

스마트 그리드 수요 반응 시스템의 구현에 관한 연구

박주현*, 황유민*, 김진영*, 이재조**

A Study on the Implementation of Demand Response System in Smart Grid

Ju Hyun Park*, Yu Min Hwang*, Jin Young Kim*, Jae Jo Lee**

요 약

스마트그리드는 전력망에 정보기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지효율을 최적화하며 새로운 부가 가치를 창출하는 차세대 전력망이다. 본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에서 수요반응 통신시스템에 사용되는 프로토콜을 알아보고 수용반응 프로토콜을 이용한 수요반응 시스템을 구현하고 에어컨 제어를 통한 전력감소를 하는 수요반응 시나리오를 실험하였다.

Key Words : Smart Grid, Demand Response, OpenADR 2.0, Device Control, Energy Interoperation

ABSTRACT

The smart grid is a next-generation power grid to create a new value-added information technology. Power providers and consumers exchange information in real-time bi-directional, and optimize energy efficiency with using the smart grid. This paper describes the concept of demand response of the communication system used in the protocol, implementation of demand response systems with demand response scenarios for power reduction through the air conditioning control.

I. 서 론

최근 전 세계적으로 여러 국가들과 기업들이 과거 독점적이고 수직적인 에너지 운영체제에서 벗어나 에너지 효율을 극대화하고 수요 측의 역할이 더욱 중요해질 수 있는 차세대 수용반응 프로그램에 대한 많은 관심을 나타내고 있다.

스마트 그리드(Smart Grid)를 구성하는 다양한 요소 중 수요반응(DR : Demand Response)은 기존의 소비자들이 능동적 전력시장 참여자가 되어 에너지 사용량과 발전을 관리하는 역할을 수행하는 것으로, 스마트 그리드 운영을 위한 핵심적인 개념이라 할 수 있다. 현재 국내에서는 이러한 수요반응의 일환으로 ISO(Independent System Operator)가 수요자원시장을 개설함으로써 시장 참여자들의 전력 소비 감소 및 피크 부하의 절감을 유도하고 있다. 또한 ISO의 수요자원시장의 참여 자격에 미달되는 말단 수용가들은 부하관리사업자를 통하여 간접적으로 수요자원시장에 참여하고 있다.

이 때 부하관리 사업자는 자신의 수익 최대화를 목표로 ISO의 수요자원시장에 참여함과 동시에 말단 수용가들의 특

징을 고려하여 다수의 수요반응 프로그램을 운영하여야 할 것이다. 이러한 수요자원시장에 참여하기 위해서는 표준 통신 프로토콜이 정의되어야 한다.

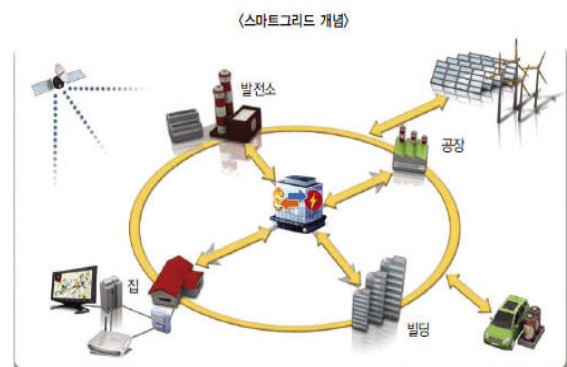


그림 1. 스마트그리드 개념.

OpenADR은 개방형 자동수요반응(Open Automated Demand Response)을 뜻하며, 지능형 수요반응에 적용되는 표준 통신 프로토콜이다. 전력공급자와 소비자 간 양방향 통신을 가능케 함으로써 송전과 배전의 효율성을 극대화하는 게 주목

* 본 연구는 한국 전기연구원의 스마트 홈을 위한 에너지 그리드 반응 시스템 기술개발 사업의 연구결과로 수행되었음 (10041779)

*광운대학교 전기공학과(juhyun@kw.ac.kr, yoomin2046@naver.com, jinyoung@kw.ac.kr), **한국전기연구원 (jjlee@keri.re.kr)

