

센서 노드 배터리 충전을 위한 Solar Cell의 완충시간에 대한 연구[†]

(A study on energy harvesting time of Solar Cell
battery for Sensor node)

최 영 숙*, 류 정 탁**, 김 경 기***, 김 희 철****

(Young-Suk Choi, Jeong-Tak Ryu, Kyung Ki Kim, and H.C. Kim)

요 약 유비쿼터스 네트워크와 더불어 무선 센서 네트워크는 다양한 분야에 응용되고 있다. 무선 센서 네트워크의 노드들은 목표 지역에 비치되어 동작하게 되는데 그 공급원으로 대부분 배터리를 사용하고 있다. 배터리는 센서 네트워크의 응용에 제한된 에너지를 가짐으로써 교체나 충전 등의 어려움을 가진다. 따라서 센서노드의 수명을 연장시키기 위해 주변 환경으로부터의 에너지 하베스팅 기술 등이 연구 개발되고 있다. 특히 태양에너지는 다른 환경 에너지에 비하여 방대하고 짧은 시간에 많은 에너지를 얻을 수 있어 최근 널리 연구되어지고 있다. 본 연구에서는 Solar Cell을 이용하여 배터리 충전 및 센서노드를 구동하는 실험을 하고, 수집된 데이터와 배터리의 전압에 대한 분석을 통하여 센서노드를 구동하기 위해 필요한 배터리 충전 시간과 센서노드 동작 가능성에 대하여 확인하였다.

핵심주제어 : 센서 노드, 솔라 셀 충전, 에너지 하베스팅

Abstract Ubiquitous network and wireless sensor networks is being applied in various fields. Located at target areas, node of wireless sensor network uses batteries as a power source. Batteries have a limited energy in sensor network applications. Also, before use, the battery must be charged and It is difficult to replace the battery. Therefore, energy harvesting technology is being researched and being developed for long life of sensor node. Especially, sola energy is being extensively researched. because that can have great amounts of energy than other environmental energy in a short time. In this study, we tested battery charging and recharging, operation of sensor node using Solar Cell. Also, monitoring data gathering and voltage Analysis showed energy harvesting time of Sola Cell battery for sensor node and operation of sensor node.

Key Words : Sensor Node, Solar Cell charging, energy harvesting

1. 서 론

시간과 장소에 구애받지 않고 언제, 어디에서, 누구나 정보가 자유롭게 이용할 수 있는 유비쿼터스 네트워크와 더불어 무선 센서 네트워크는 다양한 분야에 응용되고 있다. 무선 센서 네트워크는 센서 모듈과 네트워크 모듈을 갖는 센서 노드들로 이루어지며 많은 수의 센서 노드들이 목표 지역에 배치되어 유기적

[†] 본 논문은 2009학년도 대구대학교 학술연구지원에 의한 논문임.
* 대구대학교 전자공학과, 제1저자
** 대구대학교 전자공학부, 교신저자
*** 대구대학교 전자공학부
**** 대구대학교 정보통신공학부

으로 동작하는 하나의 네트워크를 이용한다. 따라서 센싱기술, 내환경기술, 저소비전력 기술, 소형화 기술 등이 요구가 되고 있는데 특히 이중에서도 접근하기 어려운 지역에 센서 노드들이 설치된다던지 정보를 수집, 처리, 전송을 하게 됨으로써 수명이 한정된 배터리의 교체나 충전의 어려움이 야기된다[1-2]. 때문에 에너지 공급원에 대한 필요성이 대두되고 센서 노드의 수명을 연장시키기 위한 방법으로 주변 환경으로부터 에너지를 수확하여 전력으로 변환하는 에너지 하베스팅 기술과 자체적으로 에너지를 생산해 내는 마이크로 동력 발생장치 기술 등이 연구 개발되고 있다. 이러한 에너지 하베스팅 기술 중에서도 옥외에서 가장 손쉽게 이용할 수 있고 다른 환경 에너지에 비하여 짧은 시간에 많은 에너지를 얻을 수 있는 태양 에너지를 이용하여 센서노드의 에너지원으로 확보하는 연구들이 진행되고 있다[3-4].

