한국에너지공학회지(2001), 제10권 제1호
Energy Engg. J(2001), Vol. 10, No. 1, pp. 71~81

도시가스 수요관리 유형별 LNG 저장설비 소요에 미치는 영향분석

홍정석 · 박찬국 · 김상준 · 최기련
아주대학교 대학원 에너지학과

The Dynamic Effect of Demand-Side Management and Storage Investment Strategy in Korean Gas Industry

Jeong-Seok Hong, Chan-Guk Park, Sang-Jun Kim and Ki-Ryun Choi
Department of Energy Studies, Graduate School Ajou University

요 약

수요증가 지속과 에너지산업 구조개편에 따른 발전용 수요의 수급조절역할의 축소로 인해 도시가스 수요관리에 대한 필요성이 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 도시가스 수요관리를 몇가지 유형으로 분류하고 각 유형별로 가스부문투자(LNG 저장설비소요)에 미치는 영향을 분석할 수 있는 모델을 제시하고 그 검증을 통해 향후 도시가스 수요관리 시행전략의 수립방향을 제시하고자 한다. 수요관리별 개별효과를 비교하면 동일한 목표율일 경우 최대수요억제가 가장 효과적인 것으로 검증되었으며, 적은 수요물량조정으로 큰 효과를 나타내는 수요관리 유형은 기저부하증대였다. 또한 수요관리전략을 복합하여 시행할 경우, 기저부하증대는 다른 수요관리수단과 같이 실시하여 더 큰 감축효과를 가져왔으나, 전략적 부하창출과 최대수요억제를 동시에 시행하면 그 효과가 상쇄되는 것으로 나타났다. 결론적으로 기저부하증대를 기본으로 하여 전략적 부하창출과 최대수요억제 조치를 시간적인 차이를 두고 시행하는 것이 좀더 효과적일 것으로 검증되었다.

Abstract — With the needs to proceed a rapid structural reform in Korean Gas Industry, the DSM(Demand-Side Management) may be one of the most efficient ways to rationalise the Investment streams, especially of new storage construction requirements. We established an econometric model to calculate a dynamic effects of DSM strategies upon future investment requirement for new LNG storages. The model shows the effects of each DSM strategy; Peak Clipping is the most efficient option. The model also indicates the combined effects of DSM strategies; Valley filling will promote every combined DSM strategies, whereas Load Building should be applied with stragewise application of Peak Clipping. As a conclusion of this study, it is recommended to adopt stagewise DSM strategies with a special attention to Valley Filling activities, supplemented by Load Building and Peak Clipping activities.

1. 서 론

'86년 공급이 시작된 천연가스 수요는 '87년 1,612천톤을 기록한 후, 연평균 21.4%의 증가율을 보이며 '99년에는 12,655천톤으로 증가하였다. 이는 '90년 이후 연평균 31.5%의 증가율을 보이고 있는 도시가스용 소비의 급증에 기인하고 있다. 이에 반해 초기 천연가스 소비를 주도하였던 발전용 수요는 '90년 이후 12.9%의 낮은 증가율을 보이고 있어 도시가스용과 큰 대조를 보이고 있다. 도시가스 수요는 '99년 현재 전체 수요의 62.3%를 차지하고 있다. 특히 가정용 수요는 연평균 49.9%의 높은 증가율을 보이고 있으며, 일반용 및 산업용 역시 49.3%, 41.8%의 높은 증가율을 보이고 있다.

도시가스의 월별소비패턴의 특징은 최고사용월과 최소사용월의 수요격차비(TDR; Turn Down Ratio)로 표현될 수 있다. '96년까지 6.0 수준을 유지하던 TDR은 그 이후에 점차 감소, 안정되는 추세를 보이고 있다. 그러나 1999년 천연가스 소비패턴을 보면, 발전용 소비를 제외한 도시가스용 소비의 TDR은 4.58이고, 발전용을 포함한 총 천연가스 소비의 TDR은 2.71로 상당히 높으며, 아

직도 계절간 수요격차가 심한 동고하저형의 U자형 소비형태를 보이고 있다. 이러한 도시가스가 주도하는 동고하저형의 소비패턴은 천연가스 도입시 공급계약상의 의무인수조항(Take or Pay)과 같은 경직적인 도입조건으로 인해 도입량을 조절하기 어려운 상황에서 합리적인 수요관리가 이루어지지 않을 경우 막대한 저장설비비용이 소요되는 문제점을 안고 있다. 이는 천연가스의 공급 및 저장시설에 상당한 부담으로 작용하여 투자소요액 증가 및 설비 이용율의 하락으로 도시가스 요금 인상의 주요인으로 작용되고 있다.

이러한 수급상의 특성에 따른 계절별 수급불균형을 시정하기 위해서는 공급측면에서 저장설비를 확충하는 방안과 계절별 부하관리를 통해 부하평준화를 유도하는 방안이 요구된다. 그러나 공급측면에서 저장설비 확충은 막대한 투자자본의 확보와 입지 문제 등으로 인해 한계를 보이고 있는 실정이다. 이에 반해 계절별 수급불균형을 시정하기 위한 수요관리는 예측된 수요의 저감 및 부하의 평준화를 통해 공급설비의 투자를 지연시키고 기존 설비의 이용효율을 높임으로서 경제적 효율성을 제고시킬 수 있다.

특히 천연가스 수요증가에 따른 저장설비증설은 비합리적 요금으로 귀결되어 효율적 자원배분을 왜곡하는 요인으로 작용한다. 따라서 천연가스에 대한 수요관리는 설비투자의 효율화 및 효율적 이용을 통해 자원의 효율적 배분을 유도하고 이를 통해 국가 에너지시스템의 적정화를 기할 수 있다.

그러나 국내의 천연가스 수요관리는 아직 초보적인 단계에 머무르고 있는 상태이며 이에 대한 연구도 구체적으로 이루어지고 있지 못한 실정이다. 하지만 그동안 수요관리 최대 장애로 여겨져 왔던 가스공사와 도시가스사의 이원화 체제가 가스산업의 구조개편 이후 완화될 전망이며, 원가발생 수익자 부담원칙에 입각한 요금체계로의 전환시 수요관리 효과가 도시가스사들의 수익에 직결됨에 따라 수요관리 시행의 유인작용을 함으로써 천연가스에 대한 수요관리는 점차 활성화될 것으로 예상된다.