접수일자 : 2015년 1월 25일, 수정완료일자 : 2015년 2월 15일, 최종 게재 확정일자 : 2015년 2월 25일

적이다. 보통 스마트그리드 통신은 인터넷·무선랜·지그비·전력선통신(PLC) 등의 수단으로 잘 알려져 있다. 오픈ADR은 이 같은 물리적 통신방식이 아닌 수요반응(DR) 신호 교환을 위한 응용계층의 표준기술이며, 기존의 수동작업을 통한 수요 반응을 대체하는 방법이다. 오픈ADR을 적용함으로써 전력공급자가 실시간으로 수요관리 명령을 내렸을 때, 소비자가 이에 대응해 자동으로 전기사용량을 줄이는 지능형 수요 반응을 구현할 수 있게 된다.

본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에 지능형 수용반응에 적용되는 표준 통신 프로토콜인 OpenADR을 소개하고 OpenADR을 이용한 수요반응 시스템 설계를 하고 에너지소비 감축 실험을 진행하였다.

II. OPENADR 2.0

옵션거래의 경우, 각각의 파티들의 특정거래에 대한 부수적인 수행약속을 호출하여 실행한다. <그림 2>는 옵션 거래에서의 역할 분배를 나타낸다. 이러한 옵션거래의 종류에는 수요반응, 부가 서비스, 에너지 옵션 거래 등의 형태가 있으며, 서비스를 제공하는 당사자를 Promisor, 구매자를 Promisee로 표현한다. EI 옵션거래에서의 대표적인 운용방식 중 하나인 수용반응 작용에서는 각 파티를 정보를 전송하는 VTN(Virtual Top Node)와 VEN(Virtual End Node)로 나타내며, 일반적인 거래에서와 마찬가지로 수평적인 관계를 가진다. 이는 VTN과 VEN의 역할이 고정되어 있지 않고 VTN이 VEN이 될 수도 VEN이 VTN이 될 수도 있다는 것을 의미한다. 그림 3 수요반응 거래에서 나타날 수 있는 각 구성원들의 구조도이다. 이 구조도에서 각각의 역할은 <표 1>과 같다.

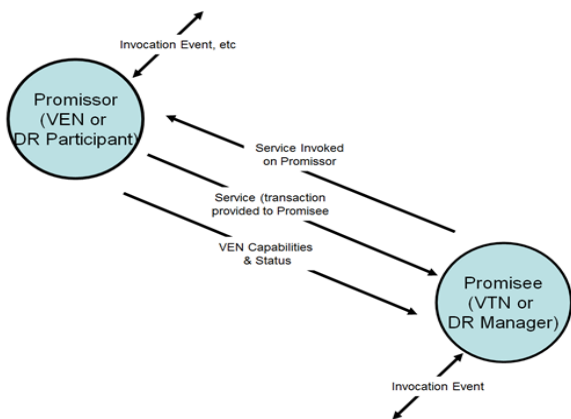


그림 2. 옵션 거래에서의 역할 분배.

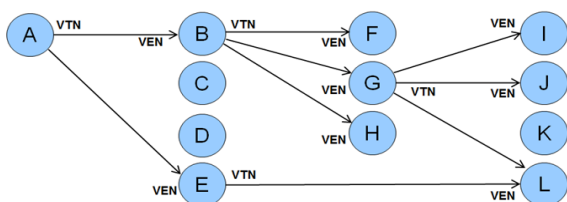


그림 3. 수요반응 상호작용 구조도.

표 1. 각 Party별 역할 분배.