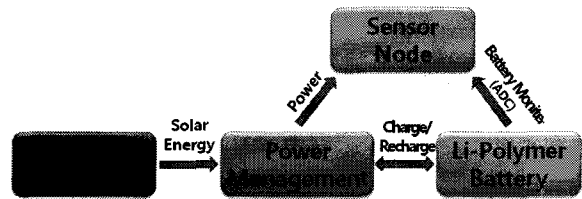
태양전지는 빛 에너지를 전기 에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지로서 금속과 반도체의 접촉면 또는 반도체의 p-n접합에 빛을 쬐이면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 현상을 이용한 것이다. 이러한 태양전지는 방사조도특성과 전압과 전류특성, 온도 특성을 가지는데 기상조건, 설치 장소에 따라 발전량이 변하게 되므로 설치할 때는 일사량, 방향성 및 설치경사각도와 그림자 방지 등의 몇 가지를 고려하여야 한다[5].

이에 본 논문에서는 Solar Cell을 이용하여 배터리를 충전하고 센서노드를 구동하는 실험을 하였다. 센서노드는 실외의 온도와 조도를 센싱하여 전송하게 되는데 여기에서 수집된 데이터와 배터리의 전압을 분석함으로써 센서노드를 구동하기위한 배터리를 충전을 위해서는 얼마만큼의 시간이 필요하며 센서노드 연속동작 가능성에 대하여 확인하였다. 본 실험을 통하여 2500 mAh 배터리를 완충하기 위해 4.34W Solar Cell을 이용하면 약 2.5시간이 소요되며 태양이 일출되고 2시간이후부터 충전 전압이 급상승함을 알 수 있었다.

2. 시스템 구성 및 실험 방법

2.1 실험 모듈 설계

센서노드의 전원공급을 위한 Energy Harvesting Module로는 <그림 1>과 같이 구성하였다. 여기서 Solar Cell을 통해 수확된 Solar Energy 충전 관리를 위해 사용된 Power Management는 Microchip社의 MCP73841을 사용하였으며 Charge Current Control Resister와 Solar Cell 역전류 방지를 위한 다이오드 소자를 추가하였다. 수확된 Solar Energy를 저장하기 위한 배터리는 Exa社의 리튬 폴리머 배터리 2개를 병렬로 연결하여 사용하였으며 배터리충전을 위한 Solar Cell은 DSP822D모델 2개를 병렬로 연결(4.34W, 7.84V)하여 사용하였다.

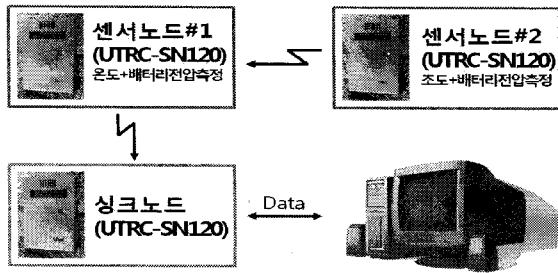


<그림 1> Solar Energy Harvesting Module의 구성

사용된 Solar Cell의 정격출력은 2.17W 이며 사이즈는 135mm×140mm이다. Solar Cell을 통하여 Solar Energy를 수확하고 Power Management를 통하여 리튬 폴리머 배터리를 Charge/Recharge 한다. 이렇게 Charge/Recharge 되는 배터리의 전압은 Sensor Node를 통하여 모니터링 되어 진다. 센서노드 작동 중에 태양에너지가 충전 및 방전되는 상황 즉, 일상적인 상황과 같은 환경을 구현하기 위하여 2개의 센서노드와 싱크노드는 비교적 간단하게 측정할 수 있는 대기 중의 온도 데이터와 조도 데이터를 서로 주고받으며 대기의 온도 및 조도 데이터를 수집하도록 프로그램 하였다.

2.2 센서네트워크 구성

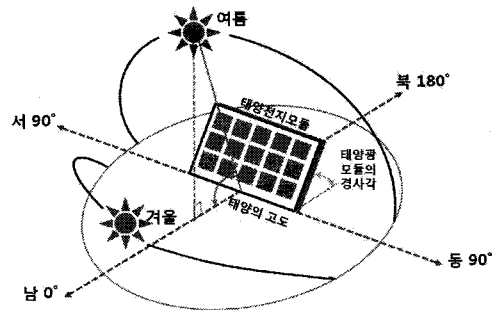
센서노드는 유비쿼터스 신기술 연구센터(UTRC)의 센서노드 SN120(CC2420+ATmega128)에 조도 및 온도 측정을 위한 센서모듈 SM110을 추가하여 사용하였으며 조도, 온도, 배터리전압 데이터를 전송하게 된다.



