최종보고서

액화천연가스(LNG) 자동차 보급을 위한 타당성 조사 연구

2010. 11

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

제 출 문

환경부장관 귀하

본 보고서를 「액화천연가스(LNG) 자동차 보급을 위한 타당성 조사 연구」의 최종보고서로 제출합니다.

2010년 11월

한국환경정책·평가연구원장

연구책임자: 강광규(KEI 선임연구위원)
연구참여자: 추장민(KEI 연구위원)
김종원(KEI 연구원)

요 약

1. 외국의 LNG 자동차 기술수준 및 보급정책 사례조사

LNG 자동차는 연료경제성과 친 환경적인 연료를 바탕으로 한 배출가스의 청정성으로 대기오염을 획기적으로 저감시키며 특히, 분진의 경우 거의 배출되지 않아 세계적으로 보급이 확대되고 있다. LNG의 경우 연료의 저온 특성으로 CNG에 비해 보급이 늦고 특히, LNG 공급기지가 없는 나라의 경우 연료공급이 어렵기 때문에 제한적으로 보급되어왔다. 그러나 최근 미국을 중심으로 LNG를 사용하는 나라에서는 수송용으로 LNG의 적용이 활발히 검토되고 있으며 충전인프라도 점차 확장되고 있는 추세이다. LNG의 경우 연료 밀도가 높아 대형차량 중심으로 보급되고 있으며 연료경제성이 경유에 비해 우수하기 때문에 초기 투자비에 대한 지원정책이 이루어질 경우 보급이 용이한 사업이다.

미국의 LNG 자동차는 세계에서 가장 많이 보급되었고, 15년간 운행되면서 문제점 발견 및 해결을 통해 기술적으로 완성도가 높으며, 미국 연방정부 등의 지원정책으로 3,101대가 보급되었다. LNG 자동차 보급 성장률은 평균 13.4%로 다른 차량에 비하여 성장속도가 높다.

중국은 LNG 자동차가 약 2,800여대 운행중인 것으로 알려지고 있으며 자국내 보유하고 있는 천연가스를 바탕으로 미국의 커민스 엔진으로 LNG 엔진을 적용하였다가, 중국 자체적인 LNG 자동차 기술개발을 통해 LNG용 엔진, 자동차 및 충전소 등에 대한 기술자립을 어느 정도 달성하였다.

2. 장거리용 LNG 자동차 기술 수준 분석 및 인프라 구축 여건

연료공급시스템 안정성 측면에서 1970년부터 1990년까지 보고된 미국의 DOT의 사고통계를 보면 사망사고가 한건도 보고되어 있지 않으며 특히 20㎫저장 공급하는 CNG에 비해 LNG 연료용기 압력은 1.6㎫내외로 약 CNG에 비해 1/13정도로 저장압력 측면에서는 안전하다.

LNG 자동차의 기술수준과 안정성은 용기의 성능과 많은 관련이 있는데

LNG 자동차 연료용 용기는 내부 용기와 외부용기로 구성된 이중구조로서 재료는 스테인리스 304, 304L, 316, 316L 등을 사용한다. 내부 용기는 외부로부터의 열침입을 방지하기 위해 내조의 외표면을 알루미늄 포일의 다층단열(Multiple Layer Insulation)로 열을 반사시키고 외조와 내조 사이는 고진공(10-5~ 10-7 Torr[1])으로 한다. 위의 단열재와 고진공의 조합을 슈퍼단열(Super Insulation)이라고 하고 이렇게 했을 때 단순히 고진공으로 하였을 때보다 열침입을 절반 이상으로 줄일 수 있다. 그 밖에도 고진공을 유지하는 방법으로 파라듐 산화(Palladium Oxide)처리 및 몰큘러시브(Molecular Sieve)를 들 수 있는데 파라듐 산화처리는 스테인리스강 용기 및 알루미늄 단열재로부터 나오는 수소와 반응하고 몰큘러시브는 용기자켓을 통해 점차적으로 확산되는 수분을 걸러낸다.