Label	Structure Role	Possible Actor Names
A	VTN	System Operator, DR Event Initiator, Microgrid controller, landlord
B	VEN (wrt A), VTN (wrt F, G, H)	Aggregator, microgrid element, tenant, floor, building, factory
G	VEN (wrt B), VTN (wrt I, J, L)	Microgrid controller, building, floor, office suite, process controller, machine
L	VEN (wrt G and wrt E)	Microgrid element, floor, HVAC unit, machine

OpenADR 2.0 표준 전송 및 유틸리티 제공 업체와 고객 사이에 DR 신호의 수신을 용이하게 하는 통신 인터페이스 프로토콜을 정의한다. 이것은 미리 프로그램 DR 전략을 통해 DR 자동 제어 할 수 있도록 설계되고, DR 서비스는 주어진 스케줄에 따라 수행된다. OpenADR 2.0은 HTTP 방법을 이용하여 웹 서비스를 운영하고 확장 마크업 언어 (XML) 포맷을 적용하여 DR 신호 정보를 표현한다. 또한, 인터넷과 같은 임의의 IP 기반 통신 네트워크에서 기능하는 공통 언어를 사용한다. OpenADR 2.0 프로토콜 DR 서비스의 적용 범위에 따라 프로파일이 포함 A 및 B로 분류한다. OpenADR의 2.0B 프로파일이 최근에 완성되었고, 다양한 기능이 추가되었다. OpenADR 2.0은 가상 상단 노드(VTNs) 및 가상 중단 노드(VENs)의 정의를 사용한다. 통신하기 위하여 OpenADR 2.0을 사용하는 행위자들 사이의 모든 상호 작용에 있어서, 한 행위자는 가상 상단 노드로 지정되고 나머지의 다른 행위자는 가상 중단 노드로 지정된다. 모든 통신은 하나의 VTN 그리고 하나 혹은 그 이상인 VEN's 사이에서 이루어진다. OpenADR 2.0에서는 P2P 통신이 없다.

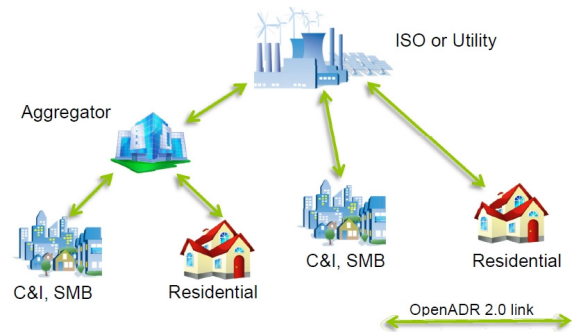


그림 4. OpenADR 구조도.

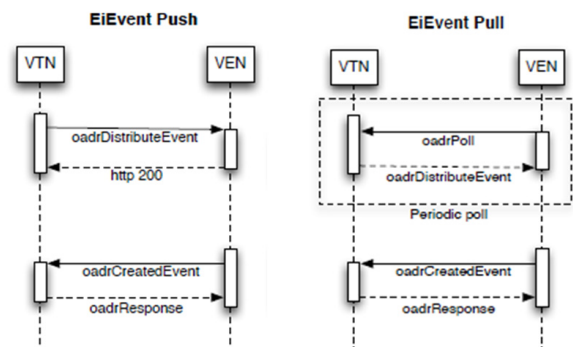


그림 5. OpenADR 통신모드.

즉, VTNs는 다른 VTNs들과 직접 통신하지 않으며 마찬가지로 VENs도 다른 VENs들과 직접 통신하지 않는다. OpenADR은 <그림 5>와 같이 PUSH모드와 PULL모드 2가지 전송 방법이 있다. PUSH 모드에서는, VTN에서 VEN으로 메시지를 발송할 수도 있다 (PUSH 됨). 이것이 HTTP 상에서 OpenADR2를 실행하는 가장 효율적인 방법이지만, VEN이 네트워크 방화벽 뒤에 안에 있는 경우에는 기술적인 어려움을 가져온다. PULL 모드에서는, VEN이 VTN을 향하여 모든 작업을 시작한다. 이것은 “폴링” 모드로서 생각될 수 있으며, 이 경우에 VEN은 주기적으로 VTN에게 업데이트를 요청한다. PULL 모드는 VEN 상에 있는 HTTP 서버에 대한 요건을 제거하며, VEN의 앞에 있는 네트워크 방화벽의 가능성이 제시하는 기술적인 한계를 회피하게 한다. 그렇지만, PULL 모드는 제한된 폴링 주파수에 기인한 지연시간과 대역폭 증가라는 자체적인 한계를 가지고 있다.

