

천연가스 차량 보급이 LNG 저장설비 소요에 미치는 동태적 영향분석

김상준 · 홍정석 · 박찬국 · 최기련

아주대학교 대학원 에너지학과

The Dynamic Effect of Promotion of Natural Gas Vehicles on LNG Storage Facilities

Sang-Jun Kim, Jeong-Seok Hong, Chan-Guk Park and Ki-Ryun Choi

Department of Energy Studies, Graduate School, Ajou University

요 약

본 연구에서는 최근 대도시 대기오염물질 감소 차원에서 추진되고 있는 천연가스 자동차의 보급 확대가 LNG 저장탱크 및 부하패턴에 미치는 영향을 계량 모형을 통해서 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 천연가스 자동차 보급이 천연가스 수요관리의 역할을 수행할 수 있는지의 여부에 대해서도 검증하였다. 모형 분석 결과, 수송용 천연가스는 지속적으로 증가하여 2014년에는 총 수요의 7.84%를 점유할 것으로 전망되었으며, LNG 저장탱크 또한 천연가스 차량을 도입하지 않았을 경우와 비교하여 10만 kJ급 기준으로 2014년에는 1.3기의 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 도시가스용 월별 TDR은 2014년에 0.4, 전체 월별 TDR은 0.15정도 개선될 것으로 전망되었다. 이러한 결과는 천연가스 자동차 보급이 환경개선 뿐만 아니라 천연가스 저장설비 절감 효과도 있음을 증명한 것이다. 따라서, 천연가스 자동차 보급 확대는 천연가스 수요관리 방안으로서 역할을 충분히 수행할 수 있음이 검증되었으며, 저장설비 최적화를 위한 수요관리의 일환으로서 고려될 수 있다. 그러나, 본 연구에서 구성한 수송용 천연가스 수요전망 모형은 시장 기능을 반영한 수요전망 모형이라기 보다는 정부의 천연가스 차량 보급 추진계획을 토대로 이를 수정한 모형임을 밝힌다.

Abstract — This paper attempts to analyze the effects of promotion of natural gas vehicles (NGVs) on LNG storage facilities and load patterns, and to verify economic feasibilities of NGVs as a DSM (Demand-Side Management) strategy. For these purposes, we have established an econometric model. Results from the model indicate that natural gas demand in transportation sector will increase continuously, having a 7.84% share in total natural gas demand in 2014. By this analysis, the increased use of NGVs can result in a decreased requirement on the volume of around 1.3 LNG tanks lower in 2014. Also, it shows that TDRs can be reduced by 0.4 for the city gas and by 0.15 for the total LNG in 2014. As a conclusion, we suggest that the promotion of NGVs may play an efficient role as a DSM strategy, and should be considered as a promising strategy to optimize the investment needs in LNG sector as well as an environmental protection measures. Lastly, we acknowledge that a transportation module in our model is based on a Korean government's NGVs promotion plan, not on a market function.

1. 서 론

우리나라의 자동차 보유대수는 1980년대 초부터 최근 까지 연평균 20%에 가까운 높은 증가추세를 보여왔으며¹⁾, 향후에도 증가추세가 지속될 것으로 전망된다. 이러한 교통량 증가로 인하여 1998년말 현재 국내 전체 대

기오염물질 배출량의 약 41% 정도가 자동차로부터 배출되고 있으며, 특히 서울의 경우는 전체 대기오염물질 배출량의 84%가 자동차에서 배출되고 있다. 또한, 전체 자동차 중 3.8%에 불과한 버스, 트럭 등의 대형 경유 자동차가 자동차로부터 발생하는 총 대기오염물질의 42.9% 가량을 배출하고 있어서 이에 대한 대책이 요구되어 왔다²⁾.

자동차에서 배출되는 대기오염물질 감소를 위한 대책의 일환으로서 기존의 석유계 액체연료를 사용하는 자동차를 천연가스 자동차(Natural Gas Vehicles; NGV)로 교체하는 방안이 고려되고 있다. NGV는 기존 휘발유나 경유 자동차에 비해 CO₂, CO, HC, NO_x, 매연 등의 배출이 현저히 낮고, SO_x는 배출하지 않는 등 대기오염 물질을 적게 배출하는 장점을 가진 것으로 알려져 있다¹¹⁾.

이에 따라, 1996년 8월과 1997년 2월에 천연가스 차량 보급 계획을 발표하였다. 이후 1996년에 9대, 1997년에는 100대의 천연가스 자동차를 시범 운행한 후, 1998년부터 대도시를 중심으로 가스 충전소 등 기반시설을 확충하는 동시에 천연가스 자동차를 보급해 나간다는 방침에 따라 1998년 7월 CNG(Compressed Natural Gas) 시내버스 4대를 시범 운행하고 충전소 2개소를 설치하였다. 정부는 2000년에 1,500대의 CNG 시내버스를 보급하고자 하였으나, 관계 법령의 미비, 충전소 부지 확보의 어려움, 지원금 수준의 문제 등으로 2000년 말 현재 총 46대의 CNG 시내버스가 보급되는데 그치고 있다. 그러나, 부산, 대구, 인천 등 대도시와 월드컵을 개최하는 도시를 중심으로 시내버스와 관용차를 천연가스 차량으로 교체하고자 하는 요구가 늘고 있어, 차량 이용을 위한 기반시설이 확보된다면 천연가스 차량은 더욱 증가할 것으로 전망된다.

한편, 우리 나라에 천연가스가 공급된 이래로 그 소비는 1986년 54.4천톤에서 1999년 12,961천톤으로 급속히 증가하였다. 그러나, 우리 나라의 기후 특성상 동고하저의 천연가스 소비패턴이 고착화와 도입부문의 경직성으로 인하여, LNG를 하절기에 저장하여 동절기에 소비해야만 하기 때문에 비축을 위한 저장탱크의 건설이 불가피한 실정이다.

1995년 이후 도시가스용 소비량이 발전용 소비량을 앞질러 소비패턴을 더욱 악화시켰으며¹²⁾, 도시가스용 수요 중에서도 동고하저의 소비패턴이 가장 뚜렷이 나타나는 가정용 수요가 급증하고 있어 일반적으로 천연가스 수요 증대는 저장탱크 추가 건설을 의미한다. 한국가스공사¹³⁾에 의하면, 현재 20기 정도인 10만 kt급 저장탱크가 2010년에는 최소 51기, 최대 66기까지 필요로 할 것으로 전망하고 있다.

