

Energy System Management 모형을 통한 통합 수요관리 효과분석에 관한 연구

논 문

60-7-7

A Study on Effect Analysis of Integrated Demand Management According to Energy System Management Model

김 용 하*** · 조 현 미* · 김 영 길* · 박 화 용** · 김 형 중§ · 우 성 민†

(Yong-Ha Kim · Hyeon-Mi Jo · Young-Gil Kim · Hwa-Yong Park · Hyeong-Jung Kim · Sung-Min Woo)

Abstract - This paper is developed to demand management scenario of energy consumption efficiency improvement, electricity generation efficiency improvement, network efficiency improvement, change of distribution ratio, movement of energy source, change of heating system, put of CHP to quantitatively assess to impact on energy use of demand management at the national level. This scenario can be applied Energy System Management model was developed based on Energy Balance Flow. In addition, effect analysis through built demand management scenario was quantitatively evaluated integrated demand management effectiveness of energy cost saving, CO₂ emission reduction and energy savings of national level by calculating to primary energy source usage change in terms of integration demand management effect more often than not a single energy source separated electricity, heat and gas.

Key Words : Demand management, Energy balance flow, Reference Energy System(RES), Energy System Management(ESM), Integrated demand management

1. 서 론

우리나라는 산업화가 급격히 진행된 1970년대부터 현재에 이르기까지 에너지 사용이 꾸준한 증가추세를 보이고 있으며, 에너지 사용에 따른 온실가스 배출 등의 환경 문제는 전 세계적인 관심을 받고 있다. 이러한 상황에서 에너지 수요관리는 에너지 사용량 절감 및 CO₂ 배출량 저감을 위한 효과적인 대안으로 인식되고 있다.[1]

장기 에너지수요 전망 모형 개선 연구, 에너지경제연구원, 2008 에너지 사용 절감을 위한 에너지 수요관리는 국가적 관점에서 효율적이고, 종합적으로 수행되어야 한다. 효율적인 수요관리를 수행하기 위해서는 통합 에너지 차원에서의 수요관리가 요구되고 있다. 그러나 현재 국내 상황에서는 국가적 차원의 통합 수요관리가 아닌 에너지원별인 전력, 가스, 열로 구분되어 수행되고 있으며, 수요관리를 통한 효과 분석 또한 에너지원별로 구분되어 수행되고 있다.

효과적인 수요관리를 수행하기 위해서는 통합 에너지 차원의 효과분석이 요구되고 있으며, 이를 위해 통합 수요관리를 효과분석을 위한 한국형 Energy System Management 모형 개발에 관한 연구에서 Energy Balance Flow 구축을 통한 Energy System Management 모형을 개발하였다.[2]

본 논문에서는 Energy System Management 모형에 적용 가능한 수요관리 요소인 에너지 소비효율 향상, 발전 효율향상, 네트워크 효율향상, 구성비율의 변화, 에너지원의 이동, 난방방식의 변화, 소형 열병합 투입 등을 통하여 수요관리 시나리오를 구축하였으며, 구축된 시나리오를 Energy System Management 모형에 적용함에 따른 1차 에너지원의 사용량 변화를 산출하여, 국가적 관점에서의 에너지 절감, CO₂ 저감, 에너지 비용 절감 등의 통합 수요관리 효과를 정량적으로 평가하였다.

2. 통합 수요관리 시나리오 구축

Energy System Management 모형은 수요관리 요소의 투입에 의해 변화된 1차 에너지 사용량을 통하여 수요관리 효과를 평가할 수 있다. 각 부문별 수요관리 요소를 Energy System Management 모형에 적용하여 통합 에너지 차원의 수요관리 효과를 분석하기 위한 시나리오를 구성하였으며, 모형에 적용 가능한 수요관리 요소는 그림 1과 같다.

* 준 회원 : 인천대 공대 전기공학과 석사과정

** 정 회원 : 인천대 공대 전기공학과 박사과정

*** 정 회원 : 인천대 공대 전기공학과 교수

§ 정 회원 : 에너지관리공단 수요관리 팀장

† 교신저자, 정회원 : 인천대 전기공과 박사과정

E-mail : ywoosm@incheon.ac.kr

접수일자 : 2011년 3월 12일

최종완료 : 2011년 6월 1일

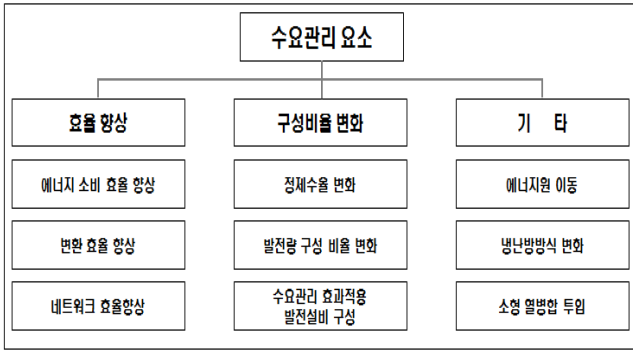


그림 1 효과 분석을 위한 수요관리 구성요소
Fig. 1 Component of Demand Side Management for Analysis

2.1 수요관리 구성 요소의 기능

2.1.1 효율 향상 요소

Energy System Management 모형에 적용 가능한 수요관리 요소 중 효율 향상 요소의 기능은 세 가지로 구분하였다. 에너지 소비 효율 향상 요소는 1차 및 2차 에너지를 사용하는 소비 부문에서 수요관리를 통한 에너지 소비 효율 향상에 의한 국가적 차원의 1차 에너지 공급량의 변화를 분석하기 위한 기능을 가진 요소이다. 변환 효율 향상 요소는 1차 에너지를 사용하여 전력 및 열을 생산하는 설비의 효율 향상을 통한 1차 에너지원의 사용량 변화를 분석하는 기능을 가진 요소이다. 네트워크 효율향상은 전력 및 열을 소비부문에 공급하기 위한 네트워크의 효율향상에 따른 에너지 사용량 변화를 분석하는 기능을 가진 요소이다.