<그림 2> 센서네트워크 구성도

센서노드#1과 센서노드#2는 Solar Energy Harvesting Module로부터 전원을 공급받는 한편 싱크노드는 PC와 연동되며 PC에서 전원을 공급 받게 된다. 센서네트워크 구성은 <그림 2>와 같으며 여기서 센서노드 #2는 옥외에서의 조도와 배터리 전압을 센싱하여 그 데이터를 센서노드 #1로 보내면 센서노드 #1은 옥외의 온도와 배터리 전압을 함께 센싱하고 센서노드#2로부터 수신된 데이터와 함께 싱크노드로 중계한다. 싱크노드로 수집된 데이터들은 UART통신으로 PC로 전송되어 PC모니터링을 위해 제작된 응용프로그램에 표현하고 Microsoft Office Access로 DB화 하였다.

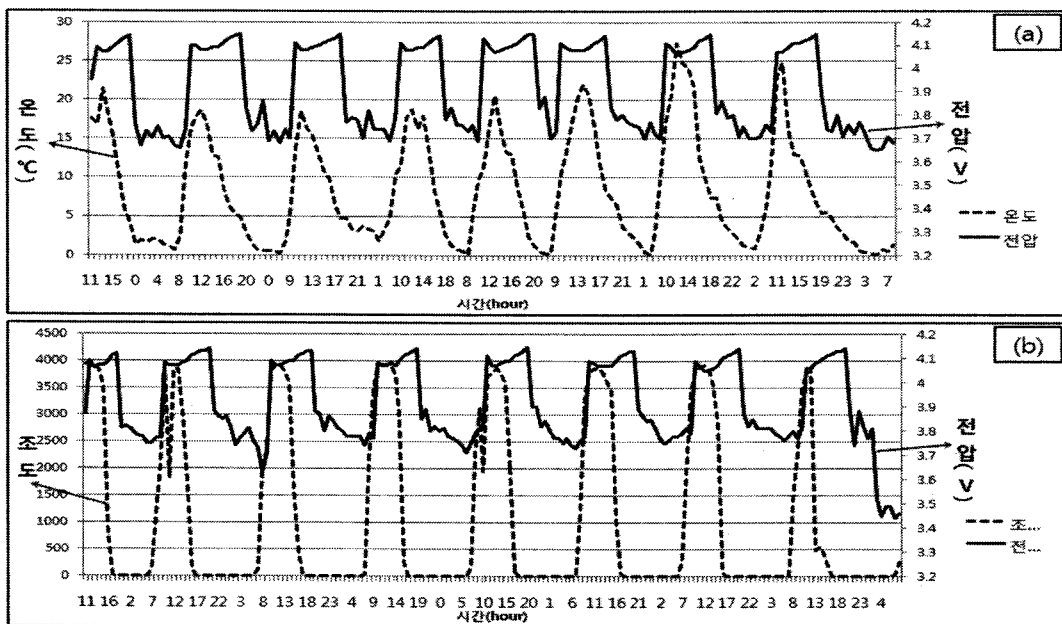
2.3 실험방법



<그림 3> Solar Cell 설치방향과 경사각

센서노드 #1과 #2는 각각 옥외의 온도와 조도를 측정하고 Solar Energy Harvesting을 위하여 본교 건물의 옥상에 설치하였으며 최고층인(6층)에 위치한 Lab실에 싱크노드를 설치하고 모니터링프로그램을 탑재한 PC와 USB케이블로 연결되어 UART통신을 하도록 하였다. 여기에서 옥외에 Solar Energy Harvesting Module이 설치되기 위해서는 일사량과 방향성 및 설치경사각도에 대하여 고려해야 한다.