그러나, 적정 규모의 설비투자를 유지하는 것이 국가 에너지 시스템 적정화를 위해 긴요한 과제가 될 것이다. 따라서, 이와 같이 급속히 증가하고 있는 저장탱크 건설 수요를 억제하여 설비투자의 합리화를 기하기 위해서 천연가스 수요관리의 일환으로서 소비패턴이 양호한 수요의 개발이 요구되고 있다. 그 중에서도 천연가스 차량에서 소비되는 가스량은 거의 연중 균일한 소비패턴을 보일 것이므로, 전반적인 소비패턴을 개선시킬 수 있

을 것으로 기대된다.

한편, 에너지 수요관리의 일반적 개념은 에너지절약 및 부하관리를 위한 투자를 통하여 공급시설의 확충부담을 경감해 나가는 행위¹⁴⁾로 정의된다. 전력 분야의 경우, 초기단계에는 부하관리를 중심으로 수요관리를 추진하다가 점차 에너지절약 분야로 확대되고 있다¹⁵⁾. 우리나라의 가스산업은 아직 급속한 성장기에 있어서¹⁶⁾ 천연가스 소비 절약과 더불어 부하패턴이 우수한 수요처의 개발에도 큰 비중을 두어야 하며, 따라서 수요관리의 방향 또한 부하관리 방안에 초점이 맞추어져야 할 것이다. 이러한 측면에서 천연가스 자동차 보급 확대는 매우 효과적인 수요관리 방안 중 하나로 고려되어 질 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고, 지금까지의 천연가스 차량 보급 계획은 환경보호의 논리에 의해서만 추진되고 있으며, 천연가스 차량 보급이 국내 에너지 산업계에 미칠 영향에 대한 분석은 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서, 천연가스 수요 전망 및 도입 계획을 재조정하고, 이를 바탕으로 적정 규모의 설비투자 계획을 수립할 수 있도록, 향후 수송부문에서의 천연가스 소비 증가로 인한 영향 파악이 가능한 분석 도구의 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 국내 LNG 저장탱크 산정 모형을 개발하고, 이를 이용하여 천연가스 자동차가 보급되었을 경우를 가정하여 LNG 저장탱크 소요에 미치는 영향과 TDR(Turn-Down Ratio)¹⁷⁾의 변화를 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 천연가스 자동차 보급이 천연가스 수요관리로서의 역할을 수행할 수 있는지의 여부에 대해서도 검증하였다.

2. 분석모형의 구성

본 연구에서 개발된 모형의 분석대상 기간은 2001년부터 2014년까지 14개년이며, 전기(前期)의 결과가 다음기(期)에 영향을 미치는 동태적 구조를 가지고 있다. 모형에서 사용된 천연가스 수요예측치는 산업연구원¹⁸⁾의 자료를 그대로 이용하고, 여기에 천연가스 차량의 보급에 따른 천연가스 수요를 월별로 첨가하였다.

2-1. 저장탱크 산정 모형

2-1-1. 기존 연구 사례 분석

한국가스공사¹⁹⁾에 의하면, 현재 LNG 저장탱크의 기본적인 용도는 동고하저의 수요패턴과 도입의 경직성에 의한, 즉 LNG 도입과 소비의 시간차이에 의해 발생하는 물량을 저장하는 것이다. 다시 말하면, 하절기의 초과공급량을 저장하여 동절기의 초과소비량에 대비하기 위한

¹⁷⁾최고사용월과 최소사용월의 수요격차비.

용도라고 볼 수 있다. 여기에 더하여, 비상시에 대비한 비축분과 운송된 LNG를 하역선으로부터 인수하기 위해 필요한 인수분 만큼의 탱크도 확보해야 한다. 1년간 저장해야할 LNG 물량은 다음과 같은 4가지 물량으로 구성된다.

- 총 저장용량=인수용+계절변동분
+진급대응분-항차조정분 (1)

또한 위의 4가지 물량에 대한 정의는 다음과 같다.

- > 인수용 : LNG 수송선이 생산기지 접근 시 즉시 하역이 가능토록 비워놓은 탱크용량으로 각 기지별로 수송선 1척에 해당하는 인수용량
- > 계절변동분 : 연간 가스수요의 계절별 부하 및 LNG 도입물량과의 차이로서 하절기에 도입 물량을 저장하여 동절기에 사용할 수 있는 용량. 월평균수요에 미달하는 4월에서 10월까지 7개월간 수요를 초과하여 도입되는 LNG 저장에 필요한 탱크용량 확보
- > 진급대응분 : LNG 수송선의 장거리 해상수송에 따른 태풍, 파도 등 천재 지변과 가스 생산국 사정에 의한 수송선의 도착지 연시에 대비한 안정공급을 고려한 물량. 재고부족이 예상되는 매년 3월 수요기준으로 2004년까지 3일분에서 2005년부터 5일분의 진급대응분 적용
- > 항차조정분 : 천연가스 수급조절을 위하여 연간 도입물량을 수요패턴을 고려하여 도입 일정을 조정하여 발생하는 저장용량 감소물량

이러한 저장탱크의 기본적인 용도를 바탕으로, 에너지경제연구원¹³⁾은 발전용 물량의 조정을 수요관리의 한 방안으로 고려하여 최소의 LNG 저장시설을 산정한 바 있다. 이 모형에서는 기본 전제로 연간 도시가스 및 발전용 가스의 총수요는 주어져 있으며, 이에 상응하는 물량만을 도입하는 것을 가정하고 있다. 그리고 월간 물량배분은 일정한 범위 내에서 조정이 가능하며, 이는 가스 공급사가 취할 수 있다고 상정한 2가지 정책적 대안인 도입물량의 월별 조절가능 물량 즉, 항차조정과 발전용 물량의 월별 조절물량으로 나뉘어 진다. 이러한 조절을 통해 가스 공급사는 저장시설 요구량을 감소시킬 수 있다. 저장설비 요구량은 월별 초과공급의 합수이므로, 먼저 월별 초과공급량을 월별 도입량, 도시가스 수요, 발전용 수요로 나타내어 보면 다음 식(2)¹⁴⁾와 같다.