2.1.2 구성 비율 변화 요소

구성 비율의 변화에 의한 수요관리 요소의 기능은 세 가지로 구분하였다. 정제수율은 원유의 정제를 통한 석유제품의 생산 비율이며, 정제수율의 변화에 의해 석유제품별 생산량 변화한다.[3] 정제수율의 변화에 따른 에너지 사용량 변화에는 영향을 주지 않으나, 석유제품별 단가의 차이에 의한 국가적 차원의 에너지 사용 금액의 변화에 영향을 주기 때문에 이를 분석하기 위한 기능을 가진 정제수율 변화를 수요관리 요소로 구성하였다.

소비부문에서 사용되는 전력을 생산하기 위한 각 발전설비는 사용하는 1차 에너지원의 종류가 다르며, 발전방식별 효율의 차이가 있다.[4] 따라서 각 발전 설비가 담당하는 발전량 구성 비율의 변화에 의해 국가적 차원의 1차 에너지 사용량의 변화가 나타나며, 이를 분석하기 위한 기능을 가진 발전량 구성 비율 변화를 수요관리 요소로 구성하였다.[5] 수요관리를 통해 소비부문에서 전력 사용 효율이 향상되면 전체 전력 사용량은 감소하게 되며, 각 발전설비가 생산하는 전력량 또한 감소하게 된다. 이는 전력 수요관리가 모든 발전방식의 영향을 주는 경우이며, 실제 수요관리를 통한 전력 사용량 절감은 원자력 발전과 같이 기저를 담당하는 발전방식에는 영향을 주지 않는다. 따라서 수요관리를 통한 전력 사용 절감이 특정 발전 방식에만 영향을 준 경우에 대한 효과 분석 기능을 가진 수요관리 효과

적용 발전설비 구성을 수요관리의 요소로 구성하였다.

2.1.3 기타 수요관리 요소

효율 향상 및 구성 비율의 변화에 따른 수요관리 요소를 제외하고 수요부문의 에너지 사용량에 변화를 주는 요소를 기타 수요관리 요소를 세 가지로 구분하여 구성하였다. 에너지원의 이동은 소비부문에서 기존에 사용되고 있던 에너지원을 다른 에너지원으로 대체한 경우 국가적 차원의 에너지 사용량, CO2 배출량, 에너지 비용의 변화를 분석하는 기능을 가진 수요관리 요소로 구성하였다.

현재의 난방방식은 전력, 가스, 석유를 사용하고 있으며, 각 방식별로 에너지 사용 효율이 다르다. 난방방식이 다른 방식으로 전환된 경우 국가적 차원의 에너지원별 사용량의 변화를 분석하는 기능을 가진 난방방식 변화를 수요관리 요소로 구성하였다.[6] 또한, 천연가스를 사용하여 전력 및 열을 생산하는 소형 열병합 발전이 투입되면 천연가스 사용량, 전력 사용량 및 열 사용량의 변화가 발생한다. 이때의 변화가 전체적인 1차 에너지 사용량에 미치는 영향을 분석하는 기능을 가진 소형 열병합 투입을 수요관리 요소로 구성하였다.

2.2 효과 분석을 위한 모의 가능한 시나리오 구축

통합 에너지 차원의 수요관리 효과 분석 기능을 가진 Energy System Management 모형에 적용 가능한 수요관리 시나리오를 총 9가지로 구분하여 구성하였으며, 수요관리 효과 분석을 위한 시나리오의 구성은 특별한 기준이 정해지지 않았으므로 임의의 가정을 통하여 효율향상, 구성 비율의 변화, 이동되는 에너지원의 종류 및 양, 난방 방식의 변화, 소형 열병합 발전의 투입량 등을 결정했다. 에너지 수요관리는 에너지 사용량 절감 및 CO2 배출 저감을 목표로 하는 것이므로 시나리오의 구성은 에너지 절감이 가능하도록 구성을 하였다.

Energy System Management 모형에 적용 가능한 수요관리 요소는 유연하게 변화 시킬 수 있으며, 효과분석을 위한 시나리오의 구성은 에너지 절감을 위한 수요관리 요소인 효율향상 및 비율의 변화 등에 일정량 향상된다고 가정하여 구성하였다. 각각의 시나리오 구성요소를 Case로 구성하였으며, Case별 시나리오의 구성은 표 1과 같다.

3. 수요관리 시나리오 투입에 의한 효과 분석

통합 수요관리에 의한 국가적 차원의 에너지 절감 효과 분석을 위해 Energy Balance Flow를 기반으로 구성한 Energy System Management 모형에 2장에서 구성한 수요관리 시나리오인 Case1 ~ Case9를 적용하였다. 시나리오 적용을 통한 에너지 사용 절감, CO2 배출 저감, 에너지 사용 금액 변화의 결과는 통합 수요관리 효과분석을 위한 한국형 Energy System Management 모형 개발에 관한 연구[2]에서 개발한 Energy System Management 모형에 수요관리 시나리오를 적용하여 통합 에너지 차원의 결과를 산출하였으며, 모형을 통한 전체적인 효과산출의 과정은 그림 2와 같다.

