

DSM Monitoring을 위한 수리모형 개발에 관한 연구

김성일*, 임재윤**, 장승찬***, 김창섭***, 김정훈*

* 홍익대학교 전기제어공학과 ** 충남 전문대 전기 공학과 *** 에너지자원기술개발지원센터

A Study on Developing Mathematical Model for DSM Monitoring

Kim, Sung-il* Lim, Jae-Yoon** Chang, Seungchan*** Kim, Chang-Seob*** Kim, Jung-Hoon*

* Dept. of Electric & Control Engineering, Hong-ik University
 ** Dept. of Electrical Engineering, Chung-Nam Junior College
 *** R&D Management Center for Energy and Resources, KOREA

ABSTRACT

This paper presents a DSM Monitoring Methodology which is able to evaluate the impact of DSM programs under processing. For an effective assessment of DSM programs, it is foremost necessary to examine the market characteristics on the specific end-use appliance according to the customer's adoption of DSM programs. The proposed Monitoring system contains a diffusion process of high efficient end-use considering major factors of DSM impact such as, price, price elasticity and lifetime of end-use apparatus or appliance. The case study shows the propriety and necessity of DSM monitoring in order to diagnose the current state and provide a baseline of DSM policy

I. 서론

현재 세계 각국은 전기에너지의 효율적 이용을 목적으로 부하곡선을 바람직한 방향으로 개선하기 위해서 수요가의 전기사용 양식을 바꾸려는 일련의 행동인 수요관리(DSM : Demand Side Management)에 많은 관심을 기울이고 있으며, 우리나라도 최근의 전력소비의 증가에 대해 발전소 입지문제, 투자재원확보, 환경문제등으로 인한 공급능력 증진의 문제점 때문에 수요관리에 대한 필요성이 점점 더 부각되고 있다. 하지만 국내 DSM 추진에 있어 장애 요인은 기술 기반의 취약과 영향평가의 부재로 인한 불확실성의 문제라 할 수 있으며, 신뢰성 있는 영향평가를 위해서는 DSM 모니터링(Monitoring)시스템을 개발하여 프로그램 추진의 정당성과 적합성을 확보하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다.

DSM 모니터링 시스템은 보통 프로그램의 사후 평가의 의미로써 프로그램의 순효과를 추정해 내는 영향평가를 위한 기초 자료를 제공하며, 프로그램 시행 후의 동일 시점에서의 직접적인 미터링이 가장 이상적이라 할 수 있으나, 비용과 기술면에서 현실적으로는 한계가 있다. 기존에 제안된 모니터링 방법론[1]들은 단일 시점에 대한 모니터링만을 시행하기때문에 프로그램 시행 중간 단계와 시행 후의 지속적인 영향에 대한 예측은 불가능하다고 할 수 있다.

본 논문에서는, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 지속적인 프로그램의 영향에 대한 예측이 가능한 새

로운 모니터링 시스템의 방법론을 제안하고자 한다. 제안된 모니터링 시스템에서는 확산 및 보급모형을 통한 프로그램 성과 예측으로 시행후의 지속적 영향 평가와 진행 상태를 진단하는 것이 가능하고, 기기 보급, 판매량, 최대효율 등 주요 프로그램의 영향 인자들을 고려하여, 가격 변화 및 정책에 의한 영향이 종합적으로 평가될 수 있도록 구성하였다.

II. 수요관리 모니터링 시스템

1. 수요관리 모니터링 시스템의 개념

본 논문에서 제안하는 새로운 DSM 모니터링은 프로그램이 진행되고 있는 동안에 현황을 진단하기 위한 기법으로 프로그램 시행 전/후의 에너지 소비의 변동치를 추정하는 이론적 성과계량과 실제적 계량을 포함한다. 즉, 실제 계측이나 실질적 조사를 통하여 획득된 자료들을 분석 종합하여 프로그램 수행의 적합성을 평가하고, 잠재량 추정, 영향 평가 등을 통하여 진단하는 총체적인 행동들을 의미하며, 가격, 가격탄력성, 수명등 기기보급에 영향을 주는 요소들에 의한 에너지 소비의 변화도 추정가능하다. 한편, 프로그램에 대한 정책적인 면을 고려하는 포괄적인 개념이다.