그동안 천연가스 수요관리와 저장설비소요의 관계에 대한 연구들은 발전용 수요에 대해 한전의 Swing Consumer 역할을 가정하거나, 자체 수급조절용 LNG 발전소를 건설하여 수급불균형을 조정하는 방안에 국한되었다. 이에 전통적인 수요관리 기법들의 도시가스부문에 대한 적용이 저장설비소요에 미치는 영향을 알아보는 연구는 미비하였다고 볼 수 있다. 수요관리는 그 특성에 따라 몇가지 유형으로 나누어 볼 수 있고 그 유형과 적용할 수요자체의 특성에 따라 저장설비감소에 미치는 효과가 다를 것으로 예상된다. 또한 각 수요관리 유형을 개별적으로 적용할 때와 복합하여 시행할 때의 영향도 다를 것으로 예상할 수 있다.

이에 본 연구에서는 가스부문 수요관리 유형별 효과를 가스산업에서 가장 큰 투자수요를 가진 저장설비의 소요감축효과를 통해 파악하는 모형을 제시하고 이의 활용가능성을 검증하고자 한다. 또한, 개별 적용시와 복합 적용시의 차이가 있는지 확인하여 앞으로 도시가스 수요관리 방안들의 적절한 선택전략에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구방법론

2-1. 천연가스 수요관리의 개념

천연가스 수요관리는 Fig. 1과 같이 부하관리(load management)와 에너지 효율(energy efficiency) 개선으로 크게 구분할 수 있다. 부하관리는 최대부하와 최소부하간의 차이를 감소시켜 부하평준화를 도모하는 수요관리 방법이며, 에너지 효율 개선은 공급설비를 효율적으로 이용할 수 있도록 소비절약을 유도하는 수요관리 방법이다. 부하관리는 제어방식에 따라 다시 직접관리방식(direct load control)과 간접관리방식(indirect load control)으로 구분될 수 있다. 직접제어방식은 공급자가 수요자와의 계약에 의하여 최대부하 시에 가스공급의 중단 또는 긴급 부하조정을 위한 공급물량 감축 등을 실시하여 수요의 일시적인 감축을 유도하는 방식이다. 간접부하제어는 인센티브 형식의 요금제도를 이용하여 소비자가 자율적으로 부하를 조정하도록 유도하는 전통적인 부하관리방법으로 계절별, 시간대별 차등요금제도 등이 대표적이라고 할 수 있다.

에너지 효율 개선의 방법으로는 재정지원 등을 통한 고효율 기기의 보급, 부하 정보 및 대국민 계몽·홍보

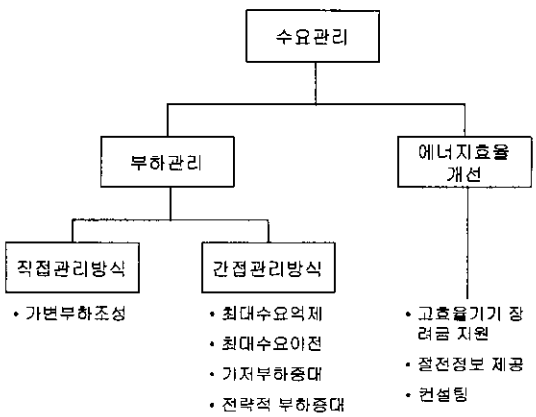

Fig. 1. Concept of demand side management in gas sector.

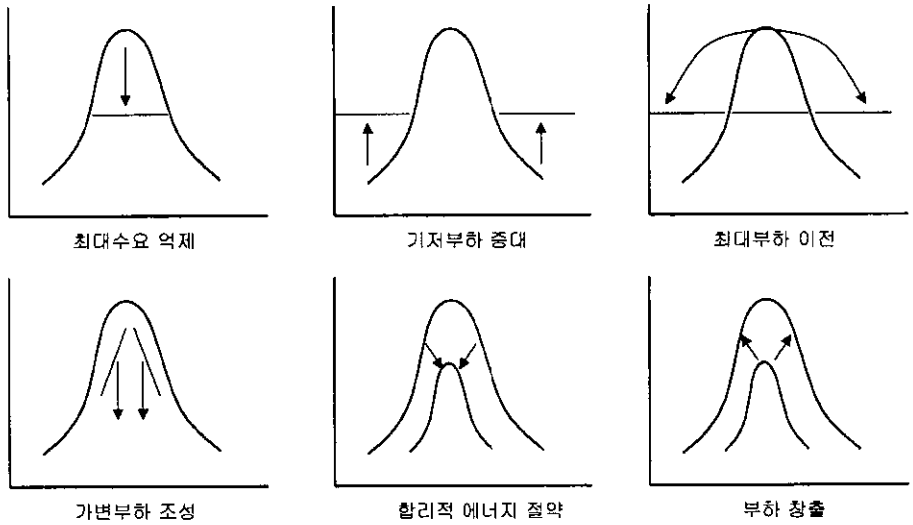

Fig. 2. Type of load management in gas sector.

로써 수요자의 절약의식 고취, 그리고 에너지원단위 개선 권장 및 정책적 지원을 통한 저에너지소비형 산업구조로의 개편 등을 들 수 있다. 에너지 효율개선은 에너지의 효율적 소비를 통해 전체적인 부하비율을 낮춤으로써 최대부하와 최소부하사이의 격차를 완화하는 효과가 있다고 할 수 있다. 따라서, 크게 보면 에너지 효율개선의 경우도 부하곡선의 유형을 변화시키는 부하관리의 하나라고 할 수 있으며, 수요관리는 곧 부하관리라고 할 수 있다. 부하곡선의 유형을 변화시키는 방법은 여러 가지가 있을 수 있는데, 부하곡선 변형의 형태에 따라 부하관리는 Fig. 2와 같이 분류할 수 있다.

2-2. 저장탱크기수 산정

LNG 저장탱크의 기본적인 용도는 도입과 소비의 시간차이에 의해 발생되는 물량을 저장하는 것으로 하절기의 초과 공급량을 저장하여 동절기의 초과소비량에 대비하기 위한 용도라고 볼 수 있다. 또한 비상시에 대비한 비축분과 운송된 인수분 만큼의 저장용량 확보도 필요하다. 탱크에 저장되는 LNG 물량은 다음과 같이 4가지 물량으로 구성된다.

총 저장용량 = 인수용 + 계절변동분
+ 긴급대응분 − 항차조정분

• 인수용 : LNG 수송선이 생산기지 접안시 즉시 하역이 가능하도록 비워놓은 탱크용량으로 각 기지별로 수송선 1척에 해당하는 인수용량.

• 계절변동분 : 연간 가스수요의 계절별 부하 및 LNG 도입물량과의 차이로서 하절기에 도입물량을 저장하여 동절기에 사용할 수 있는 물량. 즉, 월평균수요에 미달하는 4월~10월의 수요를 초과하여 도입되는 물량.