LNG 충전소 및 충전용기 증발가스(BOG) 처리는 LNG 용기압력상승으로 인하여 충전소에서 LNG 충전을 위하여 LNG 수두압, 저장탱크 내부압력 및 LNG 펌핑압을 합한 압력보다 LNG 용기 압력이 높을 경우 LNG 용기 BOG를 대기에 방출해야하는데 이러한 BOG 방출을 줄이기 위해서는 LNG 펌핑압을 높여 LNG 용기 내압에 무관하게 충전할 수 있도록 하는 방안이 필요하다. 그리고 1~2일 간격으로 충전시에는 LNG 용기내 BOG 방출을 최소한으로 줄일 수 있기 때문에 정상적인 운행시에는 BOG 방출문제가 대폭 개선될 것이다.

LNG 충전 인프라는 LNG 연료 시장을 확대하기 위해서는 LNG 차량 보급과 더불어 필수적 요소이다. 그러나 한국가스공사만 독점적으로 운영한 LNG 충전사업에 대한 규제 완화로(2010. 1.27 도시가스사업법 개정) 일반도시가스사업자와 일반인의 충전소 운영이 가능해 져 충전인프라 확산의 여건은 마련되었으나 현재 LNG화물차 전환사업 초기로 엔진의 안정성, 전환대상 엔진모델 제한, 경유가격과의 축소 등으로 전환이 활발하게 이루어지지 않고 있다.

따라서 정부와 가스공사에서는 엔진의 성능개선 및 전환대상 엔진 모델 확대 등 경유 화물차의 LNG화물차로의 전환사업 활성화 방안을 강구중 이며, 최근 새로운 형태(석탄가스 등)의 천연가스 생산량 급증으로 경유와 천연가스 가격차도 확대될 전망이므로 LNG버스 도입 시범운행 초기단계에 충전소 설치 및 운영에 대한 정부지원이 뒷받침되면 충전소 보급은 점차적으로 확산 될 전망이다.

---

1) 1 Torr는 1기압의 760의 1을 의미함

3. LNG 자동차 시범운행사업

LNG 자동차 시범운행사업은 LNG 자동차를 실제로 운행하여 운행중에 나타나는 문제점을 분석하고 해결방안을 마련하기 위해 시행되었으며 이 과정에서 설문조사를 통해 LNG 버스 보급사업 및 LNG 버스에 대한 버스관련 참여자들의 의견이 반영되었다.

경유버스와 LNG 버스의 만족도 비교에서 승차감, 쾌적성, 소음에 있어서는 더 많은 사람들이 LNG버스를 선호하였으나 안정성과 주행성능 면에서는 경유버스를 더 많이 선호하였다. LNG 버스 보급에 대한 희망지원정책 및 규모는 조사에 답한 거의 모든 사람들이 차량가격에 대한 보조를 원했으며 그 규모는 경유버스대비 LNG버스 구입비용 차액에 대하여 80%이상의 가격보조를 희망하였다. 더불어 취득세, 등록세, 부가가치세 등의 세제혜택도 희망하였다.

설문을 통하여 조사된 참여자들의 의견중에서 가장 많은 의견을 차지한 것은 충전소 보급확대의 문제였다. LNG버스의 경우 1회 충전으로 장거리 운행을 할 수 있다 하지만 충전소 인프라가 잘 갖추어 있지 않은 상황에서 LNG버스 보급과 운행은 많은 불편이 있다고 생각한 것이다.

두 번째는 검증된 안정성이 확보 되야 한다는 의견이었다. LNG버스의 연료가 천연가스이므로 일반적으로 대부분의 사람들이 생각하고 있는 가스의 위험성에 대하여 많이 민감한 것이었다.

세 번째는 경유버스와의 가격차이 축소 및 정부의 지원규모에 대한 의견이었다. 동일한 연료를 사용하는 CNG버스와 경유버스와의 가격차이가 약 1,850만원인데 LNG버스와 경유버스와의 가격차이는 CNG와 경유버스와의 가격차이에 약 3배에 달하여 많은 차이가 나고 CNG버스와 비교하여도 높은 가격이므로 체감으로 느껴지는 가격은 더 높을 것이라 예상된다.

