

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 · Ki-Ryun Choi
Dept. of Energy Studies, Graduate School Ajou Univ.

1. 서론

'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. 우리나라의 천연가스 소비는 계절간 수요격차가 심한 동고하저형의 U자형 소비형태를 보이고 있다. 도시가스가 주도하는 이러한 동고하저형의 소비패턴은 천연가스 도입의 경직성으로 인해 도입량을 조절하기 어려운 상황에서 합리적인 수요관리가 이루어지지 않을 경우 막대한 저장설비비용이 소요되는 문제점을 안고 있으며 결과적으로 도시가스 요금 인상의 주요인으로 작용되고 있다.

이러한 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.

그동안 천연가스 수요관리와 저장설비소요의 관계에 대한 연구들은 발전용 수요에 대해 한전의 Swing Consumer 역할을 가정하거나, 자체 수급조절용 LNG발전소를 건설하여 수급불균형을 조정하는 방안이 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 복합적용시의 차이가 있는지 확인하여 앞으로 도시가스 수요관리 방안들의 적절한 선택전략에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구방법론

본 연구에서는 천연가스의 수요 및 수요패턴, 소요 저장탱크기수 그리고 수요관리에 의한 수요조정율을 주요 분석변수로 투자효율성과 DSM활동을 연계할 수 있는 계량모형을 설정하였다. 이를 통해 천연가스 수요 및 수요패턴의 변화로 야기되는 저장설비에의 투자소요

감축효과를 파악하고자 한다. 세부적으로 수요관리에 의한 수요변화와 예측된 수요로부터 LNG 저장설비소요를 계산하는 동태적 분석모형을 두 개의 module을 가진 형태로 구축하였다.

Fig. 1.과 같은 구조를 가지는 분석모형은 천연가스 수요예측치는 산업연구원의 “장기 천연가스 수요전망”^[1]과 가스공사의 “수급검토서”^[2]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.

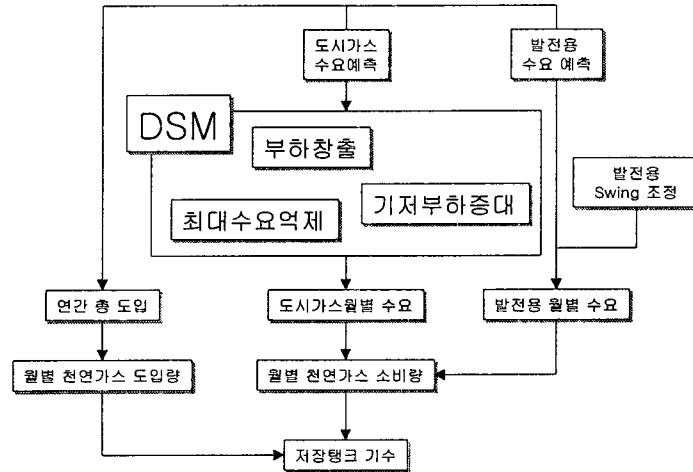


Fig. 1 General Description of Model Structure

2-1. LNG 저장설비 소요산정

LNG 저장탱크의 기본적인 용도는 도입과 소비의 시간차이에 의해 발생하는 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.

$$\text{총 저장용량} = \text{인수용} + \text{계절변동분} + \text{긴급대응분} - \text{항차조정분}$$

- 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 발생하는 저장용량 감소물량.

“계절별 도시가스 수요관리와 적정 LNG 저장시설산정 연구”^[6]에서는 발전용 물량의 조정을 수요관리방안으로 고려하여 최소의 LNG 저장시설을 구하고 있다. 이 연구에서는 기본 전체

로 연간 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 초과공급(ES_i)의 함수이므로 이를 월별 도입량 (I_i), 도시가스 수요 (d_i), 발전용 수요 (E_i), 월별 최소 발전용 LNG수요($e = \min\{E_i, \dots, E_T\}$)로 나타내어 보면 다음과 같다.

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

그리고 t시점의 저장시설 요구량(Inv_t)은 다음과 같다.