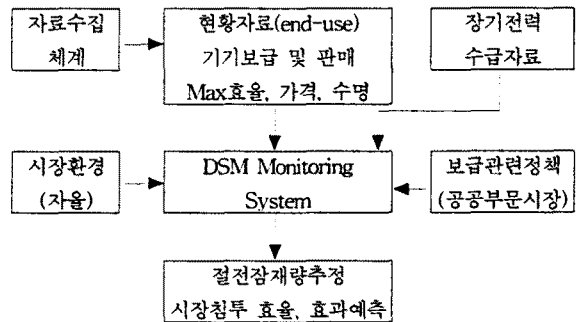


그림 1. DSM Monitoring 시스템의 개념도

2. 자료수집체계의 확립

모니터링 시스템은 고효율기기의 보급에 따라 현실적인 조사가 힘든 부하 구성 예측을 하는 체계이므로 그 시스템 구성에 있어서 부하구성비자료, 부등율, 효율, 가격, 이용율, 기기 수명등의 자료등을 수집 가공할 수 있는 체계를 기본 실태조사 보고서 [3,4] 나 기존 문헌을 바탕으로 구축하게 된다.

3. 시스템 영향 인자

DSM 프로그램의 계획 및 시행에 있어서 효과에 영향을 주게 되는 많은 요소들이 존재하며 종합적으로 고려되어야 한다. 본 논문에서 제안하는 Monitoring 시스템은 다음과 같은 인자들에 대한 고려를 하였다.

- 기기 가격과 가격 탄력성 · 기기 수명
- 리베이트·금융지원 · 기술 개발 추이

4. 모니터링 시스템의 확산 모형 적용

고효율 기기의 보급 프로그램의 영향평가에서는 기기의 시장특성에 의한 영향이 주요 변수로 작용되고, 그 합리적인 추정이 영향평가에 선행되어야 된다. 제안된 모니터링 시스템에서는 고효율기기의 시장특성을 고려한 종합적인 DSM 프로그램의 잠재량 추정을 위해 보급 특성이 다른 개별기기에 대해 Bass의 확산모형 [2] 을 응용하여 추정하였다.

III. 모니터링 시스템의 방법론

본 연구에서 제안할 Monitoring 방법론은 프로그램 영향인자들을 종합고려할 수 있는 잠재량 평가 모형으로, 최대부하시의 잠재량(kW base)을 추정하는 Power Model과 연간 전력사용량의 절약 잠재량(kWh base)을 추정하는 전력량 Model로 구성된다.

1. Power Model

기본가정은 기준이 되는 시점에서의 DSM 대상기기별 부하구성비는 이미 알고 있고 이 기기의 부하구성비를 향후 고려 대상기간까지 예측할 수 있다는 것이다. 최대 부하 전력은 계절적 요인에 의하여 계절별로 부하구성비가 변동하므로, 최대 부하시 DSM 대상 기기가 차지하는 전력수요는 계절에 영향을 받는 것과 받지 않는 것으로 나눌 수 있다.

i) 계절적 요인에 의해 구성비 자체에 큰 변동이 없는 경우

계절적 요인에 의한 변동이 없는 기기 k를 고효율 기기로 대체하는 DSM 프로그램의 경우 고려대상인 s (s = 1, 2, ..., n) 계절에서의 시스템 최대부하시 기기 k의 부하 $P_{peak,s}^k$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$P_{peak,s}^k = P_{1,s}^k + P_{2,s}^k + P_{3,s}^k \quad (1)$$

$P_{1,s}^k$: k 기기 중 고효율기기로 대체 가능한 최대전력시 부하

$P_{2,s}^k$: k 기기 중 고효율기기로 이미 대체된 부하에 의한 최대 전력 시의 부하

$P_{3,s}^k$: k 기기 중 고효율기기로 대체 불가능한 부하에 의한 최대 전력

한편, $P_{1,s}^k$ 와 RC_s^k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{1,s}^k = RC_s^k \cdot RLF_s^k \cdot CF_s^k \cdot DF_s^k \quad (2)$$

RC_s^k : s 계절에 k 기기중 고효율기기로 대체 가능한 최대 부하시 총용량

RLF_s^k : k기기의 정격부하율

CF_s^k : 일치율, DF_s^k : 부동률

$$RC_{s+1}^k = RC_s^k - (Dr_s^k + A_s^k + S_s^k - Ni_s^k) RC_s^k \quad (3)$$

Dr_s^k : s 계절의 고효율 기기 신규 보급률

A_s^k : s 계절에 k 기기 중 수명이 안됐음에도 불구하고 고효율기기로의 교체율,

S_s^k : s 계절에 수명기간이 된 k 기기중 고효율기기로의 교체율

Ni_s^k : s 계절에 고효율기기로 대체되지 않은 k 기기의 자연증가율.