다른 의견으로는 LNG버스의 연비향상 필요, 대형버스의 용도에 맞게 높은 출력과 주행성능, 정비와 유지보수의 문제점 해결방안의 기타 의견 등이 있었다.

4. 경제성 분석을 통한 LNG 자동차 보급사업 타당성 검토

가. EURO-5 기준에서의 경제성 평가

경제성 평가 분석은 LNG 버스가 기존의 경유버스를 대체할 경우 환경적인 측면의 편익을 나타내는 환경개선편익과 경유버스대비 LNG 버스의 절감된 연료비용 그리고 자동차 가격의 비용을 순현재가치법에 적용하여 이루어진다.

EURO-5 기준에서 환경개선편익을 구하기 위하여 적용된 경유버스대비 LNG 버스의 오염물질 저감량은 EURO-5 제작차배출허용기준을 적용하여 산출하였고 산출된 오염물질별 저감량에 EC에서 발표한 오염물질별 대기오염의 사회적 비용을 적용하였다.

분석대상이 되는 버스 종류는 장거리 운행을 하는 시외·고속·공항버스이며 오염물질별로 두 개의 시나리오로 나누어 분석하였는데 그 기준은 CO2의 포함여부이다.

<표 1> 경유버스대비 LNG 버스의 오염물질별 환경개선편익

(단위: 원)

	시나리오 1	시나리오 2
시외버스	43,073,281	47,202,328
고속버스	46,502,422	52,224,735
공항버스	39,065,646	41,989,574

비용분석의 측면에서 LNG버스 보급사업의 초기투자비용에 해당하는 경유버스대비 LNG버스 가격의 차이는 양산대수와 연료통 개수에 따라서 양산대수 100대에 연료통 1개인 경우 8,884만원, 양산대수 1,500대에 연료통 2개인 경우 5,690만원, 양산대수 1,500대에 연료통 1개인 경우 4,596만 세 가지 경우로 나누어진다.

기존의 경유버스를 대체하여 LNG 버스를 운행하면서 절감된 연료비용은 시외버스의 경우 1,446만원, 고속버스 1,462만원, 공항버스 1,619만원이다.

앞서 구한 환경개선편익과 비용을 가지고 버스가격차에 따른 경제성 평가를 실시하면 각 경우에 있어 아래의 표와 같이 결과를 얻는다.

<표 2> EURO-5 기준에서의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
버스가격차 88,844천원	시외버스	-31,310,461	-27,181,414
	고속버스	-27,714,128	-21,991,815
	공항버스	-33,586,632	-30,662,704
버스가격차 56,908천원	시외버스	625,539	4,754,586
	고속버스	4,221,872	9,944,185
	공항버스	-1,650,632	1,273,296
버스가격차 45,966천원	시외버스	11,567,539	15,696,586
	고속버스	15,163,872	20,886,185
	공항버스	9,292,368	12,215,296

경유버스대비 LNG버스 가격이 88,844천원인 경우는 버스의 종류와 시나리오에 상관없이 경제성 평가 손실이 발생하여 이러한 경우에는 LNG버스 보급사업이 사회적으로 타당하지 못하나 버스가격차가 56,908천원일 때 공항버스의 시나리오 1인 경우를 제외하고는 버스가격차가 45,966천원인 경우와 함께 버스와 시나리오에 상관없이 경제편익이 발생하여 LNG버스 보급사업이 사회적으로 타당하다.

나. EURO-5 기준에서의 수익성 평가

수익성 평가를 위해 고려해야하는 비용 항목은 경유버스대비 LNG 버스의 가격차를 의미하는 초기투자비용과 버스 구입시 부과되는 취득세, 버스 운행시 필요한 비용인 연료비용과 수리비용이다. 언급한 각각의 비용에 대해서 경유버스대비 LNG 버스의 비용을 순현재가치법을 통한 버스 내구연한기간 동안의 비용으로 산출하여 수익성 평가를 실시한다.