• 긴급대응분 : LNG 수송선의 장거리 해상수송에 따른 태풍, 파도 등 천재지변과 가스생산국 사정에 의한 수송선의 도착지연시에 대비한 안정공급을 고려한 물량. 재고부족이 예상되는 매년 3월 수요기준으로 2004년까지는 3일분, 2005년부터는 5일분의 긴급대응분 확보.

• 항차조정분 : LNG 수급조절을 위하여 수요패턴을 고려하여 연간도입물량의 도입일정을 조정하여 발생되는 저장용량 감소물량.

이에 대한 선행연구로서 "계절별 도시가스 수요관리와 적정 LNG 저장시설산정 연구"는 발전용 물량의 조정을 수요관리방안으로 고려하여 최소의 LNG 저장시설을 구하고 있다. 이 연구에서는 기본 전제로 년간 도시가스 및 발전용 가스의 총수요는 주어져 있으며, 이에 상응하는 물량만을 도입하는 것을 가정하고 있다. 그리고 월간 물량배분은 일정한 범위내에서 조정이 가능하며, 이는 가스공사가 취할 수 있다고 상정한 2가지 정책적 대안인 도입물량의 월별 조절가능 물량의 항차조절과 발전용 물량의 월별 조절물량으로 나뉘어 진다. 이러한 조절을 통해 가스공사는 저장시설 요구량을 감소시킬 수 있다. 저장설비 요구량은 월별 초과공급의 함수이므로 이를 월별 도입량, 도시가스 수요, 발전용 수요로 나타내어 보면 다음과 같다.

$$ES_i = I_i - (d_i + E_i) = (\bar{I} + dI_i) - (d_i + e + dE_i)$$
$$= (\bar{I} - d_i - e) + (dI_i - dE_i)$$

그리고 t시점의 저장시설 요구량은 다음과 같다.

$$Inv_t = \sum_{i=1}^{t} ES_i = \sum_{i=1}^{t} (\bar{I} - d_i - e) + \sum_{i=1}^{t} (dI_i - dE_i)$$

위 식에서 총도입량과 발전용 수요를 만족하는 dI_i와 dE_i로 구성된 수많은 벡터를 구할 수 있으며, 각각의 벡터에 대하여 필요한 저장설비용량을 산출하여 그 중에서 최소의 값을 선택할 수 있다. 위 수식의 기호는 결론 뒤에 설명되어 있다.

이 연구에서는 수요관리방안으로서 연간 발전물량을 일정하게 유지하면서 일정량 이상의 발전용 수요의 월별배분을 임의로 조절할 수 있다고 가정하였다. 이는 전력사업자가 가스공사가 원하는 수요패턴을 그대로 수용하는 극단적인 스윙소비자로서의 역할을 가정하고 있는 것이다. 그러나 한전이 공기업인 현 상태에서도 그러한 극단적인 스윙은 어려우며, 향후 전력구조개편이후에는 더욱 어려워질 것이다. 이에 대안으로 도시가스 수요관리에 의한 LNG 저장설비투자에의 영향을 파악할 수 있는 모형이 필요한 것이다.

2-3. 분석모형

본 연구에서는 천연가스의 수요 및 수요패턴, 소요 저장탱크기수 그리고 수요관리에 의한 수요조정율을 주요 분석변수로 투자효율성과 DSM 활동을 연계할 수 있는 계량모형을 설정하였다. 이를 통해 천연가스 수요 및 수요패턴의 변화로 야기되는 저장설비에의 투자소요 감축효과를 파악하고자 한다. 또한, 이들의 변화가 서로 독립적으로 발생되지 않고 상호 연계되어 지속적인 피드백(feedback) 관계를 유지한다는 점을 고려하여 동태적 분석모형을 두 개의 module을 가진 형태로 구축하였으며, 이를 구현하기 위한 도구로 Vensim DSS32 Ver. 3.0[1] 프로그램을 이용하였다.

Fig. 3과 같은 구조를 가지는 분석모형은 천연가스 수요예측치는 산업연구원의 "장기 천연가스 수요전망"과 가스공사의 "수급검토서" 의 2001년부터 2015년까지의 월별 도시가스 기준전망치와 연간 발전용 수요전망치를 사용하여 분석이 이루어지며, 수요관리에 의해 수요가 조정되는 과정과 이로부터 소요저장탱크 기수를 산정하는 과정으로 구분될 수 있다. 저장설비 소요에 미치는 효과외에, 연도별 도시가스 TDR(Turn Down Ratio)과 도시가스와 발전용을 합한 전체 천연가스 TDR를 구

[1]Vensim은 모형을 위한 알고리즘 설정과 수식 입력이 하나의 화면에서 동시에 이루어질 수 있도록 GUI(Graphic User Interface)와 CUI(Character User Interface)가 혼합된 프로그램으로, 변수들이 동태적으로 서로 연결되어 지속적 피드백 관계(Feedback-loop)를 가진 복잡한 사회시스템을 분석하는 이론인 시스템 다이내믹스(System Dynamics)를 구현할 수 있는 상용 프로그램이다.

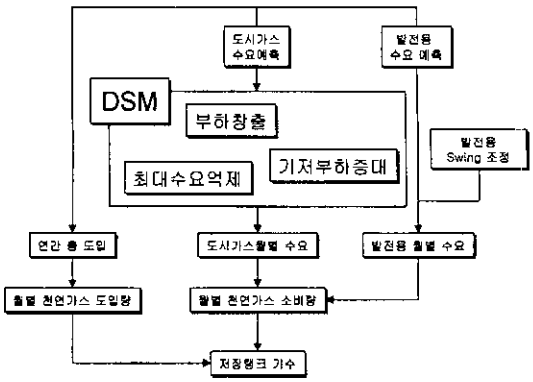

Fig. 3. General description of model structure.

하여 DSM에 의한 영향을 알아본다.

2-3-1. 도시가스 수요관리모듈

LNG 저장설비 소요에 영향을 주기 위해서는 Table 1에서 제시하는 바와 같은 구체적 수요관리 수단선택이 필요하다. 수요관리 수단 중에서 가변부하 조정은 실질적인 수단에서 최대수요 억제와 큰 차이가 없고, 최대수요이전은 수요관리 유형의 관점에서 보면 최대수요억제와 기저부하증대를 동시에 사용한 것과 다르지 않다. 합리적 에너지절약은 수요성장기에 있는 천연가스 시장에서 그 효과를 보기 어려운 수단이라고 볼 수 있다. 이에 본 논문에서는 최대수요억제, 기저부하증대, 전략적 부하창출의 세가지 수요관리 유형으로 압축하여 각기 개별적으로 시행하였을 경우와 수요관리 유형을 복합하여

Table 1. Natural Gas DSM methodologies.