표 1 Case별 시나리오 구성

Table 1 Scenario Composition of Cases

Case	시나리오 구성요소	현재 효율	시나리오 구성	시나리오 구성 근거
1	소비부문 에너지 효율향상	1.00	• 소비부문 전체의 에너지 사용 효율 1[%] 향상	• 에너지 사용 절감을 위한 기기 효율 향상 • 에너지 사용자에게 관리에 의한 수요관리 효과 분석
2	네트워크 효율향상	송전 0.98 배전 0.98 열 0.95	• 송전 및 배전효율 1[%] 증가 • 열배관 네트워크 효율 1[%] 증가	• 전력 및 열 배관의 손실 절감이 1차 에너지 사용량에 미치는 영향 분석
3	변환 효율향상	화력 0.39 PLB 0.80	• 석탄화력 발전의 발전효율 1[%] 증가 • 열생산 시설인 PLB의 효율 2[%] 증가	• 에너지 변환설비의 효율 향상이 1차 에너지 사용에 미치는 영향 분석
4	석유정제 수율변화	경유 0.29 휘발유 0.09	• 정제 수율 경유 1[%]증가 휘발유 1[%] 감소	• 석유제품의 에너지유 중 국내 사용량이 가장 많은 경유의 수율 증가가 에너지 사용에 미치는 영향 분석
5	수요관리 효과 적용 발전설비 구성	-	• 원자력을 제외한 타 발전 방식 수요관리 효과 적용 • 소비단 전력 사용효율 3[%] 증가	• 기저부하를 담당하는 발전설비인 원자력 발전의 출력을 고정시킨 경우 수요관리 효과의 변화 분석
6	발전 설비 구성 비율	종합효율 0.84	• 중대형 CHP투입량 증가에 따른 에너지 사용량 변화	• 에너지 이용 효율이 높은 CHP가 담당하는 발전량 증가가 에너지 사용에 미치는 영향 분석
7	에너지원 이동	-	• B-C유 3[%]가 천연가스로 이동	• CO2 배출량이 적은 연료인 천연가스 사용에 따른 수요관리 효과 분석
8	소형 열병합 발전	종합효율 0.84	• 소형 열병합 발전 투입량 증가에 따른 에너지 사용량 변화	• 에너지 이용 효율이 높은 소형열병합 발전이 담당하는 발전량 증가가 에너지 사용에 미치는 영향 분석
9	난방방식의 변화	GHP 0.95 EHP 0.95	• 난방 방식의 GHP, EHP로의 이동	• 보급 확대가 이루어지고 있는 냉난방 방식의 증가가 에너지 사용에 미치는 영향분석

※ 소비부문에서 사용되는 기기는 종류가 매우 다양하여 현재의 효율을 1이라 가정함

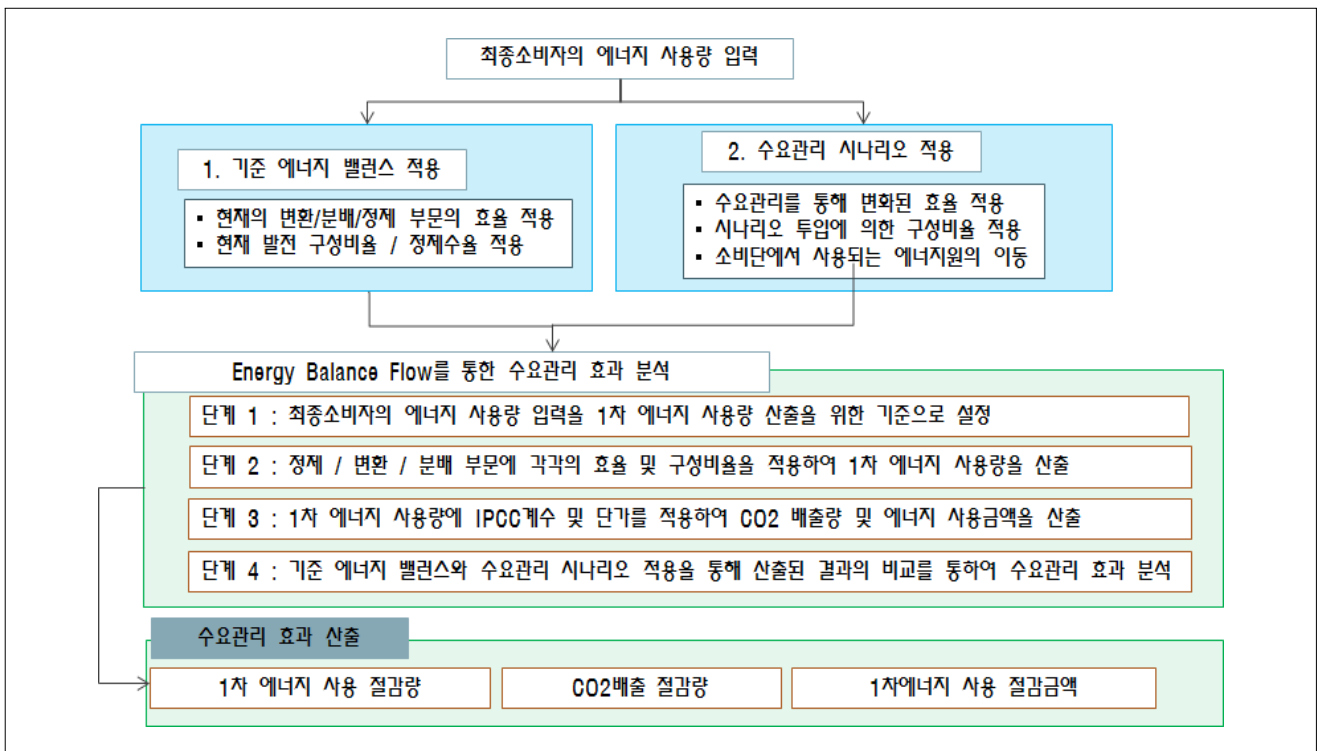


그림 2 수요관리 효과 분석 과정

Fig. 2 Effect Analysis Process of Demand Management

3.1.1 소비부문 에너지 효율 향상

소비부문의 에너지 사용 효율이 전체적으로 1[%] 향상된 경우를 Case1로 구성하고, Energy System Management 모형에 적용하여 수요관리 효과를 산출하였다. Case1 시나리오 입력에 의한 수요관리 효과는 표 2와 같다.

