. 마찬가지로 F_0에서 F_2까지의 센싱 혹은 전송된 정보는 F_3레벨에 전송되고, 최종적으로 싱크로 전송된다. 여기서 각 레벨에서 센싱 혹은 수신 받을 수 있는 정보들의 빈도수와 다음 레벨로 전송함으로써 각 노드들의 정보 송수신 비율은 황금비에 수렴한다. 물론, 황금비율이 아닌 노드 영역의 2^{-1} 크기를 적용하여 설정하면 각 노드의 에너지 소비 비율은 약 1에 수렴하여 황금 비율에 비해 효율성은 좋아지지만, 대규모 센서 네트워크를 고려하면 클러스터 반경에서 상대적으로 먼 위치에 존재하는 고립 노드들까지 포함하지 못하고 빠르게 수렴하여 결과적으로 성능이 떨어진다. 즉, 2의 거듭제곱 수만큼의 노드들을 홉 간격으로 사용하는 것이 피보나치수열을 사용하는 것보다 클러스터 헤드로부터의 센싱 범위가 좁아져서 고립노드의 발생 빈도를 높일 수 있다.

홉 방식의 경우 싱크 가까운 쪽의 노드들이 센싱과 전송으로 인한 에너지 소비보다 전송으로 인한 에너지 소비로 인해 빠른 손실이 발생한다. 따라서 전체 네트워크의 동작을 마비시키는 사태를 초래한다. 또한, LEACH와 같은 클러스터 기반의 WSN에서는 모든 노드들이 균등하게 에너지를 소비할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 대규모 센서 네트워크상에서 각 클러스터 헤드와 상위의 클러스터 헤드들 사이와 거리, 또는 각 클러스터 헤드와



(a) FA_i에서의 홉 플러딩 전송 범위(R'_i)　　(b) FA_{i-1}에서의 정보 전송 범위(R'_{i-1})

[그림 2] 클러스터 내의 멤버 노드들과 고립 노드들의 로드 밸런싱을 위한 정보 전송 범위

싱크 사이의 거리가 클러스터 내 반경에 비해 훨씬 멀기 때문에 고립 노드의 경우 에너지 전송량은 식 (2)에서 보는 것과 같이 free space 모델이 아닌 multi-path 모델의 수식을 따를 가능성이 커진다. 따라서 대규모 센서 네트워크에서의 고립 노드에 대한 에너지 소비량이 거리 4제곱에 비례하여 계산되므로, 전체적인 생존 시간은 홉 기반에 비해 떨어진다.

$$E_{Tx}(l,d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx} \tag{2}$$

여기서 $d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$ 이다.

2.2 균등한 정보 전송을 위한 센싱 영역 결정

본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 모든 노드들이 센싱과 데이터 전송을 원활하게 함에 있어서 균등하게 에너지를 소비함으로써 전체 센서 네트워크의 생존 시간을 높이려 한다.

[그림 2]에서 FA_i는 클러스터를 구성하는 클러스터 헤드(CH)로부터 일정 반경(R_i)내의 영역을 나타내고, FA_{i-1}은 클러스터에 속하지 못한 고립 노드들이 존재하는 일정 영역을 나타낸다. 여기서 각 레벨에 해당하는 영역을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$FA_n = \pi R_n^2 - \sum_{k=n+1}^{i} FA_k \tag{3}$$

각 노드마다 균등한 정보를 전송하기 위한 피보나치 수열의 황금비(ϕ)를 적용하면 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$\frac{FA_i}{FA_{i-1}} = \frac{FA_{i-1}}{FA_{i-2}} = \phi \tag{4}$$

클러스터의 반경 혹은 현재 레벨의 반경(R_i)을 이용하여 멤버 노드들에 참여 가능한 고립 노드들이 있는 다음 레벨의 반경(R_{i-1})을 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$R_{i-1} = \sqrt{\phi} \times R_i \tag{5}$$

여기서, ϕ는 황금비를 의미한다.

[그림 2 (a)]의 $Node_i(x,y)$에서 균등한 정보전송을 위한 플러딩 거리 계산은 다음과 같다. FA_i의 영역을 통해 FA_{i-1}의 영역에 존재하는 노드들에게 홉 플러딩을 위한 반경값 R'_{i-1}을 계산할 수 있다. 그러나 R'_{i-1}의 거리가 $2\times R_{i-1}$의 크기가 되므로 전송 반경도 클 뿐더러 무의미한 영역까지 영향을 미치므로 효율성이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 FA_i영역을 4등분(++영역, +-영역, -+영역, --영역)하여 계산하였다. FA_i영역을 4등분한 영역 중 하나의 영역 내 최대 플러딩 거리의 범위는 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$R'_i = max\left\{\begin{matrix}\sqrt{(R_{i-1}-|Node_i(x)|)^2 + Node_i(y)^2}, \\ \sqrt{(R_{i-1}-|Node_i(y)|)^2 + Node_i(x)^2}\end{matrix}\right\} \tag{6}$$

단, $i \geq 1$이고, R'_i의 최대값은 $\sqrt{R_{i-1}^2 + R_i^2}$ 이다.