<표 3> EURO-5 기준에서의 수익성 평가

(단위: 천원)

		취득세	수리비	연료비	수익성
버스가격차 88,844천원	시외버스	1,698	14,612	25,560	-84,456
	고속버스			25,151	-84,864
	공항버스			27,956	-82,060
버스가격차 56,908천원	시외버스	1,698	14,612	25,560	-49,326
	고속버스			25,151	-49,735
	공항버스			27,956	-46,930
버스가격차 45,960	시외버스	1,698	14,612	25,560	-37,290
	고속버스			25,151	-37,699
	공항버스			27,956	-34,894

수익성 평가는 버스가격차별로 평가하여 세 개의 항목으로 나누어지는데 버스가격차 88,844천원의 경우 시외버스와 고속버스는 약 8,400만원, 공항버스는 약 8,200만원의 손실이 예상된다. 동일한 항목에서 경제성 평가 결과가 편익으로 나타났다면 LNG 버스 보급사업을 위해서 정부는 손실 금액만큼의 보조금 지원이 있어야 하나 동일한 항목의 경제성 평가 결과도 손실로 나타났으므로 88,844천원의 가격차에서는 보조금 지급을 할 필요성이 없다.

버스가격차 56,908천원과 45,960천원의 경우는 경제성 평가 결과에서 편익이 발생하는 것으로 나타났으므로 정부가 LNG 버스 보급사업에 대한 추진의지가 있다면 적어도 각 항목에서 나타난 수익성 손실금액만큼의 보조금 지원이 있어야 할 것이다.

다. EURO-6 기준에서의 경제성 평가

EURO-6 기준에서의 경제성 평가 방법과 과정도 EURO-5 기준에서 평가한 방법과 과정이 동일하다. 경유버스대비 LNG 버스의 환경개선편익, 버스

가격차, 연료비용 등을 고려하여 평가가 실시된다. 다만, EURO-6 기준은 향후 몇 년 후에 적용될 배출허용기준이므로 EURO-5 기준의 배출허용기준과 배출저감량, EURO-6 기준의 배출허용기준을 활용하여 ERUO-6 기준 적용시 경유버스대비 LNG 버스로부터 배출되는 오염물질별 배출저감량을 예상하여 환경개선편익을 산출하였다.

<표 4> 버스내구연한동안 경유버스대비 LNG 버스의 환경편익

(단위: 원)

	시나리오 1	시나리오 2
시외버스	17,868,449	21,997,419
고속버스	18,783,044	24,505,250
공항버스	17,250,496	20,670,339

버스가격차의 경우는 EURO-5 기준에 적용한 LNG 버스 양산대수와 연료통 개수에 따른 가격차 88,844천원, 56,908천원, 45,960천원을 동일하게 적용하였다. 이 가격차는 현재의 버스가격차를 기준으로 한 것이지만 본문에서는 향후 EURO-6 기준적용시점의 버스가격차 변동을 고려하여 경제성 평가도 실시하였다.

버스운행에 따른 연료절감비용의 경우도 EURO-5 기준에서 적용한 동일한 연료비용을 적용하였으며 여기서도 내구연한기간동안의 비용을 고려하여 적용하였다. 본문에서는 향후 EURO-6 기준적용시점의 연료가격 변동을 고려한 경제성 평가가 실시되었다.

<표 5> EURO-6 기준에서의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
버스가격차 88,844천원	시외버스	-56,515,293	-52,386,323
	고속버스	-55,433,506	-49,711,300
	공항버스	-55,401,782	-51,981,938
버스가격차 56,908천원	시외버스	-24,579,293	-20,450,323
	고속버스	-23,497,506	-17,775,300
	공항버스	-23,465,782	-20,045,938
버스가격차 45,966천원	시외버스	-13,637,293	-9,508,323
	고속버스	-12,555,506	-6,833,300
	공항버스	-12,523,782	-9,103,938

EURO-6 기준 제작차배출허용기준을 적용한 경제성 평가 결과는 버스별 버스가격차와 환경개선편익 시나리오에 상관없이 모든 경우에 손실의 결과가 나왔다. 이 결과는 EURO-6 기준에서는 경유버스를 대체할 목적으로 LNG 버스보급사업 추진은 사회적으로 타당하지 않음을 의미한다.