$$ES_i = I_i - (d_i + E_i) = (\bar{I} + dI_i) - (d_i + e + dE_i) = (\bar{I} - d_i - e) + (dI_i - dE_i) \quad (2)$$

여기서, \bar{I} 는 평균도입, dI_i 는 평균도입을 초과하는 수요를 의미하며,

$$dE_i = E_i - e, \quad e = \min\{E_1, \dots, E_T\}.$$

그리고, t 시점의 저장시설 요구량은 다음 식(3)¹⁵⁾과 같다.

$$Inv_t = \sum_{i=1}^t ES_i = \sum_{i=1}^t (\bar{I} - d_i - e) + \sum_{i=1}^t (dI_i - dE_i) \quad (3)$$

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.

한편, 한국가스공사의 저장탱크 산정모형¹⁶⁾의 구조를 살펴보면, 에너지경제연구원¹⁴⁾의 연구와 마찬가지로 1년간 도입되는 LNG 물량은 소비되는 LNG 물량과 완전히 동일하다고 가정한다. 이러한 가정으로 인해 1년간 저장해야할 물량을 계산하는데 필요한 자료는 수요예측치만을 필요로 하게 된다. 수요는 모델 자체에서 예측하지 않고 외생적으로 결정된 월별 수요예측치를 사용한다. 연간 도입물량은 어느해 4월부터 이듬해 3월까지의 월별 수요예측치를 더하여 계산한다. 이렇게 구해진 연간도입 물량이 도입의 경직성으로 인해 연중 일정하게 도입된다면 소비가 줄어드는 하절기에는 도입량이 남게 되어 저장해야할 물량(계절변동분)이 생기게 된다. 이 물량은 소비가 도입보다 많은 동절기에 모두 소비되게 된다.

2-1-2. 모형의 주요 전제조건

본 연구에서는 기존의 연구사례를 토대로 하고, 이를 개선하여 저장탱크 산정 모형을 구성하였다. 저장탱크 산정 모형 설계 시의 주요 전제 조건은 다음과 같다.

- ① 외생적으로 결정되는 수요예측 자료 중 도시가스 용은 산업연구원¹⁴⁾의 월별·부문별 천연가스 소비 전망 기준안을 사용하였으며, 발전용 수요는 한국가스공사¹⁶⁾의 연간 수요예측 자료를 사용하였다¹⁷⁾.
- ② 도입량은 한국가스공사¹⁶⁾의 도입계획을 사용하고 기확정분이 수요예측치보다 적을 경우 기존의 방법과 같이 연간수요와 일치한다고 가정하였다.
- ③ LNG 도입 물량은 월별로 계산되며, 이를 합산하

¹³⁾한국가스공사 실무부서에서 저장탱크 기수 산정을 위해 자체 제작하여 사용하고 있는 모형이다.

¹⁴⁾산업연구원¹⁴⁾은 도시가스용 수요만 전망하였으며, 발전용 수요는 한국전력의 제5차장기전력수급계획(안)의 내용을 인용하였다. 한국가스공사¹⁶⁾는 이러한 산업연구원의 자료를 재인용하였는데, 발전용 수요는 가스공사의 입장에서 재전망하였다. 따라서 본 연구에서는 발전용 수요는 한국가스공사¹⁶⁾의 자료를 인용하였다.

여 연간 총 도입량을 계산한다.

- ④ 인수용의 경우 2002년 통영생산기지 건설에 따른 증가를 반영하여, 2002년까지는 11만 2천톤으로, 그 이후는 16만 8천톤으로 가정하였다.
- ⑤ 긴급대응분은 2004년까지는 3월 수요의 3일분을, 2005년부터는 3월 수요의 5일분을 적용하였다.
- ⑥ 시나리오 분석 시의 복잡함을 피하기 위하여 LNG 항차조정 비율(동절기 : 하절기)은 한국가스공사에서 분석의 기준으로 사용하고 있는 49 : 51⁴⁾로 하였으며, 발전부문의 수요패턴은 최근 4개년 소비실적 평균을 적용하였다.
- ⑦ 저장탱크 기수 계산은 10만 k급을 기준으로 하였다.

2-1-3. 모형의 구조

기본적으로 이 모형에서는 월별 수요와 도입, 그리고 그에 따른 탱크에 저장되어있는 LNG 물량(재고량)을 매월 계산한다. 이 때의 도입량은 항차조정된 것이므로, 이 재고량은 계절변동분과 항차조정분을 모두 감안하는 것이 된다. 월별로 재고량을 계산하므로, 동고하저의 수요 패턴과 도입의 경직성에 따라 이 물량은 1년 중 3월경에 저점을 지나고 하절기의 끝인 10월경에 고점을 지난다. 해당 연도에 필요한 저장용량은 이 고점으로 계산된다. 그리고 긴급대응분을 포함한 저장탱크의 최저운용액위를 계산하여 결국 재고량이 산정된다. 이렇게 계산된 재고량과 인수용을 더한 값이 기존의 저장탱크 용량을

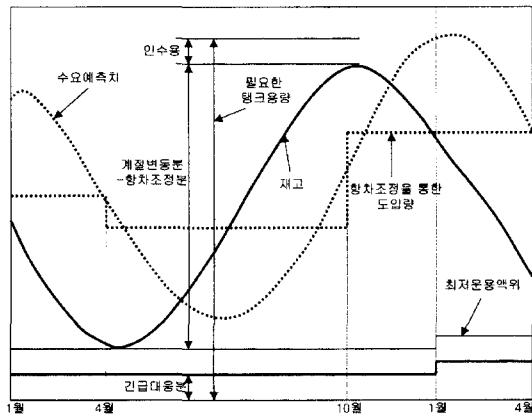


Fig. 1. Schematic diagram of the required storage capacity.