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

위 식에서 총도입량과 발전용 수요를 만족하는 dI_i 와 dE_i 로 구성된 수많은 벡터를 구할 수 있으며, 각각의 벡터에 대하여 필요한 저장설비용량을 산출하여 그 중에서 최소의 값을 선택할 수 있다.

본 논문의 저장탱크 소요산정방법은 기본적으로 선행연구의 방법을 인용하였으며, 다만 도시가스 부문에 대한 수요관리를 유형별로 적용하여 그에 의한 LNG 저장설비 감축효과를 알아볼 수 있도록 모형을 구성하였다. 본 논문에서의 저장탱크기수는 10만kl급을 기준으로 계산하였는데, 수요관리에 의한 영향을 민감하게 보기 위해 0.1기 단위로 변화하도록 하였다. 건설기간을 고려하여 수요관리에 의한 소요탱크기수 변화는 2005년부터 2014년까지 나타나도록 하였다. LNG도입 항차조정은 동절기와 하절기의 물량비율을 49:51로 고정하고(이 경우의 동절기는 11~3월, 하절기는 4~10월) 발전용 swing 패턴도 4개년 실적평균 패턴인 경우만 한정하였다.

2-2. 도시가스 수요관리

LNG 저장설비 소요에 영향을 주기 위해서는 Table 1.에서 제시하는 바와 같은 구체적인 수요관리 수단선택이 필요하다. 본 논문에서는 최대수요억제, 기저부하증대, 전략적 부하창출의 세가지 수요관리 유형으로 압축하여 각기 개별적으로 시행하였을 경우와 수요관리 유형을 복합하여 시행하였을 경우의 효과를 각각 산정하고 또한 상호 비교해 보기로 한다.

여기서 수요관리가 실제 저장탱크 소요를 절감하기 위해서는 DSM을 감안한 연간 수요를 알 수 있으며 연간 도입량이 이와 동일하다고 가정할 필요가 있다. 이것은 통상적인 통합사원계획(IRP)의 메커니즘과 비추어 타당하다. DSM을 감안한 수요예측을 이용하여 공급계획을 세우지 않으면 DSM은 그 의미가 없다고 볼 수 있다.

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 연간 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.

Table 1. Natural Gas DSM methodologies

| 기대효과 | 수요관리 수단 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 최대수요억제 (Peak Clipping) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 계절별 차등 요금제도 ○ 가정용 고효율 가스보일러 보급 ○ 산업용 공급중단가능 계약제 |
| 기저부하 증대 (Valley Filling) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 계절별 차등 요금제도 ○ 가스 냉방기 보급확산 ○ 가정용 소형 가스 냉방기 보급 ○ 발전사업 참여 |
| 전략적 부하창출 (Load Building) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스차량 개발 및 보급 ○ 환경규제 또는 연료사용 규제 ○ 산업용 연료 가스대체 |

3. 모사 결과 및 고찰

3-1. 수요관리 개별시행 효과

이 논문에서 BAU는 DSM을 시행하지 않은 경우이고, 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 2.에서도 확인할 수 있지만, 목표율이 같을 경우 최대수요억제의 저장설비 감축효과가 가장 크며, 그 다음은 기저부하 증대, 전략적 부하창출의 순서이다.

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) |

*()안의 숫자는 저장설비소요 감축기수

| 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

Table. 3에는 동절기 수요 1%억제(PC1), 하절기 수요 3%증가(VF3), 연간수요의 3.33%를 연중 균등하게 소비하는 새로운 수요를 창출(LB3.33) 시의 효과만을 제시하였다.