이 논문은 OpenADR 2.0A 프로파일 표준에 따라 DR 서비스 동작을 설명한다. 모든 이벤트는 DR 네 가지 DR 수준으로 구성하고, 부하 감소량은 이 수준에 따라 결정된다.

III. 모의실험

3.1 OpenADR2.0a 서버 구성

본 장에서는 OpenADR2.0a에 따르는 서버를 구성하였다. 기본적으로 OpenADR2.0은 HTTP를 이용하여 동작하기 때문에 서버는 HTTP 서버로 동작해야 한다. 따라서 상용 웹 서버 중 하나를 구성하여야 하며 여기서는 윈도우즈에서 제공하는 IIS를 사용하였다. 또한 프로그래밍 언어는C#을 이용하였으며 데이터 베이스는 MSSQL을 사용하였다. 상세 서버 사양은 표 2과 같다.

서버의 역할은 VEN이 보낸 oadrRequestEvent 메시지를 xml 파서를 통해서 파싱하고, VEN의 ID 및 필수 정보를 뽑아낸다. 그 후 필요한 oadrDistributeEvent 메시지를 xml로 생성하고 전송하게 된다. 또 그 이후 VEN이 oadrCreatedEvent 메시지로 이벤트의 처리 상황을 보고하게 되면 이를 확인하고 oadrResponse 메시지를 생성해 응답을 보내주게 된다. 이 절차가 모두 끝나고 나면 VEN은 이벤트에서 정해진 시간에 해당 수요반응 동작을 수행하게 되고 서버는 어떤 VEN이 어떤 이벤트에 참여할지 그 정보를 저장하고 있게 된다.

표 2. OpenADR2.0a 서버 사양

구분	내용	비고
운영체제	Microsoft 서버2012	
웹서버	IIS	v7.0
프로그래밍언어	C#	.NET Framework 4.0

3.2 모의시뮬 시나리오

<그림 6>은 DR 메시지를 주고받는 시나리오를 나타낸다. PULL모드로 동작하는 DR에서는 VEN이 주기적인 Poll을 통하여 VTN에게 이벤트를 요청하게 된다. 요청을 받은 VTN은 하나 혹은 그 이상의 oadrEvent 요소들을 사용하여 oadrDistributeEvent 페이로드에 담겨서 전달된다.

oadrDistributeEvent 페이로드는 다음과 같은 구성 요소들을 갖고 있다. 요청 및 포함되어 있는 모든 이벤트들을 유일하게 식별할 수 있는 requestID, 요청을 발송하는 VTN을 확인하는 vtnID, 제로 혹은 그 이상인 oadrEvent 요소들을 포함한 메시지를 전달하게 된다. 수신된 하나 혹은 그 이상의 이벤트가 응답을 필요로 하는 경우에는, VEN은 oadrCreatedEvent 요소를 생성하고 저장하며 VTN에 이를 게재한다. oadrResponse 요소에는 응용 계층 단계의 responseCode 및 responseDescription 그리고 requestID가 포함된다. eiResponses 요소에는 각 이벤트에 해당되는 하나 혹은 그 이상의 eventResponse 요소들이 포함된다. 이들은 thequalifiedEventID를 사용하여 특정 이벤트에게 매칭되는데, 이 qualifiedEventID에는 eventID 및 modification Number가 포함된다. optType는 주어진 이벤트에 대한 VENs 성향을 나타내기 위하여 “optIn” 혹은 “optOut”의 값을 가질 수도 있다. “optIn”은 수신된 DR event에 참여를 할 때를 나타내고 “optOut”은 수신된 DR event에 참여를 하지 않을 경우를 나타내는 값이다.

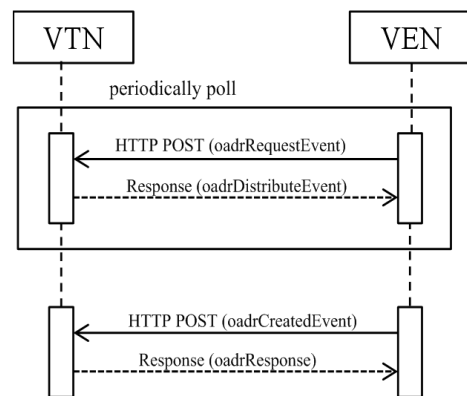


그림 6. DR message sequence diagram.