표 2 Case1 시나리오 투입 결과

Table 2 Result of Case1 Scenario

구분	에너지 사용[천TOE]		절감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	64,445	63,807	638
석유	106,842	105,861	981
천연가스	38,542	38,160	382
원자력	33,190	32,861	329
신재생	6,220	6,158	62
합계	249,237	246,847	2,391

구분	CO2 배출[천 Ton C]		저감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	67,810	678
석유	87,892	87,088	804
천연가스	24,551	24,308	243
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	179,206	1,725

구분	에너지 비용[백만원]		절감액
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	14,304,951	14,163,317	141,633
석유	83,919,505	83,121,534	797,972
천연가스	23,768,127	23,532,799	235,328
원자력	822,341	814,199	8,142
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	121,631,850	1,183,075

소비부문의 에너지 사용 효율이 전체적으로 1[%] 향상됨에 따라 총 2,391[천TOE]의 에너지 절감을 하였으며, 이는 전체 에너지 사용량을 0.96[%] 절감 시켰다. CO2를 배출 저감의 효과는 총 사용량 대비 0.95[%]의 효과가 나타났다. 에너지 사용 절감 효과는 0.96[%]인 것으로 산출되었다. 소비 효율은 1[%] 증가하였지만 실제 절감효과 및 CO2 배출저감은 0.95[%] 수준인 것으로 분석되었으며, 이는 변환 및 분배 부문의 효율의 영향을 받기 때문인 것으로 분석되었다.

3.1.2 네트워크 효율 향상

소비부문에서 사용되는 전력 및 열을 공급하는 네트워크의 효율이 1[%] 향상된 경우를 Case2로 구성하고, 수요관리 효과를 산출하였다. Case2 시나리오 입력에 의한 수요관리 효과는 표 3과 같다.

표 3 Case2 시나리오 투입 결과

Table 3 Result of Case2 Scenario

구분	에너지 사용[천TOE]		절감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	64,445	63,692	753
석유	106,842	106,803	39
천연가스	38,542	38,197	344
원자력	33,190	32,536	654
신재생	6,220	6,193	26
합계	249,237	247,420	1,817

구분	CO2 배출[천 Ton C]		절감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	68,087	401
석유	87,892	87,890	2
천연가스	24,551	24,544	7
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	180,520	411

	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	저감량
	석탄	68,488	
석유	87,892	87,858	34
천연가스	24,551	24,332	219
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	179,879	1,052

구분	에너지 비용[백만원]		절감액
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	14,304,951	14,137,081	167,869
석유	83,919,505	83,896,813	22,693
천연가스	23,768,127	23,555,717	212,410
원자력	822,341	806,138	16,203
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	122,395,749	419,175

소비부문에서 사용하는 전력 및 열에너지 사용량은 동일하게 고정시키고 네트워크 효율 향상 적용에 따른 에너지원별 절감 효과를 분석한 결과 원별 절감 비율은 석탄 41.2[%], 천연가스 18.9[%], 원자력 36.0[%], 석유 2.1[%]로 나타났으며, 분석 결과는 각 에너지원을 사용하는 발전 설비의 발전량의 비율에 의존하는 것으로 분석되었다. 에너지원별 절감량과 비용 절감 효과를 비교한 결과, 비용 절감 효과는 에너지 절감 효과가 두 번째로 큰 원자력이 가장 낮게 산출 되었다. 이는 우리나라의 단가가 타 에너지원에 비해 매우 낮기 때문인 것으로 분석되었다.

3.1.3 변환 효율 향상

전력 및 열을 생산하는 설비의 효율 향상 시나리오는 Case3으로 설정하였으며, 세부 구성은 석탄 화력 발전의 효율이 1[%] 향상하고, 열을 생산하는 PLB(Peak Load Boiler)의 효율이 2[%] 향상된다고 구성하였다. Case3 시나리오 입력에 의한 수요관리 효과는 표 4와 같다.

표 4 Case3 시나리오 투입 결과

Table 4 Result of Case3 Scenario

구분	CO2 배출[천 Ton C]		저감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	68,087	401
석유	87,892	87,890	2
천연가스	24,551	24,544	7
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	180,520	411

구분	CO2 배출[천 Ton C]		저감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	68,087	401
석유	87,892	87,890	2
천연가스	24,551	24,544	7
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	180,520	411

구분	에너지 비용[백만원]		절감액
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	14,304,951	14,220,598	84,352
석유	83,919,505	83,917,981	1,525
천연가스	23,768,127	23,761,080	7,047
원자력	822,341	822,341	0
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	122,722,001	92,924

Case3 시나리오에서는 PLB의 효율 향상을 석탄 화력 보다 크게 적용하였으나, 결과는 석탄의 절감이 27배 크게 나타났다. 석탄 화력 방식은 국내 발전량의 가장 큰 부분을 차지하는 방

식으로 현재의 상황에서 사용되는 에너지원의 양이 많기 때문인 것으로 분석되었다. PLB에 사용되는 석유 및 천연가스의 사용량은 석탄에 비해 매우 작기 때문에 효율 향상을 통한 결과 역시 매우 작게 나타났다.