일사량은 지표면에 도달하는 태양광선에 직각으로 놓은 1cm²의 넓이에 1분 동안 태양에서 오는 빛의 복사량으로 정의되며, 우리나라는 1200W/m²~1500W/m² 정도로 비교적 높은 일사량을 보인다. 국내 주요 지역의 지역별 연평균 일사량 자료에 의하면 대구 지역의 연평균 일사량은 151.78MJ/m²이다. 지구는 지축이 23.5



<그림 4> 센서노드 #1과#2의 8일간의 모니터링 결과

도로 기울어져 자전과 공전을 하므로 태양의 고도가 매일 달라지는데 겨울에는 경사 각도를 설치지역의 위도에서 +15°, 여름철에는 -15°를 적용하여야 한다. 본 실험에서는 기상청에서 제공되는 대구 지역 위도인 34.5°를 기반으로 10여 년 간의 일사량 분석 자료를 참고하여 남향으로 약40°~45°로 Solar Cell을 설치하였다[5].

3. 실험결과

Solar Energy Harvesting Module을 이용한 센서노드의 충전 및 동작 유지 실험을 11월18일부터 11월25일까지 약 8일 동안 실시하였다. PC모니터링 응용 프로그램을 통하여 센서노드에 장착된 온도센서를 통하여 옥외의 온도변화와 조도변화를 측정하였으며 2개의 센서노드의 배터리 전압 변화도 함께 모니터링 하였다. <표 1>은 8일간의 실제 기상 정보를 정리한 것이다. 센서노드의 데이터 획득시간은 2초로 설정하여 수집하였으나 많은 데이터의 양으로 인하여 한 시간 단위로 수집된 온도와 배터리전압을 샘플링 하였다.

<그림 4>의 (a)는 8일 동안의 센서노드 #1의 실험 결과이며 온도와 배터리 전압의 전체적인 변화를 보여주고 있다. 센서노드 #2도 센서노드 #1과 같은 방법으로 수집된 데이터를 샘플링 하였다. 그림 4의 (b)는 센서노드 #2에 의해서 수집된 조도와 전압 변화에 대한 결과이다. 전압 값의 상승주기와 함께 배터리의 전압이 따라 움직이고 있음을 알 수 있다. 조도와 온도의 상승구간이 전압의 상승구간과 유사함은 보였으나 실외 온도 또는 조도가 높다고 하여 충전시간이 크게 짧아 지거나하는 영향성은 보이지 않는다.

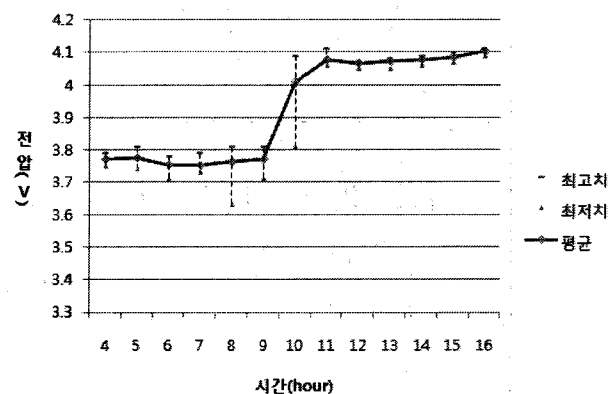
태양 에너지는 두 가지 특징을 가지는데 그 첫 번째가 주기성이다. 태양은 하루에 한 번씩 뜨고 짐에 따라 충전과 방전을 반복하게 된다. 이 하루를 우리는 수집 주기라고 하며, 매 수집 주기마다 공급되는 태양 에너지를 예상 할 수 있다. 두 번째로는 역동성을 가진다. 즉 태양에너지는 날씨나 계절의 변화 등의 환경에 따라 계속적으로 변화한다[7-8]. 8일 동안 2,500mAh 리튬 폴리머 배터리는 전압이 3.45~4.2V로 충·방전을 반복하면서 센서노드 #1과 #2는 정상동작을 하였