⁴⁾총 연간도입물량 중 동절기(11~3월)에 49% 만큼을 도입하고 하절기(4~10월)에 51% 만큼을 도입함을 의미한다. 항차조정이 없고 연중균등하게 LNG가 도입될 때의 동 : 하 비율은 41.7 : 58.3이다. 따라서 항차조정 비율이 49 : 51이라는 것은 저장설비 부담을 줄이기 위해서 하절기 도입물량을 줄이고 동절기 도입물량을 늘렸을 때를 의미한다.

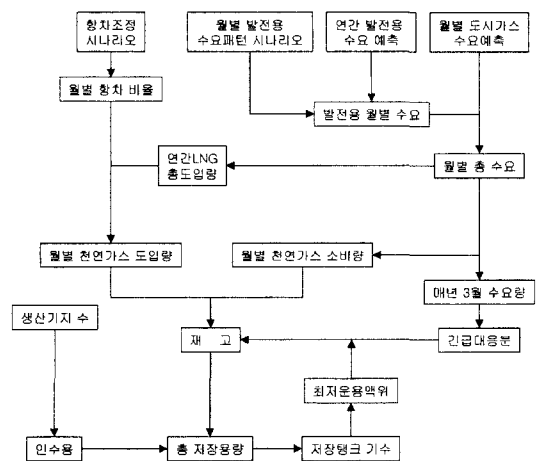


Fig. 2. Structure of the required storage tank model.

을 넘어서면 추가로 필요한 저장탱크 용량을 산정하고 필요한 저장탱크기수를 계산한다. Fig. 1은 이러한 필요한 저장탱크 용량의 계산과정에 대한 이해를 도식적으로 보여주고 있다.

Fig. 2는 모형의 구조를 도식적으로 보여주고 있는 그림이다. Fig. 2에 나타난 주요변수별로 살펴보면, '월별 천연가스 소비량'을 계산하는 기본적인 자료는 도시가스의 경우에는 월별로, 발전용의 경우는 연간으로 천연가스 수요예측자료를 사용하였다. 시나리오에 따른 월별 발전용 수요패턴으로 월별 발전용 수요가 도출되면, 월별 도시가스 수요와 합쳐서 '월별 천연가스 소비량'에 사용하기 위한 월별 총수요를 계산한다.

이렇게 계산된 월별 총수요는 다시 4월부터 다음해 3월까지 더하여 연간 도입해야할 LNG 물량을 계산하는 자료로 사용된다. 계산된 연간 LNG 도입량으로부터 항차비율에 의해 '월별 천연가스 도입량'이 산출된다. 그리고 위에서 언급했던 저장탱크에 들어있는 LNG 물량(즉, 재고량)은 '재고'라는 변수에서 '월별 천연가스 도입량'과 '월별 천연가스 소비량'에 의해 계산된다. '재고'는 식(4)와 같이 계산된다.

$$Inv_t = Inv_{t-1} + \int_{t-1}^t (Q_{In} - Q_{Out}) \cdot dt \quad (4)$$

- 여기서, I_{inv} : t 시점의 재고
- Q_{In} : 단위시간(월별) 중 발생하는 천연가스 도입량
- Q_{Out} : 단위시간(월별) 중 발생하는 천연가스 소비량

식(4)는 어느 시점에서의 '재고'는 전(前) 시점에서의

‘재고’에 두 시점 사이에서 발생하는 ‘재고’의 변화량을 더한 값임을 의미한다. 결국 이 ‘재고’ 변수는 계절변동분, 항차조정분 및 긴급대응분과 더불어 최저운용액위까지 감안된 것이다. 총 저장용량에서 이 재고량과 인수용 용량을 합하여 필요한 탱크용량을 계산하게 된다. 긴급대응분을 계산하기 위한 매년 3월 소비량도 앞서 계산한 월별 총 수요를 사용한다. 계산된 긴급대응분은 최저운용액위와 더해져서 결국 재고에 감안된다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 ‘최저운용액위’는 저장탱크 유지시의 안전 고려와 더불어 기술적으로 사용이 불가능하여 저장탱크에 항상 남아있게 되는 가스량을 의미한다. 따라서 이는 저장탱크 기수가 추가될 때만 증가하는 일종의 재고이므로, Fig. 2에서 ‘재고’에 재반영(Feedback)된다⁵⁾

이상과 같이 구성된 저장탱크 산정 모형은 에너지경제연구원¹⁴⁾이나 한국가스공사의 저장탱크 산정모형의 구조와 크게 두 가지 점에서 차이를 보인다. 첫째, 이 두 연구에서의 계산기간 즉, 한 기(期)는 1년이다. 즉, 연 단위의 도입량과 소비량으로 연 단위의 재고량을 산출하였다. 또한 소요 저장탱크의 증가 시점을 그 동안의 경험을 바탕으로 매년 10월로 고정하였다. 그러나, 본 연구에서 구성한 모형에서의 한 기(期)는 1개월로서, 월별 도입량과 소비량을 바탕으로 월별 재고량을 산출하여 소요 저장탱크를 월 단위로 예측한다.

둘째, 위의 두 연구에서는 전기(前期)의 재고량이 다음 기(期)의 저장탱크 운용에 영향을 미치지 못하지만, 본 연구에서 구성한 모형에서는 전기(前期)의 재고량이 다음 기(期)로 이월되어 저장탱크 기수 결정에 영향을 미친다. 즉, 선행 연구에서와는 다르게 동태적 개념을 도입하여 보다 정확한 소요 저장탱크의 산출이 가능하도록 하였다.

2-2. 수송용 천연가스 수요 전망 모형

한국에너지기술연구소와 한국가스공사 연구개발원¹⁵⁾은 CNG전용차량 뿐만 아니라 LPG나 가솔린을 연료로 하는 2계통 연료차의 보급을 가정하여 동절기(11~3월)간 천연가스를 사용하지 않는 경우 천연가스 소비량을 산출하였다. 그러나 이 연구는 2000년 1개년도만을 효과 분석의 대상기간으로 설정하였고, 또 기타 여러 가지 정책적 고려를 기초로 하여 CNG 자동차가 2000년에 무

⁵⁾한국가스공사¹⁴⁾에서는 식(1)로부터 총 저장용량은 계산한 다음 이를 최저운용액위를 뺀 기준 저장탱크 용량으로 나누어 저장탱크 기수를 계산하였다. 그러나 본 연구에서는 최저운용액위는 긴급대응분과 더불어 사용할 수 없는 물량¹⁴⁾이므로 ‘재고’의 일종으로 고려하여 이들을 총 저장용량에 더해지도록 한 후, 기준 저장탱크 용량으로 나누어 저장탱크 기수를 산출하였다. 이는 모형 구축 시 논리 전개상의 문제일 뿐 동일한 결과를 얻는다.