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

| 최대수요억제 | 1% | - | - | BAU |
|--------|------|------|-------|------|
| 기저부하증대 | - | 3% | - | |
| 부하창출 | - | - | 3.33% | |
| 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 |

3-2. 수요관리 복합시행 효과

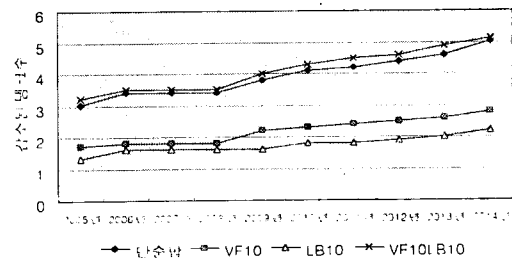
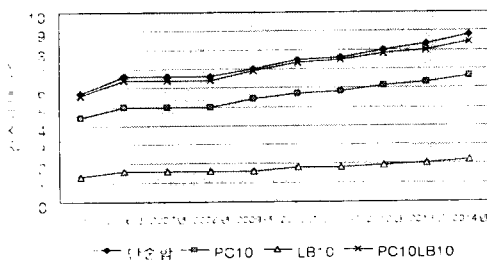


Fig 2. Combined Effect of Peak clipping & Load building Fig 3 Combined Effect of Valley filling & Load building

각각의 수요관리 유형을 개별적으로 실시할 때와 복합적으로 사용했을 때의 저장설비 감축 효과를 비교한 결과는 다음의 Fig 2, Fig 3, Fig 4, Fig 5와 같다. 같은 목표율일 경우, 개별적으로 수요관리를 시행했을 때의 저장설비의 감축효과와 단순합과, 동시에 시행했을 때의 감축효과가 다를 수 있었다. 결과를 보면, 기저부하 증대는 전략적 부하창출이나 최대수요 억제와 동시에 사용하면 그 효과가 개별적으로 시행했을 때보다 더 큰 것으로 나타난 반면(Fig 2, 3), 최대수요 억제와 전략적 부하창출은 동시에 시행하는 것보다 개별적으

로 시행하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다.(Fig 4) 세가지 수요관리 유형을 동시에 시행했을 경우에는, 개별적으로 시행한 경우의 단순합과 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.(Fig 5)

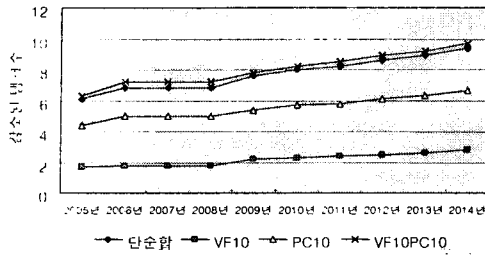


Fig 4. Combined Effect of Valley filling & Peak clipping

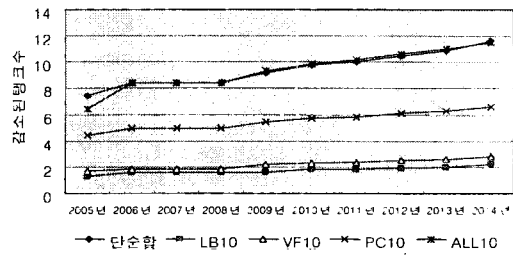


Fig 5. Combined Effect of Valley filling & Peak clipping & Load building

4. 결론

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 목표율이라도 조정할 물량은 하절기의 경우보다 크다. 즉, 같은 목표율일 경우 조정할 물량은 전략적 부하창출이 가장 크며, 최대수요억제, 기저부하증대의 순으로 작아진다. 또한 수요관리 유형의 조합에 따라 서로의 효과가 상쇄되는 경우가 있는 반면 상호보완 될 수도 있음을 알 수 있었다.

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, 판매수입변화, 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 효과가 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.

5. 참고문헌

- [1] 산업연구원, "장기 천연가스 수요전망", (1999)
- [2] 한국가스공사, "제5차 장기천연가스 수급계획검토서", (2000)
- [3] 에너지경제연구원, "전력산업 구조개편과 수요관리제도 연구", (1999)
- [4] 한국가스공사, "천연가스 유통비용구조에 관한 연구", (1998)
- [5] 한국가스공사, "천연가스 수요관리에 의한 가스공급설비 투자전략 연구", (2000)
- [6] 에너지경제연구원, "계절별 도시가스 수요관리와 적정 LNG 저장시설산정 연구", (1997)
- [7] 한국에너지연구회, "도시가스산업의 유통구조에 관한 연구", (1999)
- [8] 유정돈, "수급불균형이 기업가치에 미치는 영향에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교, (1999)