[그림 2 (b)]의 FA_{i-1} 영역의 임의의 노드 $Node_{i-1}(x,y)$에서 FA_i 영역의 모든 노드로 자신이 수집한 정보를 전송하기 위한 최대 범위는 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$R'_{i-1} = max\left\{ \begin{matrix} \sqrt{(R_i - |Node_{i-1}(x)|)^2 + Node_{i-1}(y)^2}, \\ \sqrt{(R_i - |Node_{i-1}(y)|)^2 + Node_{i-1}(x)^2} \end{matrix} \right\} \quad (7)$$

단, $i \geq 1$이고, R'_{i-1}의 최대값은 $\sqrt{R_i^2 + R_{i-1}^2}$ 이다.

2.3 균등한 정보 전송을 위한 알고리즘

본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 모든 노드들이 센싱과 데이터 전송을 원활하게 함에 있어서 균등하게 에너지를 소비함으로써 전체 센서 네트워크의 생존 시간을 높이려 한다. 균등한 정보 전송을 위한 알고리즘은 클러스터 기반 알고리즘처럼 두 가지 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 셋업 단계로 기존의 클러스터 방식처럼 선출된 클러스터 헤드(CH)가 자신의 클러스터에 멤버 노드들을 가입시키기 위한 핵심 단계이다. 즉, CH의 ADV 메시지를 전송하고, 멤버 노드들이 Join 메시지를 전송하고, 마지막으로 CH가 멤버 노드들에게 슬롯 리스트를 전송하는 단계이다. 그러나 이 셋업 단계에서 어떤 클러스터에도 속하지 않는 고립 노드들은 직접 싱크로 전송함으로써 막대한 에너지 손실이 발생한다. 따라서, 고립 노드들이 가장 가까운 클러스터 내의 멤버 노드들의 정보를 파악한다. 즉, 멤버 노드들이 CH로부터 CDMA 슬롯 정보를 습득한 후, 각 멤버 노드들은 자신의 위치 정보와 식 (5)로부터 계산된 다음 레벨의 반경(R_{i-1})을 이용하여 각 멤버 노드들 자신에게 정보를 줄 수 있는 1차 고립 노드들의 영역만큼만 자신의 존재를 알린다. CH로부터 반경 R_{i-1}내에 있는 1차 고립 노드들은 멤버 노드들의 신호를 수신 받아 고립 노드들이 속하는 멤버 노드들에게 Join 메시지를 보낸다. 2차 고립 노드들은 1차 고립 노드들로부터 동일한 과정을 거쳐 클러스터에 참여한다. 두 번째 단계인 안정 단계에서는 멤버 노드들 혹은 멤버 노드들에 Join한 고립 노드들의 센싱 정보 혹은 압축 정보를 자신의 슬롯 시간에 전송받아 싱크로 전송함으로써 CH의 부하는 줄이면서 고립 노드들의 에너지 손실을 최소화하여 전체 네트워크 수명을 높인다.

3. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 혼합적 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜을 구현하기 위한 시뮬레이터는 Visual C++을 이용하여 구축하였다. 기존의 클러스터 기반의 경우 네트워크의 크기($M \times M$)가 커지면 고립 노드의 정보를 직접 싱크로 전송하기 때문에 협소한 크기에서 실험하였다. 본 논문에서는 네트워크의 크기를 $100m$, $200m$, $300m$로 나누고, 각 노드의 개수를 100개에서 500까지 변경하며 실험하여 다양한 경우의 수를 적용하였다. 이 때, 싱크로부터 네트워크 영역까지의 거리에 따른 최적의 클러스터 수(k_{opt})[5]를 식 (8)에 각각 적용하여 클러스터를 형성하였다.

$$k_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \frac{M}{d_{Sink}^2} \quad (8)$$

여기서, N은 네트워크를 구성하는 전체 노드들의 수이고, d_{Sink}는 싱크까지의 거리이고, ϵ_{fs}는 $10pJ/bit/m^2$, ϵ_{mp}는 $0.0013pJ/bit/m^4$, d_0는 88m이다. 예를 들어, WSN의 크기 M을 $100m$, 전체 노드 수 N이 100으로 설정하였을 경우, 이 값들을 식 (8)에 대입하면 최적의 클러스터 수 k_{opt}는 5이다.