려 1만대가 보급될 것으로 가정하였다. 그러나, 환경부¹⁴⁾의 2000년 CNG 전용 시내버스 보급계획은 1,500대이었으며, 2007년까지 총 20,000대의 CNG 시내버스를 보급할 계획이다. 더욱이 2000년 보급실적은 46대에 불과하였던 점을 고려하면 너무 급격한 보급전망을 한 것으로 사료된다.

한편, 산업연구원¹⁶⁾은 부문별 천연가스 수요전망과는 별도로 천연가스 잠재수요의 하나로서 천연가스 차량 보급에 의한 수송용 수요를 전망하였다. 이 연구에서는 먼저 차종별 천연가스 차량보급 전망을 하고, 여기에 차종별 연비와 연간주행거리 등을 이용하여 2000~2015년의 수송부문 천연가스 수요를 산정하였다. 차종별 천연가스 차량보급 전망을 위해서는 식(5)¹⁷⁾를 이용하였다.

$$NGV_i = VM_i \times CR_i \times SR_i \quad (5)$$

여기서, NGV_i : t년도 i차종의 천연가스 차량 도입대수
 VM_i : t년도 i차종의 보유대수
 CR_i : t년도 i차종의 개체율
 SR_i : t년도 i차종의 천연가스로의 대체율

식(5)는 t년도 i차종의 총 보유대수 중 신차로 교체(개체율)하고자 하는 차량 중에서만 NGV로 대체(대체율)가 가능함을 의미하며 중고차를 개조하여 사용하는 것은 배제한다.

또한, 수송부문의 천연가스 수요 전망을 위해서는 식(6)¹⁸⁾을 이용하여 계산하였다.

$$GD_i = NGV_i \times DI_i \div EF_i \quad (6)$$

여기서, GD_i : t년도 i차종의 천연가스 수요량
 DI_i : t년도 i차종의 연간 주행거리(km)
 EF_i : t년도 i차종의 연비(km/m³)

본 연구의 주안점은 수송부문의 천연가스 소비가 LNG 저장설비에 미치는 영향 분석이며, 수송부문의 천연가스 수요전망 자체는 아니다. 따라서, 이에 대한 기존 연구 중 가장 자세한 내용을 담고 있는 산업연구원¹⁶⁾의 전망 방식을 이용하여 다음과 같이 간단한 수송용 천연가스 수요전망 모형을 재구성하였다.

먼저, 차종별·연도별 천연가스 차량 도입대수 전망으로부터 식(6)을 이용하여 차종별 연간 주행거리와 연비를 감안하여 연간 수송용 천연가스 수요를 전망하였다.

여기서, 천연가스 차량 도입대수는 Table 1과 같이 가정하였다. 이는 산업연구원¹⁶⁾에서 ① 일반 연료를 사용하는 차종별 보유대수, ② 개체율, ③ 천연가스 차량으로의 대체율 등을 고려하여 전망한 것을 2000년 시내버스 보급 실적을 반영하여 수정한 것이다. 산업연구원¹⁶⁾에서는 천연가스 차량 보급은 상당기간 시장원리에 의

Table 1. Forecasting of natural gas vehicles.

차종	2000년	2002년	2005년	2010년	2015년
승용차	-	819	4,122	17,572	47,374
관용	-	248	639	1,316	2,022
자가용	-	-	1,083	10,067	33,332
영업용	-	571	2,400	6,189	12,020
승합차	46	3,835	14,942	35,619	55,787
관용	-	274	764	1,649	2,596
자가용	-	-	1,547	10,302	20,749
시내버스	46	3,561	12,561	23,061	30,561
기타 영업용	-	-	70	607	1,881
화물차	-	-	790	5,267	10,619
합계	46	4,654	19,854	58,458	113,780

해서가 아니고 정부 주도에 의해 이루어질 것이기 때문에 관용차량부터 우선 보급되고, 그 다음으로 정부의 허가를 받아 운행되는 차량이 보급된 다음, 마지막으로 민간부문의 차량이 보급될 것으로 예상하였다. 이에 따라 우선 천연가스 시내버스가 환경부의 계획대로 2000년부터 단계적으로 보급⁶⁾되고, 2002년부터는 관용 승합차 및 승용차와 영업용 승용차가 단계적으로 천연가스 차량으로 대체되며, 2005년부터는 자가용 승용차 및 승합차와 화물차도 천연가스 차량으로 단계적으로 대체되는 것으로 가정하였다.

또한, 차종별 연간 주행거리와 연비는 Table 2와 같이 가정하였다. 이는 산업연구원¹³⁾에서 가정한 내용과 자동차공업협회⁷⁾ 및 교통안전공단¹⁴⁾의 자료를 참조하였다. Table 2의 연간 주행거리 및 연비는 분석대상 기간 동안 개선되지 않고 일정한 것으로 가정하였다.

다음으로, 산출된 연간 수요를 월별 수요로 배분하였다. 에너지통계월보⁸⁾의 최근 10개년(1991~2000년) 자료를 근거로, 수송용 천연가스 수요의 계절간 편차는 없는 것으로 가정하고 단순히 12로 나누어 각 월별 수요를 산출하였다⁹⁾.

Table 2. Annual average mileages and kilometer-per-cubicfeet for NGVs.

차종	연간주행거리 (km)	연비 (km/Nm ³)
승용차	관용	20,000
	자가용	20,000
	영업용	90,000
승합차	관용	20,000
	자가용	20,000
	시내버스	90,000
	기타 영업용	90,000
화물차	27,720	7.38

에너지공학 제10권 제3호 2001년 9월

마지막으로, 이렇게 산출된 월별 수송용 천연가스 수요를 저장탱크 산정 모형의 월별 천연가스 총 수요에 더함으로써 초기의 천연가스 수요전망치를 변화시킨다. 변화된 수요전망치는 저장탱크 산정과 도입부문에 영향을 미치게 된다.