IV. 실험결과

에어컨을 수요반응(DR) 서비스를 위한 시뮬 이벤트에 대하여 적용함으로써 그 효과를 평가하였다. 공급자가 OpenADR 형태의 DR 신호를 보내면, 이 신호를 해석하여 이에 따른 에어컨 제어 신호를 생성하여 이를 게이트웨이 통신 모듈을 통하여 가전 기기로 보내 전력소모를 줄이도록 설정하는 것이다. <그림 7>은 Home Area Network 구조를 나타낸 것이다. Load Control Device는 실험에서 에어컨을 사용하였다.

<그림 8>은 수요반응 에어컨 제어 및 전력계측을 위한 S/W이다. <그림 9>는 수요반응 메시지를 통한 에어컨 제어를 통한 소비전력의 변화를 나타낸다. 이 실험은 OpenADR 2.0a를 통한 실험으로 OpenADR 2.0a에 정의된 네 가지의 DR 메시지를 각각 Normal, 25% 전력소비 감축, 75% 전력소비 감축, 정지로 구분하여 실험을 하였다. <그림 9>에서 파란색 점선은 평상시 에어컨 소비전력을 나타내고 빨간색 선은 수요반응을 통하여 30분 간 75%의 전력소비 감축명령을 받았을 때의 소비전력을 나타낸다. <그림 9>의 면적을 통하여 에어컨 소비전력을 비교하면 75% 전력소비 감축 DR 이벤트를 시행하였을 때의 전력소비가 감축 이벤트가 없을 때의 25% 전력소비를 하는 것을 확인 할 수 있다.

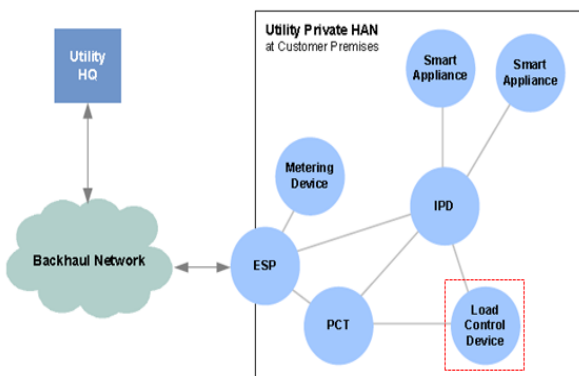


그림 7. Home Area Network 구조

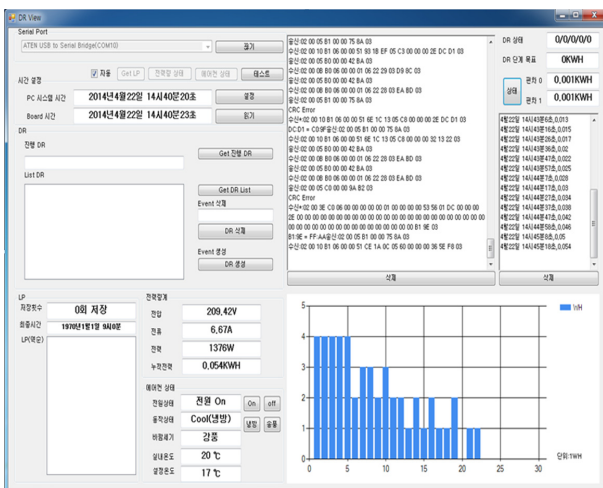


그림 8. 수요반응 S/W

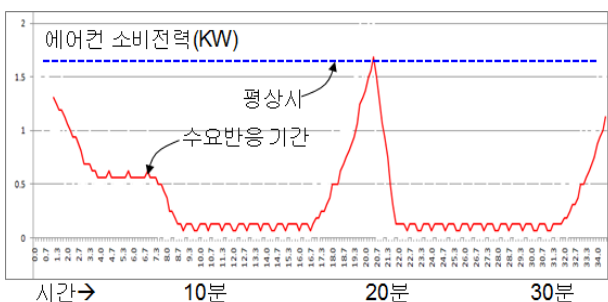


그림 9. 수요반응을 통한 에너지 변화.