<표 1> 8일(11월18~11월25일)간 기상정보

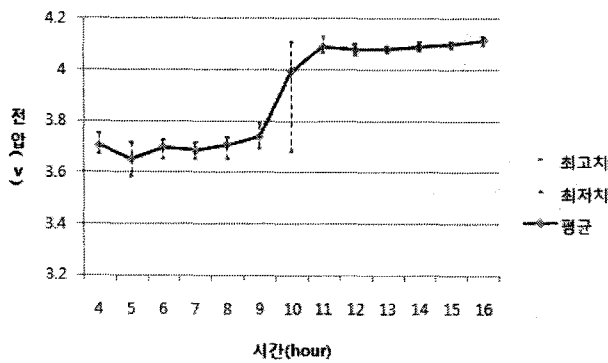
일수	날씨	평균 기온 (°C)	최고 기온 (°C)	최저 기온 (°C)	평균 운량	일 강수량 (mm)
1	맑음	-0.6	3.1	-4.3	1.8	-
2	구름 조금	1.8	5.9	-0.7	3.8	0.0
3	구름 많음	1.4	4.8	-2.0	7.3	0.5
4	맑음	-0.1	3.8	-3.4	0.8	-
5	구름 많음	3.3	6.8	-1.0	7.5	1.0
6	구름 조금	7.5	12.3	4.1	4.4	-
7	맑음	8.6	13.5	4.8	1.0	-
8	구름 조금	5.9	7.5	4.4	5.3	1.5

으며 태양 고도가 가장 높고 일사량이 최대가 되는 남중시에 배터리의 전압 값이 약4.1V이상의 값을 유지하였다.

우리는 본 실험을 통하여 태양 에너지의 주기성을 확인 할 수 있었으며, 8일 동안 리튬 폴리머 배터리의 전압이 11월 중순경의 일몰 시각인 약 17시15분경보다 1시간 정도가량 늦은 18시경에 센서노드 #1과 #2 모두 4V이하로 떨어지기 시작하는 것을 관찰 할 수 있었다. 4V이하로 떨어진 배터리의 전압은 익일의 일출 시간보다 약 3시간 늦은 10시경에 4V이상으로 전압이 상승되었다. 하루의 주기 동안 배터리 전압은 평균 3.8V정도 까지 방전이 되며 다시 태양에너지에 의해서 약 12%정도 충전되었다. 저녁에 방전된 전압이 완전히 충전되기 위해서는 일정한 시간이 필요함을 알 수 있다.



<그림 5> 센서노드#1의 전압상승 구간



<그림 6> 센서노드#2의 전압상승 구간

태양에너지의 수확은 날씨, 일몰/일출시간, 지역 및 계절에 따라 차이가 있지만 대개 일출과 함께 시작하여 일조량이 가장 많은 정오에서 오후1시 사이에 51%로 최대가 되고 일몰 후 에너지 수확을 마치는 일일 주기를 가진다[9]. 본 실험으로 수집된 데이터를 통하여 <그림 5>, <그림 6>과 같이 8일 동안 센서노드 #1과 #2의 센서노드를 부조시간동안 구동하기 위해 방전되었던 리튬 폴리머 배터리의 전압이 오전 9시~12시 사이에 약 3.45에서 4.1V이상으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 해가 뜨지 않는 시간, 즉 태양에너지가 거의 0상태인 시간을 부조시간이라 하겠다.

$$\text{완충시간}(B_f) = \frac{\text{배터리용량} \times \text{배터리전압}}{\text{Solar Cell 전력}} \quad \text{식(1)}$$