3. 분석결과

3-1. 수송용 천연가스 수요 전망

수송용 천연가스 수요전망 모형을 통해서 얻은 수요 전망 결과는 Table 3 및 Fig. 3과 같다.

수요 전망 추세를 간단히 살펴보면, 전체적으로 2001년 69,103톤에서 2015년 1,507,832톤으로 수요가 성장하여, 연평균 24.6%의 성장률을 보일 것으로 예상되었다. 승용차의 경우, 2002년 관용과 영업용을 중심으로 보급된 후 2015년까지 연평균 증가율 30.5%의 수요 성장이 예상되었다. 승합차는 정부의 추진 의지에 의해 보급된 천연가스 시내버스의 소비와 더불어 관용, 자가용 등으로 그 수요가 확대되어, 2015년까지 연평균 증가율 23.7%의 수요 성장이 전망되었다. 한편, 천연가스 화물차는 2005년부터 보급이 예상되며, 2015년까지 연평균 29.7%의 수요가 성장될 것으로 예상되었다. 이러한 수요 성장으로 인하여 전체 천연가스 수요에서 수송용 천연가스가 차지하는 비중 또한 2001년 0.74%에서 지속적으로 증가하여 2015년에는 7.84%으로 확대될 것으로 전망된다.

3-2. 소요 저장탱크 및 TDR에 미치는 영향

천연가스 자동차 도입에 따른 LNG 저장탱크 및 TDR의 변화는 Table 4, Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 그림과 표에서 “NGV 미도입시”는 천연가스 차량의 도입이 없다고 가정한 경우로서 산업연구원¹³⁾의 천연가스 수요전망치로 LNG 저장탱크 및 TDR을 계산한 것이다. “NGV 도입시”는 천연가스 자동차가 연도별 보급전망 대로 도입된다고 가정한 경우로서, 모형에서 계산된 수송용 천연가스 수요전망치를 총 수요전망치에 가산함으로써 초기의 천연가스 수요전망치는 갱신되고, 이렇게 수정된 수요전망치에 의해서 LNG 저장탱크 및 TDR을 재산정한

⁶⁾2000년도 환경부의 천연가스 시내버스 보급계획은 1,500대이었으나, 실제 보급실적은 46대에 불과하였다. 따라서 본 연구에서는 2000년까지는 보급 실적을 반영하였다.

⁷⁾주요 수송용 연료인 휘발유의 평균 TDR은 1.36으로서 소비패턴이 거의 연중균등하므로 논의의 편의를 위해서 수송용 천연가스 수요 또한 계절간 편차가 없는 것으로 가정하였다.

⁹⁾2014년을 기준으로 NGV 미도입시의 천연가스 총 수요는 17,107.2천톤이고, NGV 도입시의 천연가스 총 수요는 18,512.5천톤이다. 천연가스 총 수요는 산업연구원¹³⁾의 자료를 참조하기 바란다.

Table 3. Forecasting of natural gas demand in transportation sector.

unit : ton

연도	승용차				승합차				화물차	합계	
	계	관용	자가용	영업용	계	관용	자가용	시내버스			
2001년	0	0	0	0	69,103	0	0	69,103	0	0	69,103 (0.74)
2002년	3,734	329	0	3,405	144,689	868	0	143,821	0	0	148,423 (1.48)
2003년	5,946	451	0	5,496	266,205	1,222	0	264,984	0	0	272,152 (2.52)
2004년	9,487	618	0	8,869	387,866	1,719	0	386,147	0	0	397,353 (3.39)
2005년	16,595	847	1,435	14,313	516,448	2,420	4,900	507,310	1,817	2,397	535,440 (4.24)
2006년	20,519	978	2,242	17,299	641,256	2,823	7,160	628,473	2,799	3,503	665,277 (5.01)
2007년	25,539	1,131	3,501	20,907	767,703	3,292	10,462	749,637	4,312	5,119	798,361 (5.72)
2008년	32,043	1,306	5,469	25,268	835,986	3,840	15,286	810,218	6,642	7,482	875,511 (6.00)
2009년	40,590	1,509	8,542	30,539	907,844	4,479	22,334	870,800	10,231	10,934	959,369 (6.29)
2010년	51,995	1,744	13,342	36,910	984,998	5,223	32,633	931,381	15,760	15,980	1,052,973 (6.59)
2011년	61,001	1,900	16,951	42,150	1,054,981	5,720	37,538	991,963	19,760	18,386	1,134,368 (6.85)
2012년	71,742	2,071	21,537	48,134	1,126,764	6,263	43,181	1,052,544	24,776	21,154	1,219,660 (7.10)
2013년	84,589	2,257	27,364	54,968	1,200,721	6,858	49,671	1,113,126	31,065	24,338	1,309,648 (7.34)
2014년	99,999	2,459	34,768	62,772	1,277,305	7,510	57,137	1,173,708	38,950	28,002	1,405,306 (7.59)
2015년	118,538	2,680	44,174	71,684	1,357,076	8,223	65,726	1,234,289	48,837	32,218	1,507,832 (7.84)

주 : () 안은 총 수요에서 수송용 천연가스가 차지하는 비율(%)임.