라. EURO-6 기준에서의 수익성 평가

EURO-6 기준의 수익성 평가도 EURO-5 기준에서 적용한 비용항목과 동일하다. EURO-6 기준이 향후에 적용되는 기준임에도 EURO-5 기준의 비용을 적용하는 것에는 EURO-6 기준의 수익성 평가 결과의 한계를 의미하지만 이에 대한 해결로 본문에서는 각 항목의 변동을 고려한 시나리오를 통하여 수익성 평가를 실시하였다.

EURO-6 기준에서 실시한 수익성 평가는 앞서 언급한 것과 같이 EURO-5 기준과 동일하므로 <표 3>의 결과와 동일하다. 그러나 EURO-6 기준의 수익성 평가 결과가 EURO-5 기준의 수익성 평가 결과의 의미와 다른 이유는 각 항목에 대한 경제성 평가 결과에서 기인한다. EURO-6 기준에서는 버스별 버스가격차와 환경개선편익 시나리오에 상관없이 모든 경우에 경제성 평

가 결과는 손실로 나타나 기존의 시외, 고속, 공항버스를 LNG 버스로 대체하는 사업은 사회적으로 타당하지 않으므로 보조금 지원의 근거가 없으므로 수익성에 대한 결과가 무의미하기 때문이다.

마. LNG 개조차량에 대한 평가

LNG 개조차량은 기존의 경유버스를 LNG 버스로 개조하여 운행하는 것을 말하는데 여기서 LNG 개조차량에 대한 경제성 평가와 수익성 평가도 실시해 보고자 한다.

평가시점은 EURO-5 기준이 적용되는 시점이므로 기존의 경제성 평가에 적용된 동일한 수치를 활용하여 평가되어진다. 다만 여기서 버스가격차는 기존의 경유버스를 LNG 버스로 개조하는데 소비된 비용이 적용되며 그 금액은 약 2,952만원이다.

<표 6> LNG 버스 개조차량에 대한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	28,008,539	32,137,586
	고속버스	31,604,872	37,327,185
	공항버스	25,732,368	28,656,296

LNG 버스 개조차량의 경우는 기존의 경제성 평가에 적용된 버스가격차를 많이 줄였기 때문에 버스별로 환경개선편익 시나리오에 상관없이 모든 경우에 경제성 편익이 발생한다. 따라서 LNG 버스 개조차량에 대한 보급은 사회적으로 유익하나 다만, 개조 차량의 경우는 버스의 성능과 안전상에 문제발생이 염려되는 한계가 있다.

수익성 평가의 경우 기존의 경유버스 구입후 LNG 버스로 개조한 것이므로 기존의 수익성 평가에서의 항목과 다른 부문이 있다. LNG 버스 개조차량에서는 개조비용과 연료비만을 고려하여 수익성 평가가 이루어져야 한다.

<표 7> LNG 버스 개조차량 수익성 평가

(단위: 원)

	개조비용	연료비	수익성
시외버스	29,525,000	25,560,548	-3,964,452
고속버스		25,151,684	-4,373,316
공항버스		27,956,536	-1,568,464

LNG 버스 개조차량 수익성 평가 결과는 버스별로 약 150만원에서 430만원까지 손실이 있는데 만약 LNG 개조차가 정부의 정책을 통하여 보급된다면 적어도 손실금액 이상의 보조금을 지급해야한다.

5. 결 론

EURO-5 기준에서 버스가격차별로 경제성 평가를 실시한 결과 중에서 LNG 버스 양산대수 1,500대에 연료통 2개가 설치된 경우의 버스가격차는 약 5,690만원의 경제성 평가 결과와 수익성 평가 결과는 다음의 표와 같다.