3.2 구성비율 변화 요소 적용에 의한 효과 분석

구성비율 변화 요소는 석유 정제 수율 변화, 수요관리 효과적용 발전설비 구성, 발전량 구성 비율 변화로 구분되며, 각각의 수요관리 시나리오는 Case4 ~ Case6으로 구성하였으며, 비율 변화에 의한 에너지 절감효과를 Energy System Management 모형을 통하여 산출하였다.

3.2.1 석유정제 수율변화

석유정제 수율변화 시나리오를 Case4로 설정하였으며, 세부 구성은 석유제품의 에너지유 중에서 소비량이 가장 많은 경유의 수율이 1[%] 증가하고, 휘발유의 수율이 1[%] 감소한다고 구성하였다. Case4 입력에 의한 수요관리 효과는 표 5와 같다.

표 5 Case4 시나리오 투입 결과

Table 5 Result of Case4 Scenario

구분	에너지 사용[천TOE]		절감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	64,445	64,445	0
석유	106,842	106,842	0
천연가스	38,542	38,542	0
원자력	33,190	33,190	0
신재생	6,220	6,220	0
합계	249,237	249,237	0

구분	CO2 배출[천 Ton C]		저감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	68,488	0
석유	87,892	87,892	0
천연가스	24,551	24,551	0
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	180,931	0

구분	에너지 비용[백만원]		절감액
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	14,304,951	14,304,951	0
석유	83,919,505	83,758,360	161,146
천연가스	23,768,127	23,768,127	0
원자력	822,341	822,341	0
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	122,653,779	161,146

석유정제 수율변화 시나리오를 적용한 결과 에너지 절감 및 CO2 배출 저감 효과는 나타나지 않았지만, 비용 절감 효과는 나타났다. 이는 정제수율의 변화는 소비부문에 사용하는 에너지 사용량에는 영향을 주지 못하지만, 석유 제품 생산량에 영향을 주기 때문인 것으로 분석되었다. 시나리오는 경유의 생산량이 증가하고, 휘발유의 생산량이 감소하도록 구성되었으며, 석유제품별 수입 및 수출단가는 경유가 더 높기 때문에 비용의 측면에서는 효과가 나타난 것으로 분석되었다.

3.2.2 수요관리 효과 적용 발전 설비 구성

소비부문에 사용되는 전력의 효율향상을 통한 에너지 절감이 원자력 발전에는 영향을 주지 않는 경우를 Case5 시나리

오로 설정하였으며, 세부 구성은 소비부문 전력 사용 효율이 3[%] 증가한다고 가정하고, 원자력을 제외한 타 발전방식에만 영향을 주도록 구성하였다. Case5 입력에 의한 수요관리 효과는 표 6와 같다.

표 6 Case5 시나리오 투입 결과

Table 6 Result of Case5 Scenario

구분	에너지 사용[천TOE]		절감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	64,445	62,711	1,734
석유	106,842	106,762	80
천연가스	38,542	37,773	768
원자력	33,190	33,190	0
신재생	6,220	6,153	67
합계	249,237	246,588	2,649

구분	CO2 배출[천 Ton C]		저감량
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	68,488	66,650	1,838
석유	87,892	87,823	69
천연가스	24,551	24,062	490
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	178,534	2,397

구분	에너지 비용[백만원]		절감액
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	
석탄	14,304,951	13,918,435	386,515
석유	83,919,505	83,872,276	47,229
천연가스	23,768,127	23,294,233	473,895
원자력	822,341	822,341	0
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	121,907,285	907,639

전력 수요관리를 통한 에너지 절감 효과가 원자력을 제외한 타 발전 방식에만 영향을 주었을 경우에 대한 결과를 산출하였다. 모든 발전 방식에 영향을 준 경우와 비교 분석한 결과 에너지 사용량은 동일하게 산출되었으나, CO2 배출 저감 및 비용적인 측면에서는 효과가 매우 커지는 결과가 도출되었다. 이와 같은 결과는 수요관리를 통한 에너지 절감의 효과는 영향을 주는 발전 방식별로 다르게 산출될 수 있음을 나타낸다.

3.2.3 발전 설비 구성 비율 변화

발전 설비 구성 비율 변화 시나리오의 구성은 에너지 이용 효율이 높은 중대형 CHP가 담당하는 발전량을 증가시키고, 전력의 피크부하를 담당하는 발전방식인 디젤발전, B-C 발전, 복합화력 발전의 발전량을 순차적으로 감소시키도록 구성하였다. 중대형 CHP가 담당하는 발전량은 전체 발전량의 10[%]까지 담당하도록 구성하였으며, 1[%] 단위로 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 중대형 CHP 투입량 증가에 따른 수요관리 효과 분석은 표 7과 같다.

표 7 중대형 CHP 증가 시나리오 적용 결과

Table 7 Result of Increasing CHP Scenario

증가량	에너지 절감량 [천TOE]	CO2 배출 저감량 [천 Ton C]	비용 절감액 [백만원]
1[%]	479	550	242,556
2[%]	556	827	230,828
3[%]	473	909	145,546
4[%]	391	858	96,044
5[%]	308	806	46,543
6[%]	226	755	-2,959
7[%]	143	703	-52,460
8[%]	60	651	-101,962
9[%]	-22	600	-151,463
10[%]	-105	548	-200,964

중대형 CHP가 담당하는 발전량의 증가에 따른 수요관리 효과를 분석하였다. 중대형 CHP가 담당하는 발전량의 2[%]까지는 에너지 사용 절감이 급격한 증가를 나타내었으며, 이후 감소하는 결과가 산출되었다. CO2 배출 저감 효과는 에너지 사용 절감과는 다르게 3[%]까지 증가하는 결과가 산출되었으며, 에너지 비용 절감은 1[%]까지만 증가하고 감소하는 결과가 산출되었다. 중대형CHP의 투입에 의해 감소되는 발전 방식에 따라 사용하는 연료가 달라지며, 연료의 단가와 CO2 배출량이 다르기 때문인 것으로 분석되었다. 에너지 절감, CO2 배출, 비용 절감 효과를 전체적으로 본 결과 2[%]까지는 우수한 수요관리 효과가 있는 것으로 결과가 도출되었으며, 이는 중대형 CHP에 의해 생산된 열에너지의 이용이 가능한 범위가 2[%]이기 때문인 것으로 분석되었다.