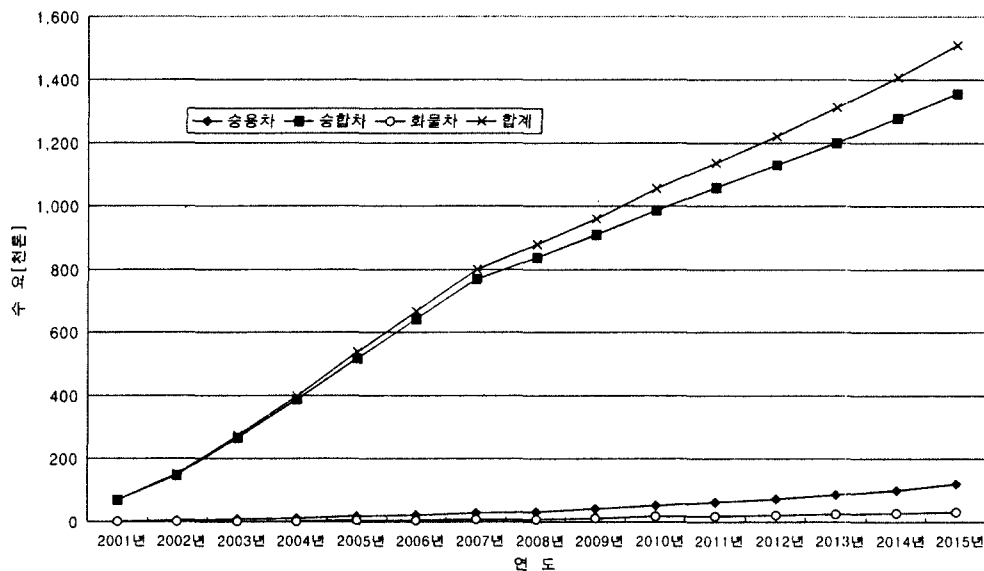


Fig. 3. Trend of natural gas demand in transportation sector.

것이다.

Table 4에서 알 수 있듯이 천연가스 수요가 증가하였음에도 불구하고 수요패턴이 매우 양호한 소비자가 진입하였으므로 소요 저장탱크 기수는 오히려 감소됨을 알 수 있다. 천연가스 차량 도입으로 인하여 2014년에 약 8.2%의 수요증가*가 이루어졌다. 반면, 소요 저장탱크는 NGV 미도입시와 비교하여, 2003년까지는 거의 변화가 없다가 2004년 이후 점차 줄어들어, 2010년에는 10만 kJ 급* 저장탱크 0.8기, 2014년에는 1.3기가 감소되었다. 결

*국내에서는 용량이 10만 kJ, 14만 kJ, 20만 kJ급인 LNG 저장탱크를 고려하고 있으나, 현재 운영중인 대부분의 저장탱크 용량이 10만 kJ급이고 또한, 비교의 편의를 위하여 10만 kJ급 저장탱크를 기준으로 분석하였다.

*"아직까지 천연가스 소비부문에는 "수송용"이라는 개념이 정립되어 있지 않다. 그러나 기존의 천연가스 소비부문의 분류체계가 최종 소비자에게 가스를 공급하는 소매 공급자를 기준으로 결정되어 지역도시가스사가 공급하는 도시가스용과 한국가스공사가 직공급하는 발전용으로 구분하고 있다. 수송용 천연가스는 지역도시가스사가 공급하는 것을 원칙으로 하고 있기 때문에 수송용 천연가스는 도시가스용으로 포함시켰다.

Table 4. Required LNG storage tank and TDR by cases.

연도	NGV 미도입시			NGV 도입시		
	저장탱크(기*)	TDR		저장탱크(기*)	TDR	
		도시가스용	전체**		도시가스용	전체**
2001년	22.8	4.48	2.54	22.8	4.42	2.53
2002년	31.0	4.42	2.53	31.0	4.30	2.51
2003년	37.8	4.32	2.51	37.8	4.13	2.47
2004년	43.2	4.28	2.46	43.1	4.03	2.41
2005년	46.7	4.24	2.53	46.4	3.94	2.46
2006년	52.0	4.24	2.54	51.5	3.89	2.46
2007년	52.0	4.18	2.48	51.5	3.79	2.40
2008년	52.0	4.12	2.49	51.5	3.72	2.40
2009년	55.2	4.06	2.60	54.5	3.66	2.49
2010년	58.3	4.00	2.66	57.5	3.60	2.53
2011년	59.5	3.97	2.66	58.6	3.56	2.53
2012년	61.6	3.92	2.67	60.5	3.50	2.53
2013년	62.6	3.87	2.66	61.5	3.45	2.52
2014년	65.0	3.81	2.68	63.7	3.40	2.53

* : 10만 kJ급 기준임.

** : 도시가스용과 발전용 수요를 합한 총 수요의 TDR을 의미하며 발전용 수요에 변화가 없으므로 발전용 TDR은 1.46으로 항상 동일함.

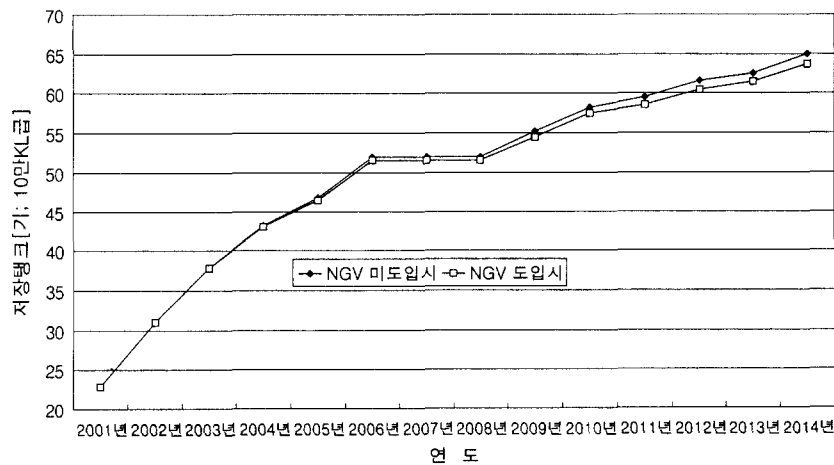


Fig. 4. Trend of required LNG storage tank by cases.

과적으로 2014년에는 NGV 미도입시 보다 약 2%의 저장탱크 감소 효과를 보였다. 이는 총수요에서 수송용 천연가스가 차지하는 비중이 커질수록 저장탱크는 더욱 크게 절감된다는 것을 의미한다.