기대효과	수요관리 수단
최대수요억제 (Peak Clipping)	○ 계절별 차등 요금제도 ○ 산업용 공급중단가능 계약제
기저부하 증대 (Valley Filling)	○ 계절별 차등 요금제도 ○ 가스 냉방기 보급확산 ○ 가정용 소형 가스 냉방기 보급 ○ 발전사업 참여
최대수요이전 (Load Shifting)	○ 계절별 차등 요금제도 ○ 도시가스 약정 물량제
가변부하 조정 (Flexible Load Shape)	○ 산업용 공급중단가능 계약제
합리적 에너지 절약 (Strategic Conservation)	○ 가정용 고효율 가스보일러 보급
전략적 부하창출 (Load Building)	○ 천연가스차량 개발 및 보급 ○ 환경규제 또는 연료사용 규제 ○ 산업용 연료 가스대체

시행하였을 경우의 효과를 각각 산정하고 또한 상호 비교해 보기로 한다.

여기서 수요관리가 실제 저장탱크 소요를 절감하기 위해서는 DSM을 감안한 년간 수요를 알 수 있으며 연간 도입량이 이와 동일하다고 가정을 해야할 필요가 있다. 최대수요억제의 경우 줄어든 동절기 수요만큼 도입량이 줄어야 실제로 저장해야할 LNG물량이 줄어들 수 있는 것이다. 이것은 통상적인 통합자원계획(IRP)의 메커니즘과 비추어 타당하다. DSM을 감안한 수요예측을 이용하여 공급계획을 세우지 않으면 DSM은 그 의미가 없다고 볼 수 있다. 그리고 전략적 부하창출의 경우 월별로 균등한 물량이 증가했다면, 연간 부하창출물량에 대한 저장물량이 발생하는 기간동안의 부하창출물량의 비율은 58.33%이다. 그런데 항차조정에 의한 동하절기 도입물량비율을 49 : 51로 고정했다면, 전략적 부하창출을 고려한 추가 도입물량 중 저장물량이 발생하는 기간동안의 추가도입물량비율은 51%이다. 이 경우 DSM에 의해 연간부하창출물량의 7.33% 만큼 저장해야할 물량이 줄어드는 효과를 가지게 된다.

본 논문에서는 이렇게 세가지 유형으로 압축한 수요관리를 모형에 적용하기 위해 최대수요억제의 경우 최대수요기간인 동절기(12, 1, 2월) 수요를 일정비율만큼 감축하고, 기저부하증대의 경우 최소수요기간인 하절기(6, 7, 8월) 수요를 일정비율만큼 증가시키고, 전략적 부하창출의 경우 년간 도시가스 수요의 일정비율만큼을 증가시켜 월별로 일정하게 배분한다고 가정한다. 그리고 이때의 일정비율을 수요관리 목표율이라고 하고, 모형에서 이 목표율의 변화에 따른 수요관리 유형별 LNG 저장설비 소요에 미치는 효과를 보기로 한다.

2-3-2. LNG 저장설비 소요산정모듈

본 논문의 저장탱크 소요산정방법은 개념적으로 선행연구와 차이가 없다. 그러나 발전용 수요에 의한 것이 아닌 도시가스 부문에 대한 수요관리를 유형별로 적용하여 그에 의한 LNG 저장설비 감축효과를 알아볼 수 있도록 하였다.

본 모형에서는 월별 수요와 도입, 그리고 그에 따라 저장해야하는 LNG 물량을 매월 계산한다. 이 때 도입은 항차조정된 것이므로 이 저장해야할 물량은 계절변동분과 항차조정분을 모두 감안하는 것이 된다. 그리고 저장해야할 LNG물량은 긴급대응분을 포함한 저장탱크의 최저운용액위로 하한이 제한되기 때문에 계절변동분과 항차조정분과 함께 긴급대응분도 포함되어 산정된다. 월별로 저장해야할 LNG 물량을 계산하므로, 동고하저의 수요패턴과 도입의 경직성에 따라 이 물량은 연중 3월경에 저점을 지나 하절기가 끝나는 10월경에 고점에 이른다. 해당 연도에 필요한 저장요구량은 이 고점에서

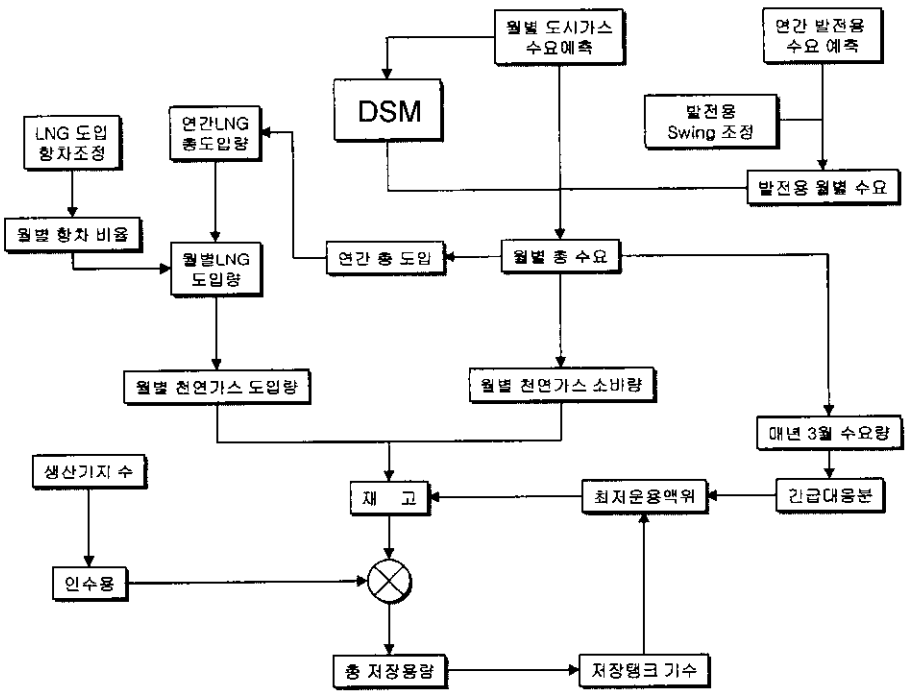

Fig. 4. LNG Tank model structure.

계산된다. 이렇게 계산된 저장탱크에 들어있는 LNG 물량과 인수용을 더한 값이 기존의 저장탱크 용량을 넘어서면 추가로 필요한 저장탱크 용량과 기수를 산정하게 되어있다.