또한, $P_{2,s}^k$ 와 AC_s^k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{2,s}^k = AC_s^k \cdot \eta \cdot RLF_s^k \cdot CF_s^k \cdot DF_s^k \quad (4)$$

AC_s^k : s 계절에 있어서 최대부하시 k 기기중 이미 고효율 기기로 대체된 기존기기 용량

η : 고효율 기기에 의한 효율 향상율

$$AC_{s+1}^k = AC_s^k + \eta (Dr_s^k + A_s^k + S_s^k) RC_s^k \quad (5)$$

가) Dr_s^k, S_s^k, A_s^k 의 추정

(1)정교모델

정교모델은 고효율기기 신규 보급율과 고효율기기로의 대체율, 고효율기기의 교체율을 각각 다른 모형으로 구현하여 보급률을 산출하는 모형이다.

$$Dr_s^k = (SC^k - RC_s^k) \int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (6)$$

SC: 고려대상 최종연도에서의 k 기기에 대한 부하 예측치

p: 혁신 계수, q: 모방 계수

수명기간을 1이라 할 때, 수명이 다 된 기존 기기의 고효율기기로의 교체율과 대체율은 다음과 같다.

$$S_s^k = (RC_{s+1}^k - RC_s^k) + \frac{\Delta AC_{s+1}^k}{\eta} \times \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)s}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)s})^2} \quad (7)$$

$$A_s^k = \left(\sum_{i=1}^s (RC_{s-i}^k - RC_{s-i-1}^k) \right) + \frac{\Delta AC_{s+1}^k}{\eta} \times \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)s}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)s})^2} \quad (8)$$

(2) 단순 모델

단순모델은 고효율기기의 보급을 신규보급, 교체, 대체의 포괄적인 의미라는데 착안하여 정교모델의 복잡함을 피할 수 있는 하나의 보급함수로 구성하는 모형이다.

$$\Delta AC_s^k = \int_s^{s+1} m \cdot \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (9)$$

(3) 간이 모델

간이모델은 단순모델에서의 복잡한 계산을 피하기 위해 그 보급함수를 좀 더 간단한 함수로 구성하기 위한 방법이다.

$$\Delta AC_s^k = \frac{AC_s^k - \ln\left(\frac{m}{AC_s^k} - 1\right)}{s} \quad (10)$$

(나) 가격에 의한 보급률 변화 추정

$$Q = f(Pr) = m = \frac{k}{Pr^a} \quad (11)$$

Q: 총 수요 Pr: 개별기기의 가격

m: 잠재시장 a, k: 고유한 상수

한편, 가격 변화에 대한 보급률 변화를 추정하는 방법은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta Dr_s^k = \frac{\partial Dr}{\partial Pr} \Delta Pr = \frac{\partial Dr}{\partial m} \cdot \frac{\partial m}{\partial Pr} \cdot \Delta Pr \quad (12)$$

(다) 정책에 의한 보급률 변화 추정

금융지원이나 리베이트의 경우는 기기 가격에 영향으로 고려하여 가격에 의한 보급률 변화추정과 같이 해석하고, 정책의 변화에 의한 경우는 일정기간까지 n% 보급 의무화, s계절의 교체량 중 n%의 의무화, s 계절의 대체량 중 n%의 의무화 등의 경우

를 고려하여 scenario에 따라 보급률을 상수로 취급하여 해석한다.

ii) 계절적 요인에 의해 구성비 자체가 큰 변동이 있는 경우

하절기를 제외한 다른 계절에는 그 구성비 자체가 거의 존재하지 않는 기기에 대하여 그 구성비가 크게 나타나는 계절만을 대상으로 고려한다.

2. 전력량 모형

전력량 모형은 연간 전체 전력 사용량에서 개별기에 의한 연간 전력사용량을 추정하는 모형이다. 그 보급률 추정에 있어서는 Power Model과 같은 방법론을 사용하며 다른 점은 연간 단위로 분석하고, 개별 기기의 연간전력사용량을 추정한다는 점이다.

IV. 사례 연구

사례연구에서는 제안된 모델을 적용하여 현재 국내내부구성비상 비중이 크고, 기술적인 효율 향상 가능성이 큰 것으로 추정되는 직관형광등, 백열등, 기기를 대상으로 계절별 최대부하와 연간 전력량을 추정하였다. 또한 가격변화와 설정된 정책 scenario에 대한 고효율 기기 보급률 변화를 추정하였다. 사례연구에 사용된 입력자료는 자료수집체계에 따라 다음과 같이 수집가공되었다.