<표 8> EURO-5 기준의 평가(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

	경제성 평가 결과	수익성 평가 결과
시외버스	4,754,586	-49,326,447
고속버스	9,944,185	-49,735,311
공항버스	1,273,296	-46,930,459

적용대상이 된 버스종류 모두 경제성 평가 결과 편익이 발생하여 LNG 버스 보급사업에 대한 타당성이 존재하고 정부정책을 통하여 LNG 버스가 보급된다면 적어도 수익성 평가 결과 손실금액만큼의 보조금 지원이 필요하다.

<목 차>

제1장 서 론 ····· 1
1. 과업의 배경과 목적 ····· 1
2. 과업의 범위 ····· 1
3. 과업의 세부내용 ····· 2

제2장 외국의 LNG자동차 기술수준 및 보급정책 사례조사 ····· 7
1. 외국의 LNG자동차 현황 ····· 7
가. 미국 ····· 7
나. 유럽 ····· 10
다. 중국 등의 기타국가 ····· 10
2. LNG 자동차 기술개발 동향(배출가스 수준, 안전성 등) ····· 11
3. LNG 자동차 보급 현황 및 충전소 등 인프라 구축 현황 ····· 13
4. LNG 자동차 보급 확대를 위한 정부의 지원제도 등 보급정책 ····· 14

제3장 장거리용 LNG 자동차 기술 수준 및 인프라 구축 여건분석 ··· 17
1. 연료공급시스템 안정성 분석 ····· 17
가. LNG 연료 공급시스템 ····· 17
나. LNG자동차연료용 용기 안전성 기준 ····· 22
2. LNG 충전소 및 충전용기 증발가스(BOG) 처리 기술 및 안정성 검토 ···· 31
가. 정상충전 ····· 31
나. 가스충전구 및 노즐 등 ····· 33
다. 가스 방출 ····· 34
3. LNG 자동차 충전소 설치 및 인프라 구축 여건 분석 ····· 35
가. LNG충전 인프라 구축 ····· 35
나. 충전소 대상 부지 현황 ····· 35
4. 한국가스공사 중장기 LNG 충전소 설치계획 검토 ····· 37
가. 인프라 구축여건 분석 ····· 37
나. 중장기 LNG충전소 설치계획 ····· 38

제4장 LNG 자동차 시범운행사업 ····· 43
1. 시범운행사업 개요 ····· 43
가. 배경 및 목적 ····· 43

나. 시범운행경로 및 버스제원 ····· 43
2. 설문조사 ····· 44
가. 설문항목의 구성과 설명 ····· 44
나. 설문결과 ····· 44

제5장 경제성 분석을 통한 LNG 자동차 보급사업 타당성 검토 ····· 49
1. LNG 자동차 보급정책의 경제성 평가 ····· 49
가. 평가방법 ····· 49
나. 경제성 및 수익성 분석 ····· 50
다. 분석단계 ····· 51
2. EURO-4 기준에서의 경제성 평가 ····· 51
가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가 ····· 51
나. LNG버스 보급사업의 비용분석 ····· 59
다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가 ····· 61
라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가 ····· 64
마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정 ····· 67
3. EURO-4 기준에서의 수익성 평가 ····· 68
가. LNG버스 보급사업 수익성 평가를 위한 비용분석 ····· 68
나. LNG버스 보급사업의 수익성 평가 ····· 72
4. EURO-5 기준에서의 경제성 평가 ····· 76
가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가 ····· 76
나. LNG버스 보급사업의 비용분석 ····· 78
다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가 ····· 78
라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가 ····· 81
마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정 ····· 83
5. EURO-5 기준에서의 수익성 평가 ····· 84
가. LNG버스 보급사업 수익성 평가를 위한 비용분석 ····· 84
나. LNG버스 보급사업의 수익성 평가 ····· 85
6. EURO-6 기준에서의 경제성 평가 ····· 89
가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가 ····· 89
나. LNG버스 보급사업의 비용분석 ····· 92
다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가 ····· 93
라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과 ····· 98
마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정 ····· 104