천연가스 차량 도입으로 인하여 도시가스용¹⁰⁾ 및 전체 TDR 역시 개선되었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 개선 폭이 시간이 갈수록 점차 커짐을 알 수 있다. 이는 소비패턴이 양호한 수송용 천연가스 수요가 점차 많은 양으로 총 수요에 더해지기 때문이다. 즉, TDR 역시 총수요에서 수송용 천연가스가 차지하는 비중이 커

질수록 그 개선폭이 커진다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서 개발한 LNG 저장탱크 산정 모형은 기존 연구사례를 고찰하고, 보다 정확한 결과 도출을 위해서 이를 수정·보완한 것이다. 기존 연구에서의 저장탱크 산정 모형은 독립적인 연 단위 계산에 의한 정태적 모형이었으나, 본 연구에서는 전기(前期)의 결과가 다음 기(期)에 영향을 미치도록 동태적 모형으로 보완하였

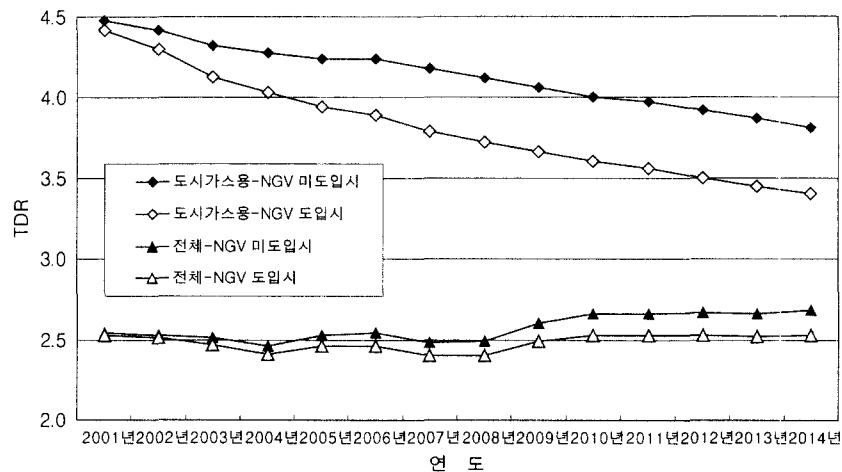


Fig. 5. Trend of TDR by cases.

으며, 제산기간도 연 단위에서 월 단위로 개선하였다. 또한 모형으로부터 도출할 수 있는 주요 결과들은 국내 천연가스 월별 재고량, TDR, 저장탱크 기수 등이다.

모형은 적용 상의 유연성을 충분히 가지고 있기 때문에 천연가스 산업의 여건변화에 따른 시나리오를 가상하고 이에 대한 입력자료의 수정을 통해 저장탱크에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 향후 점차 확대될 것으로 예상되는 천연가스 차량 보급을 가정하고 분석을 수행하였다. 저장탱크 산정 모형의 입력자료로 사용될 수송부문의 수요 전망을 위해서 기존 연구사례들¹¹⁾¹²⁾¹³⁾을 참조하여 초보단계의 보완에 그치는 수준에서 수송용 천연가스 수요전망 모형을 재구성하였다. 이 전망모형은 산업연구원¹⁴⁾의 수송부문 천연가스 수요전망을 보다 현실성있게 수정·보완한 것이다. 이렇게 구성된 두 가지의 모형을 통합하여 천연가스 차량 보급에 따라 국내 LNG 저장설비에 미치는 영향을 분석하였다.

모형 분석의 결과, 수송용 천연가스는 지속적으로 증가하여 2014년에는 천연가스 총 수요의 7.84%를 점유할 것으로 전망되었으며, LNG 저장탱크 또한 천연가스 차량을 도입하지 않았을 경우와 비교하여 10만 kt급 기준으로 2014년에는 1.3기의 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 총수요에서 수송용 천연가스가 차지하는 비중이 커질수록, 즉 수송용 수요가 증가할수록 저장탱크는 더욱 크게 절감되었다. 도시가스용 TDR은 2014년에 0.4정도 개선되었으며, 이에 따라 전체 TDR은 0.15 정도 개선될 것으로 전망되었다.

이러한 결과는 천연가스 자동차 보급이 환경개선 뿐만 아니라 천연가스 저장설비 절감 효과도 있음을 증명

한 것이다. 천연가스 공급자의 측면에서는, 수요는 증가하면서도 저장탱크의 필요성은 감소되기 때문에 천연가스 자동차는 매우 이상적인 수요처가 될 것이다. 설비 증설에 대한 압력 감소는 상대적인 비용감소로 이어질 것이며, 공급자가 낮은 비용에 천연가스를 공급함에 따라 소비자는 낮은 가격에 천연가스를 이용할 수 있게 된다. 따라서, 천연가스 자동차 보급 확대는 천연가스 수요관리 방안으로서 역할을 충분히 수행할 수 있음이 확인되었다.

따라서, 천연가스 자동차 보급에 대해서 환경보호의 논리에 의한 접근법 이외에, 에너지 분야에서는 저장설비 최적화를 위한 수요관리의 일환으로서 고려하여야 할 것이다. 아울러, 본 연구에서 재구성한 수송용 천연가스 수요 전망 모형은 엄밀히 말해서 시장기능을 반영한 수요 전망이라기 보다는 정부의 보급 추진의지를 그대로 단순 반영한 모형이므로, 향후에는 환경, 규제, 가격 및 기술 인자 등을 동시에 고려하는 보다 정밀한 수요전망 모형에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 교통안전공단: "97 자동차 주행거리 실태조사 연구" (1998).
2. 김종달: "에너지수요관리 강화를 위한 중·장기 정책 방안 연구", 에너지경제연구원 (1994).
3. 산업연구원: "장기 천연가스 수요전망", 한국가스공사 (1999).
4. 에너지경제연구원: "계절별 도시가스 수요관리와 적정 LNG 저장시설산정 연구" (1997).
5. 에너지경제연구원: "에너지통계연보", 산업자원부 (2000).

6. 에너지경제연구원: “에너지통계월보” (각월).
7. 자동차공업협회: 홈페이지(<http://www.kama.or.kr>).
8. 한국가스공사: “제5차 장기천연가스 수급계획 검토서”, 산업자원부 (2000).
9. 한국에너지기술연구소, 한국가스공사 연구개발원: “천연가스의 적정 이용을 위한 수요관리 연구”, 한국가스공사 (1997).
10. 한국에너지연구회: “도시가스산업의 유통구조에 관한 연구”, 한국도시가스협회 (1999).
11. 환경부: 홈페이지(<http://www.me.go.kr>).
12. 환경부: “환경백서” (2000).
13. 환경부: “환경통계연감” (각년).