본 논문에서는 저장탱크기수를 10만 kl급 기준으로 계산하였는데, 수요관리 목표율에 따른 변화를 민감하게 보기 위해 0.1기 단위로 변화하도록 하였다. 소요되는 투자비도 10만 kl급으로만 가정하여 건설기간인 4년 동안 (1년차 : 20%, 2년차 : 30%, 3년차 : 30%, 4년차 : 20%) 배분되도록 하였고, 시뮬레이션 대상기간 초기에는 건설기간을 고려하여 LNG 저장탱크 기수에 변화가 없도록 하여 수요관리에 의한 소요탱크기수 변화는 2005년부터 2014년까지 나타나도록 하였다. 이에 따라 LNG 저장설비 투자비는 2001년부터 2014년까지 배분되는데, 2011년부터 2014년까지의 투자비는 2015년 이후 저장설비 증설은 감안하지 않은 것이다. LNG 도입 항차조정은 동절기와 하절기의 물량비율을 49 : 51로 고정하고(이 경우의 동절기는 11~3월, 하절기는 4~10월) 발전용 swing 패턴도 4개년 실적평균 패턴인 경우만 한정하였다.

3. 모사 결과 및 고찰

3-1. 수요관리 개별시행 효과

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 각각 최대수요억제, 기저부하증대, 전략적 부하창출의 목표율별 소요저장탱크기수를 연도별로 나타내는 것이다. 이 논문에서 BAU는 앞서 언급한 장기 천연가스 수요전망을 이용하되 DSM을 시행하지 않고 시뮬레이션을 실행했을 경우를 말한다. PC는 최대수요억제(Peak Clipping), VF는 기저부하 증대(Valley Filling), LB는 전략적 부하창출(Load Building)을 나타낸다. 옆의 숫자는 수요관리 목표율을 나타낸다. 즉, PC1은 동절기 수요의 1%를 감축하는 목표를 가진 최대수요억제를 나타낸다. Table 2에서도 확인할 수 있지만, 목표율이 같을 경우 최대수요억제의 저장설비 감축효과가 가장 크며, 그 다음은 기저부하 증대, 전략적 부하창출의 순서이다.

또한 수요관리 목표율증가에 비례하여 저장설비 감축효과가 증가하지 않는 것을 알 수 있는데, 최대수요 억제와 전략적 부하창출의 경우보다는 기저부하 증대의 경우에는 목표율 증가에 따라 저장설비 감축효과가 좀더 크게 증가하고 있다(Table 2. 참조).

Table 3에는 동절기 수요 1% 억제시의 효과와 완전히 동일하지 않으나 대등한 저장설비 감축효과를 나타낼 경우의 각 수요관리유형들의 효과를 제시하고 있다. 즉, 동절기 수요를 1% 억제할 경우의 효과는, 하절기 수요를 3% 증가시키거나 연간수요의 3.33%를 연중 균등하게 소비하는 새로운 수요를 창출하는 경우의 저장설비감축에 미치는 효과와 거의 비슷한 것으로 나타났다.

Fig. 8은 각각의 경우, DSM에 의한 저장설비 감축효과로 인해 절감된 저장설비 투자비를 10만 kl LNG 저

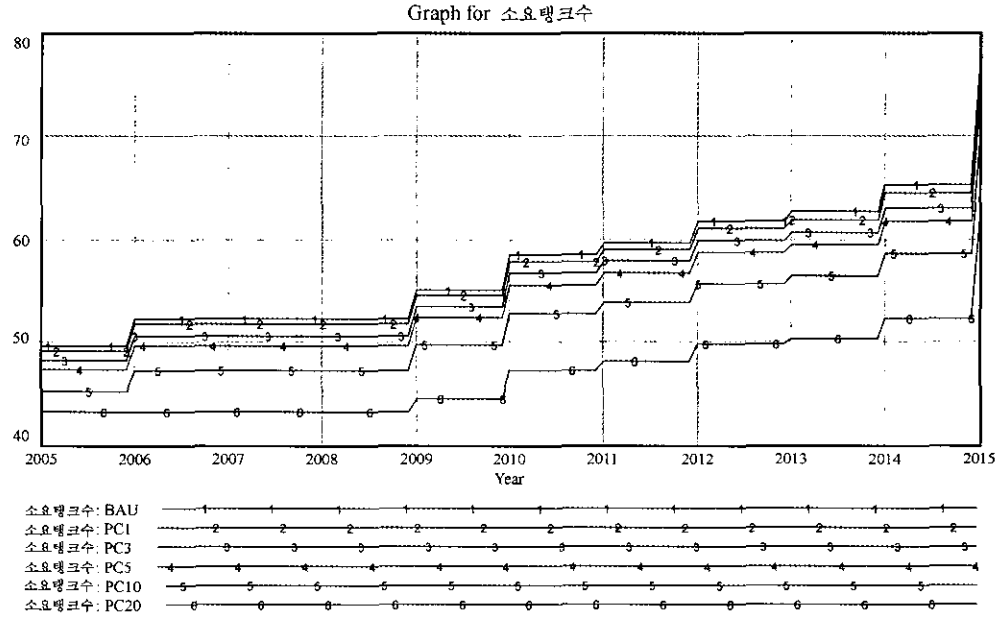

Fig. 5. LNG tank reducing effect by peak clipping.

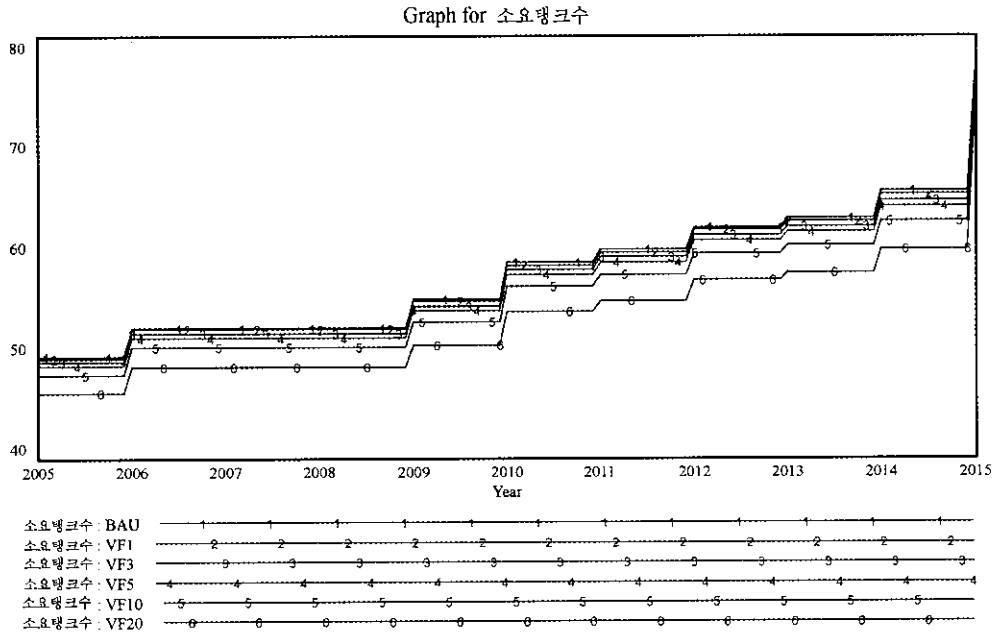

Fig. 6. LNG tank reducing effect by valley filling.