7. EURO-6 기준에서의 수익성 평가 ····· 105
8. LNG 개조차량에 대한 평가 ····· 111
가. LNG 개조차량에 대한 경제성 평가 ····· 111
나. 수익성 평가 ····· 114

제6장 결 론 ····· 119

<참고 문헌> ····· 121

<부 록> ····· 122

<표 차례>

<표 2-1> 미국의 대체연료자동차와 충전소 보급현황 ····· 7
<표 2-2> 미국의 대체연료자동차 보급추이(1995~2008) ····· 8
<표 2-3> 미국 민간에서 전망하는 LNG자동차 보급시나리오 ····· 10
<표 2-4> EURO 배출가스 허용기준(HDV 경유자동차 기준) ····· 12
<표 2-5> 디젤자동차와 가스자동차의 EURO-6 배출기준 비교 ····· 12
<표 2-6> 국내외 LNG 충전소 및 자동차 보급 현황 ····· 13
<표 3-1> 다양한 LNG용기 규격표 ····· 24
<표 3-2> 화물 터미널 현황 ····· 36
<표 3-3> 고속도로 휴게소 현황(지선제외) ····· 37
<표 3-4> L(C)NG 충전소 설치 현황 ····· 38
<표 3-5> LNG충전소 건설 예정 고속도로 휴게소 및 ICD ····· 39
<표 3-6> 운영중인 화물차 휴게소(공영차고지) [4개소] ····· 40
<표 3-7> 건설예정인 화물차 휴게소(공영차고지) [5개소] ····· 40
<표 4-1> 경유버스와 LNG버스의 만족도 비교 ····· 45
<표 5-1> 경제성과 수익성 ····· 51
<표 5-2> 경유버스와 CNG버스의 배출계수 산출식 ····· 52
<표 5-3> 버스별 평균주행속도 ····· 53
<표 5-4> 경유버스의 오염물질별 배출계수 ····· 54
<표 5-5> CNG버스의 오염물질별 배출계수 ····· 54
<표 5-6> 버스별 일일주행거리 ····· 55
<표 5-7> 경유버스별 오염물질 배출량 ····· 55
<표 5-8> LNG버스별 오염물질 배출량 ····· 56
<표 5-9> 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량 ····· 56
<표 5-10> 오염물질별 대기위해지수(SO_2=1, KAIST) ····· 57
<표 5-11> 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용(2009년 기준) ····· 57
<표 5-12> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익 ····· 58
<표 5-13> 경유버스대비 LNG버스 구입비차액 ····· 59
<표 5-14> 버스별 연비, 주행거리, 연료가격 ····· 60
<표 5-15> 연료별 가격 및 연간 연료비 금액 ····· 61
<표 5-16> 버스 내구연한기간 동안 경유버스대비 LNG버스의 환경편익
및 연료비 감소액 ····· 62
<표 5-17> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 62

<표 5-18> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 63
<표 5-19> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 63
<표 5-20> 연료가 변동에 따른 연료비 절감액 ····· 64
<표 5-21> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용) ····· 65
<표 5-22> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 66
<표 5-23> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원적용) ····· 67
<표 5-24> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액 ····· 68
<표 5-25> 연료별 가격 및 연간 연료비 금액 ····· 69
<표 5-26> 취득세 감면비용 ····· 70
<표 5-27> 환경개선부담금 산출 기초자료 ····· 71
<표 5-28> 경유버스대비 LNG버스의 연료비 감소액 ····· 72
<표 5-29> 버스비 차액 88,844,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 72
<표 5-30> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용) ····· 73
<표 5-31> 버스비 차액 56,908,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 74
<표 5-32> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 74
<표 5-33> 버스비 차액 45,960,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 75
<표 5-34> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용) ····· 75
<표 5-35> 오염물질별 배출허용기준 ····· 76
<표 5-36> NOx 오염물질 배출량 ····· 77
<표 5-37> EURO-5기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 감소량 ····· 77
<표 5-38> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익 ····· 78
<표 5-39> 버스내구연한기간 경유버스대비 LNG버스의 환경편익 ····· 79
<표 5-40> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 79
<표 5-41> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 80
<표 5-42> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 80
<표 5-43> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용) ····· 81