본 실험에서는 배터리전압이 4.2V이고, 배터리용량이 1250mAh의 리튬 폴리머 배터리 2개를 병렬로 사용하였으며 4.2W의 Solar Cell을 사용하였다. 따라서 2500mAh 배터리를 완충하기 위해서는 위 식(1)과 같이 계산되어지며, 약 2.5시간이 필요함을 알 수 있다. 일출시간이 오전 7시경인 것에 반해 오전 9시경 정도부터 전압상승을 눈에 띄게 확인할 수 있다. 약 12시경 이후부터 리튬 폴리머의 배터리가 4.2V에 가까운 전압까지 상승 및 유지하는 것을 확인할 수 있다. 8일간 센서노드 #1과 #2에 사용된 리튬 폴리머 배터리를 완충하는 데에는 짧게는 약2.1~2.7시간 정도로 소요되었으며 식(1)을 통한 계산치의 완충시간과도 유사함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 Solar Cell을 이용하여 배터리 충전 및 센서노드를 구동하는 실험을 하였다. 센서노드 #1과 #2로 수집된 센싱 데이터와 배터리의 전압을 분석함으로써 센서노드의 배터리 충전을 위해서는 일정 일조시간이 필요하며 Solar Energy Harvesting을 통하여 센서노드의 배터리충전이 가능하였으며 정상 동작함을 확인하였다. 센서노드를 구동하기 위한 배터리 충전시간에 대한 실험치는 약2.1~2.7시간이고 완충시간에 대한 계산치는 2.5시간으로 거의 일치한다. 따라서 4.2W의 Solar Cell을 사용하게 될 경우 약 2.5시간 내외에 배터리의 충전이 이루어진다. 한국의 평균 일조 시간은 기상청의 통계자료에 의하면 약 3.5시간으로 용량이2500mAh이고 전압이 4.2V인 배터리를 사용하게 될 경우 3W의 전력을 가지는 Solar Cell을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 약8일의 단기간의 실험결과 이므로 하루 종일 태양이 비치지 않는 부조일수에 대하여 크게 고려하지 않았다. 만약 부조일수의 빈도에 따라 배터리의 완충시간과 적합한 Solar Cell의 선정이 달라 질 수 있을 것으로 생각된다. 차후 장기간에 걸친 Solar Energy Harvesting을 적용한 무선센서 네트워크에서의 센서노드 배터리충전에 관한 연구와 부조일수의 빈도가 현저히 높은 장마기간에 대한 실험이 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 박현식, "WSN(Wireless Sensor Network) 기술동향", 홈네트워크 서비스 및 기술동향, 44HN FOCUS vol.11, TECH MARKET.
- [2] 남용섭, 정하경, 권태경, 최양희, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 인지 라우팅 프로토콜", 서울대학교.
- [3] 채동현, 한규호, 임경수, 안순신. "센서 네트워크의 개요 및 기술동향", 정보과학회지 제22권 제12호, pp.5~12, 2004. 12.
- [4] 유병곤, "MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술", 전자통신동향분석 제23권 제6호, 2008. 12.

[5] 박용태, “태양광발전의 개요와 태양광발전소의 설계”, (주)대우엔지니어링, 에너지/환경분야.

[6] (주)코린스, <http://www.kkkk.com/>

[7] 노동건, 윤익준, “태양 에너지 기반 센서 시스템을 위한 효율적인 에너지 관리 기법”, 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제7호, 2009. 7.

[8] Kansal, A., Hsu, J., Zahedi, S., Srivastava, M.B. “Power management in energy harvesting sensor networks”, ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 6(4), 1-38 (2007).

[9] 신용선, 정래혁, 고재환, 전종택, “우리나라 대용량 태양광발전 현황 및 이용률 분석”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2008.11.7.

[10] (주)한국에너지공사, <http://www.keckorea.com/>



최영숙 (Young-Sook Choi)

- 준회원
- 대구대학교 전자시스템공학과 학사
- 대구대학교 전자공학과 석사과정
- 관심분야 : 센서시스템, 임베디드 시스템



류정탁 (Jeong-Tak Ryu)

- 준회원
- 영남대학교 전자공학과 학사
- (일)OSAKA Univ. 전자공학과 석사.
- (일)OSAKA Univ. 전자공학과 박사.
- 대구대학교 전자공학부 교수.
- 관심분야 : 센서시스템 및 나노전자기술.



김경기 (Kyung Ki Kim)

- 준회원
- 영남대학교 전자공학과 학사
- 영남대학교 전자공학과 석사
- Northeastern University, Ph.D in Computer Engineering.
- 대구대학교 전자공학부 전임강사
- 관심분야 : 시스템 온 칩 (SoC), 저전력 (Low Power) 회로 설계



김희철 (H.C. Kim)

- 준회원
- 연세대학교 전자공학과 학사
- Univ. of Southern California, MS in Computer Engineering.
- Univ. of Southern California, Ph.D in Computer Engineering.
- 대구대학교 정보통신공학부 교수.
- 관심분야 : 지능형 컴퓨터, 무선센서네트워크

논문접수일 : 2010년 10월 20일
 1차수정완료일 : 2010년 12월 26일
 게재확정일 : 2011년 01월 05일