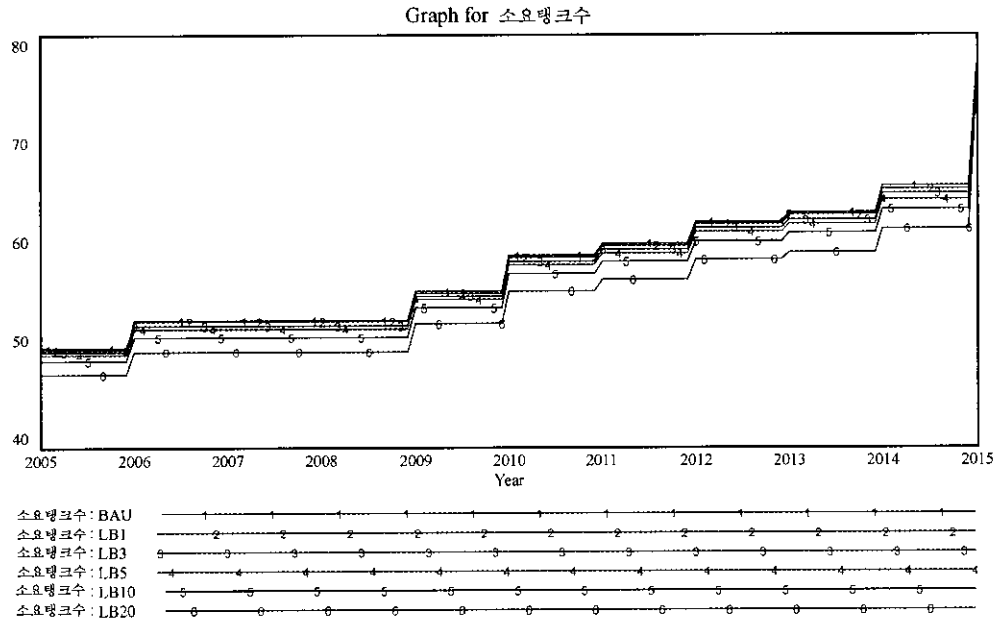

Fig. 7. LNG tank reducing effect by load building.

장탱크를 건설하는 경우의 연도별 투자배분에 따라 나타낸 것이다. 2011년 이후의 투자비 절감액에는 2015년 이후 탱크소요 감소분이 포함되어 있지 않으므로 지속적인 DSM을 실시할 경우 2011년 이후의 투자비 절감액은 더 확대될 것이다. 그리고 동등한 저장설비 감축효과를 가져오는 수요관리 유형별로 TDR변화를 보면, 전략적 부하창출의 경우가 도시가스부문 뿐만 아니라 전체 TDR도 가장 크게 개선시키는 것으로 나타났다(Fig.

Table 2. LNG Tank reducing effect by DSM measures.

구분	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
BAU	49.6	52.3	52.3	52.3	55.1	58.5	59.7	61.8	62.7	65.2
PC1	49.1 (0.5)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	54.6 (0.5)	57.8 (0.7)	59 (0.7)	61.1 (0.7)	61.9 (0.8)	64.4 (0.8)
PC3	48.2 (1.4)	50.6 (1.7)	50.6 (1.7)	50.6 (1.7)	53.5 (1.6)	56.7 (1.8)	57.9 (1.8)	59.9 (1.9)	60.7 (2)	63 (2.2)
PC5	47.4 (2.2)	49.6 (2.7)	49.6 (2.7)	49.6 (2.7)	52.4 (2.7)	55.6 (2.9)	56.7 (3)	58.7 (3.1)	59.5 (3.2)	61.8 (3.4)
PC10	45.2 (4.4)	47.3 (5)	47.3 (5)	47.3 (5)	49.7 (5.4)	52.8 (5.7)	53.9 (5.8)	55.7 (6.1)	56.4 (6.3)	58.6 (6.6)
PC20	43.2 (6.4)	43.2 (9.1)	43.2 (9.1)	43.2 (9.1)	44.5 (10.6)	47.3 (11.2)	48.1 (11.6)	49.8 (12)	50.3 (12.4)	52.3 (12.9)
구분	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
BAU	49.6	52.3	52.3	52.3	55.1	58.5	59.7	61.8	62.7	65.2
VF1	49.4 (0.2)	52.2 (0.1)	52.2 (0.1)	52.2 (0.1)	54.9 (0.2)	58.2 (0.3)	59.4 (0.3)	61.6 (0.2)	62.4 (0.3)	64.9 (0.3)
VF3	49.1 (0.5)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	54.4 (0.7)	57.8 (0.7)	59 (0.7)	61.1 (0.7)	61.9 (0.8)	64.3 (0.9)
VF5	48.7. (0.9)	51.4 (0.9)	51.4 (0.9)	51.4 (0.9)	54 (1.1)	57.3 (1.2)	58.5 (1.2)	60.6 (1.2)	61.4 (1.3)	63.8 (1.4)
VF10	47.9 (1.7)	50.5 (1.8)	50.5 (1.8)	50.5 (1.8)	52.9 (2.2)	56.2 (2.3)	57.3 (2.4)	59.3 (2.5)	60.1 (2.6)	62.4 (2.8)
VF20	46.2 (3.4)	48.6 (3.7)	48.6 (3.7)	48.6 (3.7)	50.7 (4.4)	53.9 (4.6)	54.9 (4.8)	56.8 (5)	57.5 (5.2)	59.7 (5.5)
구분	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
BAU	49.6	52.3	52.3	52.3	55.1	58.5	59.7	61.8	62.7	65.2
LB1	49.4 (0.2)	52.2 (0.1)	52.2 (0.1)	52.2 (0.1)	54.9 (0.2)	58.3 (0.2)	59.5 (0.2)	61.6 (0.2)	62.5 (0.2)	64.9 (0.3)
LB3	49.2 (0.4)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	51.8 (0.5)	54.6 (0.5)	57.9 (0.6)	59.1 (0.6)	61.2 (0.6)	62 (0.7)	64.5 (0.7)
LB5	48.9 (0.7)	51.5 (0.8)	51.5 (0.8)	51.5 (0.8)	54.3 (0.8)	57.6 (0.9)	58.7 (1)	60.8 (1)	61.6 (1.1)	64 (1.2)
LB10	48.3 (1.3)	50.7 (1.6)	50.7 (1.6)	50.7 (1.6)	53.5 (1.6)	56.7 (1.8)	57.9 (1.8)	59.9 (1.9)	60.7 (2)	63 (2.2)
LB20	47.1 (2.5)	49.2 (3.1)	49.2 (3.1)	49.2 (3.1)	52 (3.1)	55.1 (3.4)	56.1 (3.6)	58.1 (3.7)	58.8 (3.9)	61.1 (4.1)

*( )안의 숫자는 저장설비소요 감축기수.