〈표 1〉 M=100, N=100 일 때의 고립 노드의 수 비교

실험#	LEACH-C	3DE_fix	3DE_fibo
실험#1	309	197	91
실험#2	252	244	58
실험#3	272	222	63
실험#4	263	337	74
실험#5	264	281	68
실험#6	266	356	56
실험#7	290	243	90
실험#8	229	318	38
실험#9	325	241	89
실험#10	325	286	70
평균	**279.5**	**272.5**	**69.7**

<표 1>은 전체 라운드 동안에 네트워크 크기가 $100m \times 100m$, 전체 노드 수가 100개, 각 클러스터의 반경이 25m일 때 네트워크 생존 시간동안 누적된 고립 노드들의 수를 비교한 결과이다. 본 논문에서 제안한 3DE_fibo 방식이 LEACH-C와 3DE_fix에 비해 고립 노

드의 수가 평균을 기준으로 약 209.8개, 202.8개 줄어들었고, 따라서 고립 노드의 수만큼 클러스터 헤드에 정보를 전송하지 못하고 직접 싱크로 전송해야하기 때문에 많은 에너지 소모를 야기한다.

〈표 2〉 라운드당 평균 고립 노드의 수 비교(M=100)

N	LEACH-C	3DE_fix	3DE_fibo
100개	9.9	9.6	2.5
200개	22.1	20.1	6.3
300개	12.7	13.0	2.2
400개	16.4	16.0	2.7
500개	20.9	20.1	3.5

〈표 3〉 라운드당 평균 고립 노드의 수 비교(M=200)

N	LEACH-C	3DE_fix	3DE_fibo
100개	8.5	9.2	2.5
200개	11.2	11.5	2.3
300개	9.0	8.8	1.3
400개	10.4	10.5	1.5
500개	12.6	13.5	1.8

〈표 4〉 라운드당 평균 고립 노드의 수 비교(M=300)

N	LEACH-C	3DE_fix	3DE_fibo
100개	9.2	9.1	3.0
200개	11.8	12.9	3.0
300개	12.6	11.2	2.1
400개	8.8	7.8	1.1
500개	9.1	9.2	1.3

<표 2>, <표 3>, <표 4>는 네트워크의 크기 M이 각각 100m, 200m, 300m일 때, 네트워크의 멤버 노드들의 수 N이 100개, 200개, 300개, 400개, 500개 일 때의 각 라운드 당 평균 고립 노드의 수를 비교한 표이다. 네트워크 공간이 $100m \times 100m$인 [표 2]의 경우, 제안한 라우팅 기법 3DE_fibo이 기존의 LEACH-C나 3DE_fix에 비해 라운드당 고립 노드의 수가 약 4.7배정도 적게 발생됨을 볼 수 있다. 특히, 네트워크 내의 노드의 수가 300개일 경우 라운드 당 평균 고립 노드의 수가 LEACH-C, 3DE_fix에 비해 5.8, 5.9배 이상 적음을 볼 수 있다. 또한, 네트워크 공간이 $200m \times 200m$, $300m \times 300m$인 경우에도 N이 300개, 400개 일 때, 5.5배, 5.7배, 4.9배, 4.8배 이상 기존의 방법들보다 더 적은 고립 노드의 수가 발생됨을 볼 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 WSN 내의 클러스터 기반에서 클러스터 형성 시 클러스터에 참여하지 못하는 고립 노드들을 효율적으로 관리하여 고립 노드들의 급격한 에너지 소모로 인한 전체 네트워크의 노드들의 에너지 소모 균형을 맞추기 위한 라우팅 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해 전체 네트워크 내의 고립 노드의 수를 줄여 향상된 에너지 소비를 할 수 있었지만, 셋업 단계에서 고립 노드들이 재가입을 위한 정보 교환으로 인해 약간의 시간이 소모되는 단점도 가지고 있다. 그러나 고밀도 무선 센서 네트워크에서 기존의 라우팅 기법에 비해 고립 노드의 수를 줄임으로써 에너지 효율적으로 형성할 수 있음을 보였다. 향후 과제로는 대규모 고밀도 무선센서네트워크에 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜과 홉 방법을 적용하고, 클러스터 형성시의 지연 시간을 최소화시켜 전체 네트워크 성능을 향상시켜야 한다.

참 고 문 헌

[1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann and F. Silva (2003). Directed diffusion for wireless sensor netwroking. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.11, pp.2-16.

[2] J. S. Kim, J. H. Lee, and K. W. Rim (2009). 3DE: Selective Cluster Head Selection scheme for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks. In 2nd ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2009).

[3] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal (2008). Wireless sensor network survey. Computer Networks, vol.52, pp.2292-2330.

[4] S. Zhao, F. Yu and B. Zhao (2007). An Energy Efficint Directed Diffusion Routing Algorithm. International Conference on Computatioal Intelligence and Security, pp.1067-1072.

[5] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan (2000). Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. Proc. 33rd Hawaii Int'l. Conf. Sys. Sci., Jan.

[6] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan (2002). An Application-Specific Portocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. IEEE Trans. Wireless commun., Vol. 1, no.4, pp. 660-670, Oct.
[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Golden_ratio

김 진 수

- 1998년 2월 : 인천대학교 전자계산공학과(공학사)
- 2001년 8월 : 인하대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 정보공학과(공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 교양학부대학 조교수
- 관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 무선 센서 네트워크, 데이터마이닝, 정보검색
- E-Mail : kjspace@anyang.ac.kr