3.3 기타 수요관리 요소 적용에 의한 효과 분석

기타 수요관리 요소는 에너지원 이동, 소형 열병합 발전 투입, 난방방식 변화로 구분되며, 각각의 수요관리 시나리오는 Case7 ~ Case9으로 구성하였으며, 기타 수요관리 요소의 투입에 의한 에너지 절감효과를 Energy System Management 모형을 통하여 산출하였다.

3.3.1 에너지원 이동

에너지원 이동 시나리오를 Case7로 설정하였으며, 세부 구성은 CO2 배출이 많은 B-C유의 총 사용량의 3[%]를 천연가스로 대체하도록 가정하여 구성하였다. Case7 입력에 의한 수요관리 효과는 표 8과 같다.

표 8 Case7 시나리오 투입 결과

Table 8 Result of Case6 Scenario

구분	에너지 사용[천TOE]		
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	절감량
석탄	64,445	64,445	0
석유	106,842	106,612	230
천연가스	38,542	38,776	-235
원자력	33,190	33,190	0
신재생	6,220	6,220	0
합계	249,237	249,242	-5

구분	CO2 배출[천 Ton C]		
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	저감량
석탄	68,488	68,488	0
석유	87,892	87,691	201
천연가스	24,551	24,700	-149
원자력	0	0	0
신재생	0	0	0
합계	180,931	180,879	52

구분	에너지 비용[백만원]		
	시나리오 투입 전	시나리오 투입 후	절감액
석탄	14,304,951	14,304,951	0
석유	83,919,505	83,791,939	127,566
천연가스	23,768,127	23,912,753	-144,625
원자력	822,341	822,341	0
신재생	0	0	0
합계	122,814,925	122,831,984	-17,059

에너지원 이동 시나리오를 적용한 결과 에너지 사용량 및 에너지 비용은 증가하였으나, CO2 배출 저감 효과는 있는 것으로 나타났다. 천연가스의 경우 소비부문의 공급에 의한 손

실이 존재하나, B-C유의 경우 공급에 의한 손실이 없기 때문에 사용량이 증가한 것으로 분석되었으며, 에너지 비용의 관점에서는 천연가스의 단가가 B-C유보다 높기 때문인 것으로 분석되었다. 그러나 CO2 배출 측면에서는 천연가스의 IPCC 계수가 B-C유보다 낮기 때문에 절감효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

3.3.2 소형 열병합 발전의 투입

소형 열병합 발전의 투입 시나리오의 구성은 소형 열병합 발전이 용량이 현재의 용량을 기준으로 100[%] ~ 1,000[%]까지 증가하도록 구성하였으며, 100[%] 단위로 증가시키면서 시뮬레이션 하였다. 소형 열병합 발전 투입 시나리오 적용에 의한 수요관리 효과는 그림 3과 같다.

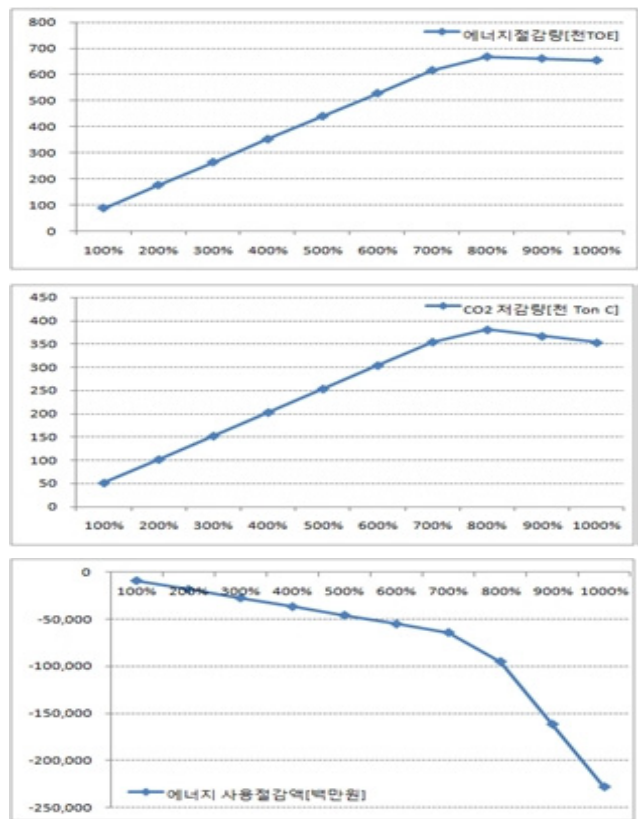


그림 3 소형열병합 증가 시나리오 적용 결과
Fig. 3 Result of Increasing Small CHP Scenario

소형 열병합 발전 용량의 증가에 따른 수요관리 효과를 분석한 결과 에너지 사용 절감 및 CO2 배출 저감 효과는 용량이 800[%] 증가한 경우까지 꾸준히 증가하는 결과가 산출되었으나, 에너지 사용 비용의 측면에서는 절감 효과가 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 설비용량의 증가가 800[%]까지는 소형 열병합에 의해 생산된 열이 사용 가능하여 에너지 절감 및 CO2 배출 저감 효과가 나타나지만, 그 이상의 용량에서는 열에너지의 이용이 이루어지지 않아 효과가 감소하는 것으로 분석되었다. 에너지 비용의 측면에서는 소형 열병합에 사용되는 연료인 천연가스의 단가가 가장 높기 때문에 절감효과가 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