IV. 결론

본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에서 수용반응 통신에 사용되는 프로토콜을 알아보고 이를 기반으로 한 수요반응 시스템을 설계하였다. 이를 통하여 수요반응 시스템을 구현하였고 수요반응을 통한 에너지 절감 기능을 실험을 하였다. OpenADR에 의한 수요반응 자동화가 가능함을 보여 주었다. 특히 전력망이 스마트그리드 환경으로 발전하면, 핵심 서비스인 수요반응의 자동화에 본 연구 결과의 활용성이 더욱 증가할 것으로 기대된다. 향후 OpenADR 2.0b 구현을 통한 좀 더 많은 기능을 연구 할 예정이다.

참고 문헌

- [1] PIER, Arp 2009 "Open Automated Demand Response Communications Specification(Ver. 1.0),"
- [2] 지식경제부, 2012.4 "스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵1.0"
- [3] Korea smart grid Institute website: Available at <http://smartgrid.or.kr>
- [4] OASIS, Dec 2011 "Energy Interoperation Version 1.0"
- [5] 이상성, 2012.10 "스마트그리드 운용시스템 체계 : Part 6 Digital Grid 및 실시간 수요반응(DR) 기반 EMS 운용 기법", 대한전기학회, pp.230-233
- [6] J. Media, N. Muller, and I. Roytelman, "Demand response and distribution and operations: Opportunities and challenges," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 2, pp. 193-198, Sept. 2010.
- [7] A. Brooks, E. Lu, D. Reicher, C. Spirakis, and B. Wehl, "Demand dispatch: Using real-time control of demand to help balance generation and load," IEEE Power Energy Mag., vol. 8, no. 3, pp. 20-29, 2010.
- [8] H. Saele and O. S. Grande, "Demand response from household customers: Experiences from a pilot study in Norway," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 1, pp. 102-109, 2011.
- [9] D. T. Nguyen, M. Negnevitsky, and M. de Groot, "Pool-based demand response exchange-concept and modeling," IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 3, pp. 1677-1685, 2011.
- [10] Z. Zhao, W. C. Lee, Y. Shin, and K.-B. Song, "An optimal power scheduling method for demand response in home energy management system," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 3, pp. 1391-1400, Sept. 2013.
- [11] K. M. Tsui and S. C. Chan, "Demand response optimization for smart home scheduling under real-time pricing," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1812-1821, Dec. 2012.
- [12] H. Mohsenian-Rad and A. Leon-Garcia, "Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 2, pp. 120-133, Sep. 2010.
- [13] S. Barmada, M. Raugi, R. Rizzo, and M. Tucci, "Channel evaluation for power line communication in plug-in electric

vehicles,” The Institution of Engineering and Technology Electrical Systems in Transportation, vol. 2, no. 4, pp. 195-201, Nov. 2011.

- [14] Information technology, “Telecommunication and information exchange between systems, power line communication - High speed PLC medium access control and physical layer - Part 1: General requirements,” ISO/IEC 12139-1, 2009.

저자

박 주 현(Ju Hyun Park)



- 2013년 8월 : 광운대학교 전파공학 학사졸업
- 2013년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 스마트그리드, PLC

황 유 민(Yu Min Hwang)



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박통합과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 디지털 통신, 압축 센싱, WLAN

김 진 영(Jin Young Kim)



- 1998년 2월 : 서울대 전자공학과 (공학 박사)
- 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate.
- 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원

- 2009년 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
- 2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지 무선통신, 4G 이동통신.

이 재 조(Jae Jo Lee)



- 1992년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학 박사
- 1992년 ~ 현재 : 한국전기연구원 수석 연구원

<관심분야> : PLC, 홈 네트워킹, 네트워크 관리시스템