9 참조).

3-2. 수요관리 복합시행 효과

각각의 수요관리 유형을 개별적으로 실시할 때와 복합적으로 사용했을 때의 저장설비 감축효과를 비교한 결과는 다음의 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13과 같다. 같은 목표율일 경우, 개별적으로 수요관리를 시행했을 때의 저장설비의 감축효과의 단순합과, 동시에 시행했을 때의 감축효과가 다름을 확인할 수 있었다. 결과를 보면, 기저부하 증대는 전략적 부하창출이나 최대수요 억제와 동시에 사용했을 때가 개별적으로 시행했을 때보다 효과가 더 있는 것으로 나타난 반면, 최대수요 억제와 전략

Table 3. DSM target ratio in equal LNG tank reducing effect.

최대수요억제 기저부하증대 부하창출	1% - -	- 3% -	- - 3.33%	BAU
2005년	49.1	49.1	49.1	49.6
2006년	51.8	51.8	51.8	52.3
2007년	51.8	51.8	51.8	52.3
2008년	51.8	51.8	51.8	52.3
2009년	54.6	54.4	54.6	55.1
2010년	57.8	57.8	57.8	58.5
2011년	59	59	59	59.7
2012년	61.1	61.1	61.1	61.8
2013년	61.9	61.9	61.9	62.7
2014년	64.4	64.3	64.4	65.2

적 부하창출은 동시에 시행하는 것보다 개별적으로 시행하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다. 세가지 수요관리 유형을 동시에 시행했을 경우에는, 개별적으로 시행한 경우의 단순합과 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

아직 성장단계에 있는 국내 천연가스 시장은 에너지 산업구조개편 등으로 인한 항차조정과 발전 스윙 조정에 의한 수급조절능력이 불확실해지고 있으며, 이는 향후 저장설비 등의 증가에 의한 비용증가 및 가격상승으로 이어질 수 있다. 이에 따라 동고하저의 주요인인 도시가스 부문에 대한 적극적인 수요관리가 필요할 것이다. 본 논문은 도시가스에 적용할 수요관리를 세가지 유형으로 분류하여 LNG 저장설비 소요의 감축효과를 알아보았다. 수요관리 목표율에 따라 비교할 경우 최대수요억제, 기저부하증대, 전략적 부하창출의 순으로 저장설비 소요감축효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 도시가스의 경우 동절기에 수요가 가장 많으므로 같은 목표율이더라도 조정할 물량은 하절기의 경우보다 크다. 즉, 같은 목표율일 경우 조정할 물량은 전략적 부하창출이 가장 크며, 최대수요억제, 기저부하증대의 순으로 작아진다. 또한 수요관리를 복합하여 시행하였을 때의 저장설비 소요감축효과는 각 수요관리 유형을 개별적으로 시행하였을 시의 효과의 단순합과 차이가 있음을 확인하였다. 최대수요억제는 기저부하증대와 같이 시행하였을 때 개별시행의 단순효과합보다 큰 저장설비 소요감축효과가 검증되었고, 전략적 부하창출과 동시에 실시할 때는 그 반대였다. 기저부하증대의 경우는 최대수요억제나 전략적 부하창출에 상관없이 동시에 시행할 때 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

현재까지 천연가스 수요관리에 대한 연구는 초기단계이기 때문에, 고려할 수 있는 모든 수요관리수단에 대한 평가가 완전히 이루어졌다고 볼 수 없으며, 이에 따라 각 개별 수요관리의 시행에 따른 비용, 판매수입변

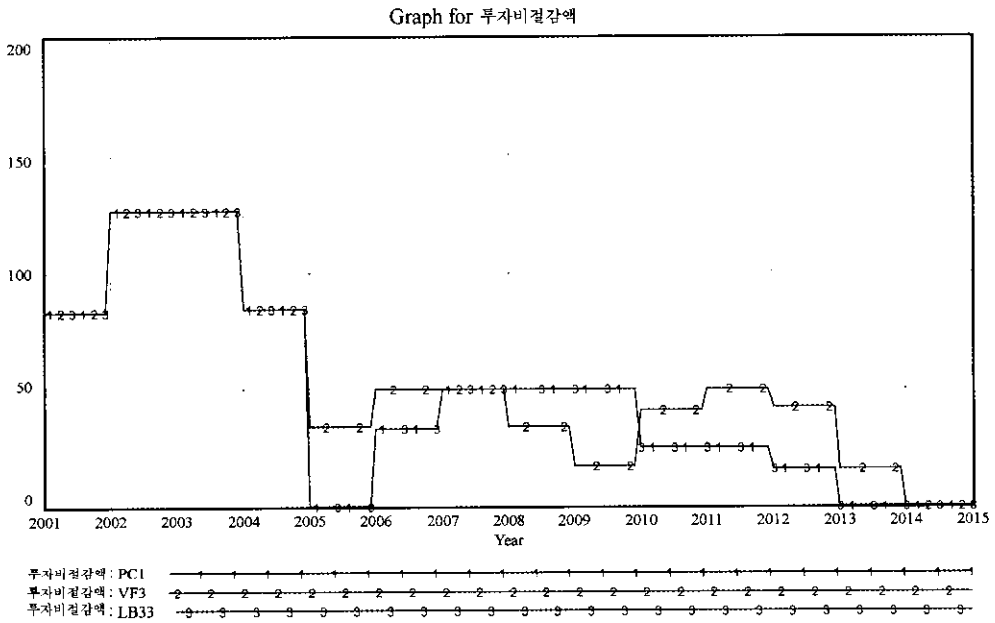

Fig. 8. Investment saving amounts by DSM measures (100 million won).