3.3.3 난방방식의 변화

현재 국내에서는 난방방식을 총 6가지로 구분하고 있으며, 각 방식에 따라 사용하는 에너지원의 종류 및 효율의 차이가 존재하고 있다. 난방방식의 변화 시나리오는 타 난방방식에서 보급 확대를 위해 노력하고 있는 GHP(Gas Heat Pump)와 EHP(Electric Heat Pump)로 이동하도록 구성하였으며, 기존 난방방식에서 사용되고 있는 에너지 사용량이 1 ~ 10[%]까지 1[%] 단위로 GHP와 EHP 방식으로 이동하도록 시뮬레이션 하였다.

3.3.3.1 GHP 방식에서의 이동

기존 난방방식인 전열기, 가스보일러, 흡수식, 등유보일러 방식에서 GHP 방식으로 이동하는 시나리오 적용을 통한 수요관리 효과는 그림 4와 같다.

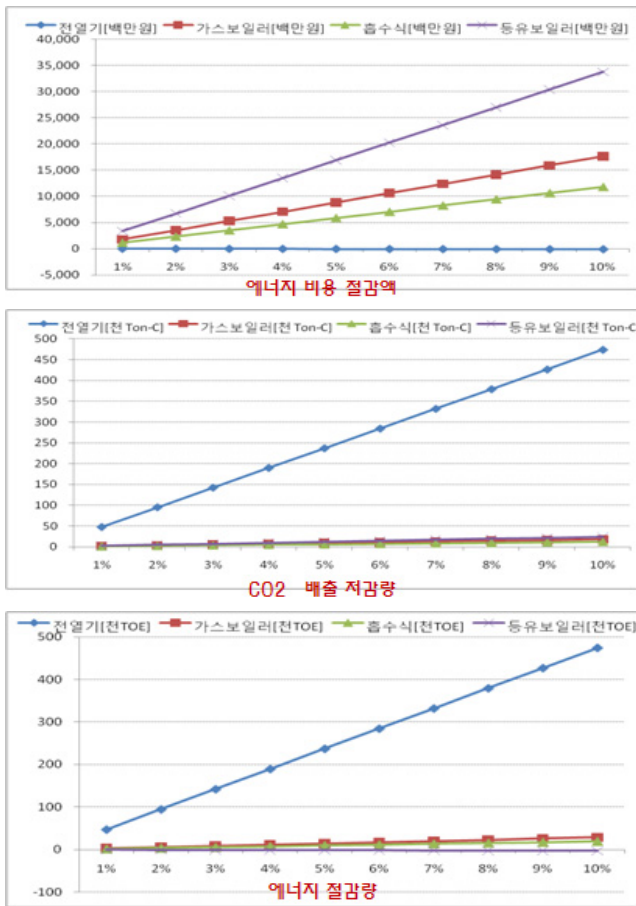


그림 4 난방방식 전환 시나리오 적용 결과(GHP 전환)
Fig. 4 Result according to Scenario of Heating System Conversion(GHP)

3.3.3.2 EHP 방식에서의 이동

기존 난방방식인 전열기, 가스보일러, 흡수식, 등유보일러 방식에서 EHP 방식으로 이동하는 시나리오 적용을 통한 수요관리 효과는 그림 5와 같다.

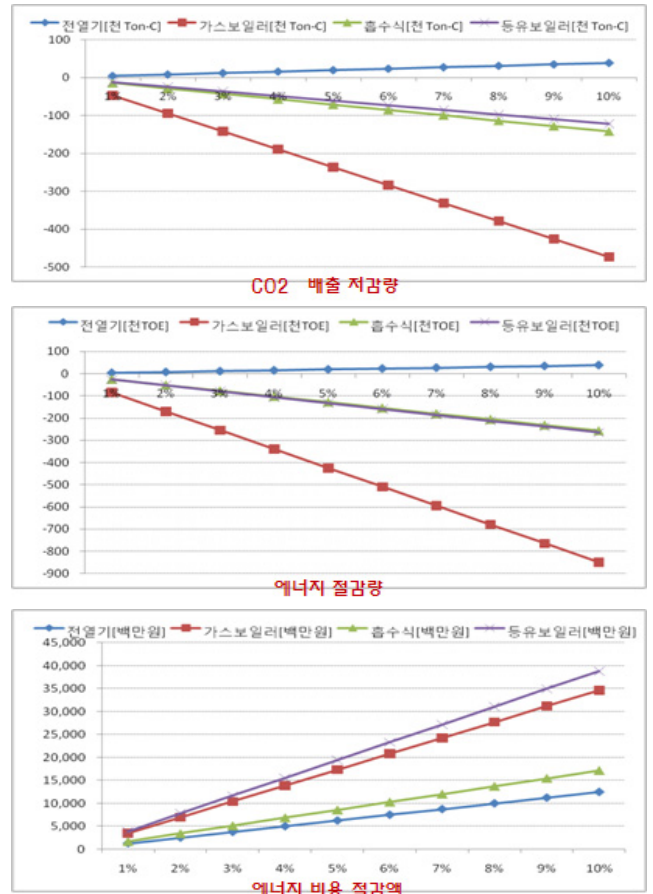


그림 5 난방방식 전환 시나리오 적용 결과(EHP 전환)
Fig. 5 Result according to Scenario of Heating System Conversion(EHP)

기존 난방방식이 EHP로 이동한 경우 에너지 절감 및 CO2 배출 저감효과는 전열기를 제외하고 모두 감소하였으며, 가스보일러에서 이동한 경우가 가장 크게 나타나는 결과가 도출되었다. EHP 방식은 에너지원으로 전력을 사용하고 있으며, 전력 생산을 위한 변환손실에 의한 결과로 분석되었다. 반면, 에너지 비용 절감의 효과는 EHP로의 이동에 따라 모두 증가하는 결과가 도출되었다. 전력을 생산하는데 사용되는 1차 에너지원의 단가가 타 에너지원보다 낮기 때문에 도출된 결과로 분석되었다.