표1. 입력자료

	직관형광등	백열등	고효율전동기	인버터	에어컨
RC(0)	4291MW	911MW	26724MW	9100MW	6,396MW
RLF	0.92	0.92	0.65	0.65	0.6
CF	0.74	0.51	0.92	0.93	0.7
DF	0.98	0.56	0.69	0.72	0.8
SC	9100MW	1965MW	58387MW	26438MW	14,701MW
l	1년	1,000시간	15년	15년	8년
Ni	2.5%	2.5%	2.7%	2.7%	17%
η	20%	75%	5%	30%	15%
p	0.04	0.03	0.027	0.043	0.02
q	0.5	0.52	0.53	0.54	0.54
Pr	3,500원	12,000원	751,000원	900,000원	1,230,000원
AF	4,080시간	2,300시간	4,100시간	4,100시간	439시간

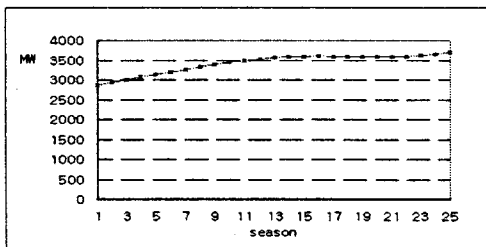


그림 2. 최대부하(직관형광등)

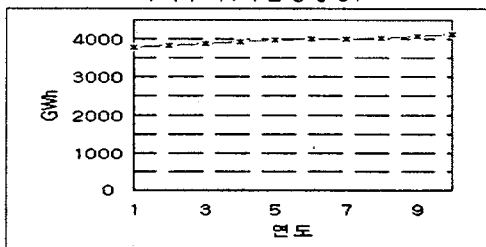


그림 3. 연간 전력사용량(백열등)

사례연구는 각 개별기에 대한 계절별 최대부하와 연간 전력사용량에 대하여 수행되었으며, 그림 2와 그림 3에 나타나는 것과 같이 기기 보급에 따라 그 증가율이 감소하는 추세를 알 수 있다.

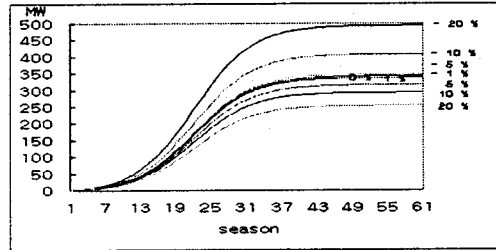


그림 4. 가격 변화에 따른 보급량 변화(직관형광등)

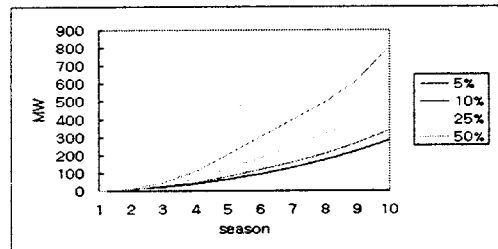


그림 5. 정책 변화에 따른 보급량 변화(직관형광등)

그림 4는 가격을 현행의 (± 1 , ± 5 , ± 10 , ± 25)% 변화시켰을때의 보급량의 변화를 추정한 것이며, 그림 5는 신규보급되는 개별기기의 (5, 10, 25, 50%)의 고효율기기 보급 의무화를 하였을때의 보급량 변화를 나타낸다.

V. 결론 및 검토

본 논문의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 기존의 모니터링 시스템을 확장하여 향후의 잠재량 예측까지 가능하고 시장보급특성을 고려하는 새로운 시스템을 수리모형으로 제안하였다.

- Monitoring 시스템의 입력자료에 대한 체계를 확립하고, 각종 영향인자에 대하여 고려하여 선정된 대상기기의 최대부하와 연간전력사용량 예측치를 산출하였다.

- 가격 변화와 정책 변화에 따른 기기 보급률 변화를 추정하였다.

- 향후에는 제안된 Monitoring 시스템의 방법론을 중심으로, 장기전력 수급자료를 감안하여 실질적인 잠재량을 추정하고, 그 정책적인 영향평가를 통해 향후 DSM 정책방향을 제시할 수 있는 방법론을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

VI. 참고문헌

- [1] A. T. Almeida, E. L. Vines, "Advanced Monitoring Technologies for The Evaluation of Demand Side Management Programs" IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 1691-1697, August, 1981.
- [2] F. M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing : A Review and Directions for Research," Journal of Marketing, Vol. 54, pp. 1-26, January, 1990.
- [3] 한국전력공사, "전동기 보급 실태조사", 1994.8
- [4] 한국전력공사, "조명 기기 보급 실태조사", 1994.8.