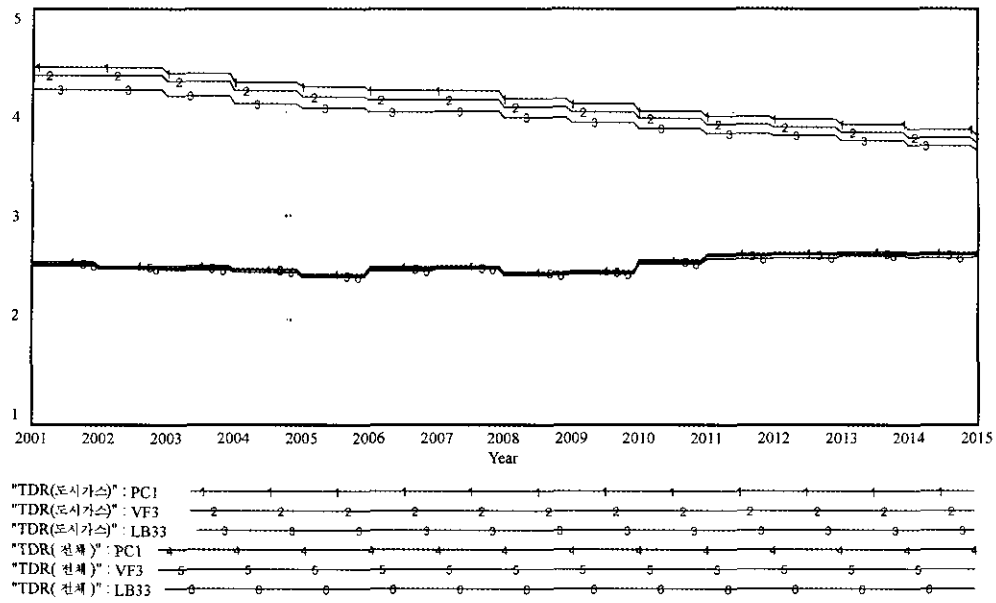

Fig. 9. TDR (Turn Down Ratio) trends by DSM measures.

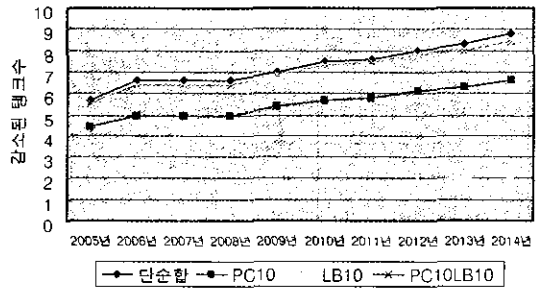

Fig. 10. Combined effect of peak clipping & load building.

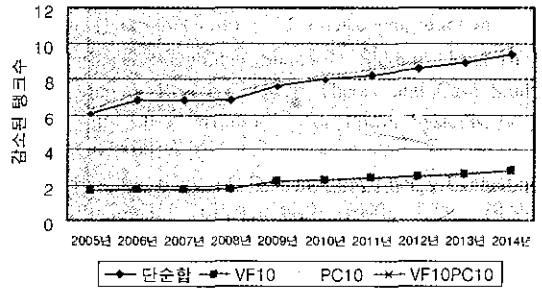

Fig. 12. Combined effect of valley filling & peak clipping.

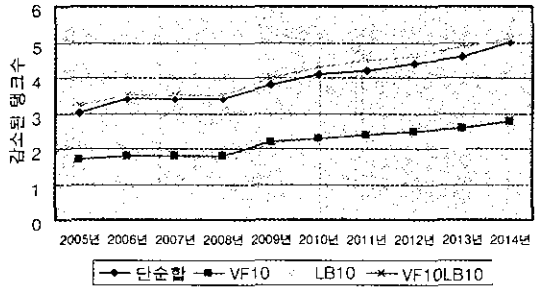

Fig. 11. Combined effect of valley filling & load building.

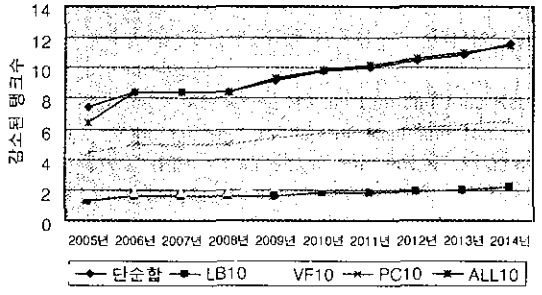

Fig. 13. Combined effect of valley filling & peak clipping & load building.

화, 투자비 감소 등을 정확히 고려하여 비교할 수는 없다. 그러나 위에 나타난 여러 가지 결과와 현실적인 여건을 보았을 때, 최소의 물량조정으로 효과를 볼 수 있으며 다른 유형의 수요관리와 같이 시행할 때 더 효과

가 큰 기저부하증대가 우선적으로 시행하여야 할 수요관리방안이라고 할 수 있을 것이다. 만약 둘 이상의 수요관리를 실시한다면, 수요를 감축하여 수요성장기에 있어 실질적으로 효과를 보기 어려운 최대수요억제보다는 전략적 부하창출과 기저부하증대를 실시하는 것이 더 효과가 있을 것으로 보인다. 그러나, 보다 정확한 평가가 이루어지기 위해서는 우선 각 수요관리 유형별 구체적인 수단들의 정확한 비용과 편익에 대한 연구가 이루어져야만 할 것이다.

사용기호

d_t : t시점의 LNG 도시가스수요
E_t : t시점의 발전용 LNG 수요
e : 월별 최소 발전용 LNG 수요($= \min\{E_1, \cdots, E_T\}$)
I_t : t시점의 LNG 도입
ES_t : t시점의 LNG 초과공급($= I_t - (d_t + E_t)$)
Inv_t : t시점의 LNG 저장시설 요구량
PC : 최대수요억제(Peak Clipping)
VF : 기저부하 증대(Valley Filling)
LB : 전략적 부하창출(Load Building)

참고문헌

1. 산업연구원: "장기 천연가스 수요전망" (1999).
2. 한국가스공사: "제5차 장기천연가스 수급계획검토서" (2000).
3. 대림산업주식회사: "수급조절용 발전사업 타당성 조사 보고서" (1999).
4. 에너지경제연구원: "전력산업 구조개편과 수요관리제도 연구" (1999).
5. 한국가스공사: "천연가스 유통비용구조에 관한 연구" (1998).
6. 한국가스공사: "천연가스 수요관리에 의한 가스공급설비 투자전략 연구" (2000).
7. 에너지경제연구원: "계절별 도시가스 수요관리와 적정 LNG 저장시설산정 연구" (1997).
8. 한국에너지연구회: "도시가스산업의 유통구조에 관한 연구" (1999).
9. 유정돈: "수급불균형이 기업가치에 미치는 영향에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교 (1999).
10. 김봉진 외: "국내 천연가스 수요관리의 경제성 분석: 고효율 가스보일러도입 사례연구", 한국에너지공학회지, 7(1) (1998).