4. 결론

본 논문에서는 통합 수요관리 효과를 분석하기 위해 개발된 Energy System Management 모형에 적용 가능한 수요관리 요소를 바탕으로 수요관리 시나리오를 구축하고, 시뮬레이션을 수행함으로써 수요관리에 의한 국가적 차원의 에너지 절감, CO2 배출저감, 에너지 비용 절감 효과를 정량적으로 평가하였다.

(1) 본 연구에서는 기존에 국내에서 작성되고 있던 Energy Balance Flow와 해외 모형에 적용되는 Reference Energy System의 분석을 통해 수요관리 요소의 적용이 용이한 구

조인 공급, 정제, 변환, 분배, 소비의 구분을 Energy Balance Flow의 기본구조를 구성하였다. 이를 바탕으로 국내에서 작성되고 있는 에너지 통계 자료를 분석하여 국내 상황에 맞는 공급, 정제, 변환, 분배, 소비 부문을 구성함으로써 국내에서 사용되는 전체 에너지 흐름을 나타내고 수요관리 요소의 적용이 가능한 Energy Balance Flow를 구성하였다.

(2) 수요관리 시나리오를 Energy Balance Flow를 기반으로 구성한 Energy System Management 모형에 적용하여 에너지원별이 아닌 국가적 관점에서의 에너지 절감 효과, CO2 배출 저감 효과, 에너지 비용 절감 효과를 산출함으로써 수요관리 효과를 통합 에너지 차원에서 정량적으로 평가하였다.

(3) Energy System Management 모형에 수요관리 시나리오를 투입하여 시뮬레이션 한 결과, 수요관리 효과는 에너지 사용 절감, CO2 배출 저감, 에너지 비용의 관점에 따라 다르게 나타날 수 있다는 결과를 도출하였다. 또한 현재 전력, 가스, 열로 구분되어 수행되고 있는 수요관리를 통합 에너지 차원에서 수행하게 되면, 에너지원의 이동, 난방방식의 변화 등의 수요관리 요소에 의해서도 에너지 절감이 가능하다는 결과를 도출하였다.

(4) 본 연구에서는 수요관리 시나리오 투입에 따른 에너지 절감 및 CO2 배출 저감, 에너지 비용 절감 효과를 산출함으로써 수요관리의 타당성과 유용성을 증명하였고, 국가적 차원의 에너지 절감을 위한 통합 에너지 차원의 수요관리의 필요성을 제시하였다.

본 연구에서의 수요관리 시나리오 투입에 의한 에너지 절감 효과 분석 결과는 단일년도를 대상으로 수행하였으나, 향후에는 수요관리의 효과가 미래년도에 미치는 영향까지 분석할 필요가 있으며, 에너지 정책 및 에너지 요금 제도의 변화가 국가적 차원의 에너지 사용에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 에너지경제연구원, “장기 에너지수요 전망 모형 개선 연구”, 2008
 [2] 에너지 경제 연구원, “에너지 통계 연보”, 2009
 [3] 한국전력공사, “한국 전력 통계”, 2008
 [4] 김용열, “지역냉난방/열병합발전이 갖는 국가적 수요관리 역할”, 제35권, 제7호, pp.16-20, 2006년, 7월, 대한설비공학회
 [5] 이우남, 박종배, 신중린, 조기선, 김형중, 채영석, “통합수요관리를 통한 난방에너지 이용 합리화 방안” 대한전기학회 하계 학술대회 논문집2009. 7. 14 - 17

저 자 소 개



김 용 하 (金 龍 河)

1959년 5월 16일생, 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~ 현재 인천대학교 전기공학과 교수.

Tel : (032) 835-8434
 E-mail : yhkim@incheon.ac.kr



박 화 응 (朴 華 庸)

1958년 8월 20일생, 2009년 ~ 현재 인천대학교 전기공학과 박사 과정. 2006년 ~ 현재 포스코건설 재직중.

Tel : (032) 835-4604
 E-mail : park@poscoenc.com



김 형 중 (金 亨 中)

1969년 7월 7일생. 2007년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1996년 ~ 현재 에너지관리공단 재직중.

Tel : (032) 835-4604
 E-mail : jakekim@kemco.or.kr



김 영 길 (金 永 吉)

1983년 12월 3일생, 2011년 인천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 ~ 현재 한진중공업 재직중

Tel : (032) 835-4604
 E-mail : lekek@kemco.or.kr



조 현 미 (趙 炫 美)

1987년 2월 23일생, 2010년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2010년 현재 동대학원 전기공학과 석사과정

Tel : (032) 835-4604
 E-mail : enenenf@hanmail.net



우 성 민 (禹 成 玟)

1980년 11월 1일생, 2006년 인천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 ~ 현재 동대학원 전기공학과 박사수료.

Tel : (032) 835-4604
 E-mail : ywoosm@incheon.ac.kr