<표 5-44> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 82
<표 5-45> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용) ····· 83
<표 5-46> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액 ····· 84
<표 5-47> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 85
<표 5-48> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용) ····· 86
<표 5-49> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 87
<표 5-50> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 87
<표 5-51> 버스가격차 45,960,000원을 적용한 수익성 평가 결과 ····· 88
<표 5-52> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원적용) ····· 89
<표 5-53> 오염물질별 배출허용기준 ····· 90
<표 5-54> EURO-6기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출량 ····· 90
<표 5-55> EURO-6기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 감소량 ····· 91
<표 5-56> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익 ····· 91
<표 5-57> EURO-6 기준 경유버스대비 LNG버스 구입비 ····· 93
<표 5-58> 버스내구연한동안 경유버스대비 LNG버스의 환경편익 ····· 94
<표 5-59> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 94
<표 5-60> 버스가격차를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 95
<표 5-61> 버스가격차를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 95
<표 5-62> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 96
<표 5-63> 버스가격차를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 96
<표 5-64> 버스가격차를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 96
<표 5-65> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과 ····· 97
<표 5-66> 버스가격차를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 97
<표 5-67> 버스가격차를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과 ····· 98
<표 5-68> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원적용) ····· 99
<표 5-69> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 99

<표 5-70> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 101
<표 5-71> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 101
<표 5-72> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 101
<표 5-73> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 102
<표 5-74> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용) ····· 103
<표 5-75> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 103
<표 5-76> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 104
<표 5-77> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액 ····· 105
<표 5-78> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용) ····· 106
<표 5-79> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 106
<표 5-80> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 107
<표 5-81> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 107
<표 5-82> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 108
<표 5-83> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 108
<표 5-84> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용) ····· 109
<표 5-85> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우) ····· 110
<표 5-86> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우) ····· 110
<표 5-87> LNG버스 개조차량에 대한 경제성 평가 결과 ····· 113

<표 5-88> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과 ····· 113
<표 5-89> LNG버스 개조차량 수익성 평가 ····· 114
<표 5-90> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 ····· 115
<표 6-1> EURO-5 기준의 평가(버스가격차 56,908,000원 적용) ····· 119
<표 6-2> EURO-5 기준의 평가(버스가격차 45,966,000원 적용) ····· 120

<그림 차례>

[그림 2-1] 캘리포니아 주에서의 ICTC프로그램 ····· 9
[그림 2-2] 중국의 LNG시내버스 ····· 11
[그림 3-1] LNG 자동차 용기의 부속품 및 연료공급 배관 ····· 18
[그림 3-2] LNG 자동차의 연료공급 라인 및 압력(예) 개략도 ····· 18
[그림 3-3] 용기 고정장치 설계 예 ····· 19
[그림 3-4] LNG 용기의 진동시험시 주하중 위치 ····· 23
[그림 3-5] 내용적에 대한 외부용기 표면적의 비율 A/V(㎡/ℓ) ····· 29
[그림 3-6] Drop, Fire and Gunfire Test for LNG fuel tank ····· 31
[그림 3-7] LNG자동차 용기 충전 ····· 32
[그림 3-8] LNG 충전구 ····· 33
[그림 3-9] LNG 충전기 노즐(전면) ····· 33

제1장 서 론

제1장 서 론

1. 과업의 배경과 목적

전세계적으로 많이 보급되고 있는 천연가스차량은 2000년도 우리나라에 처음 보급되기 시작하여 해마다 보급이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 이러한 보급증가 추세의 원인은 경유버스보다 오염물질이 적게 나오는 천연가스차량을 보급함으로써 얻을 수 있는 대도시 대기질 개선에 있었다.

우리나라에 보급된 천연가스차량은 주로 시내를 주행하는 압축천연가스(Compressed Natural Gas, CNG)버스로 미세먼지와 질소산화물이 적게 배출됨으로써 대도시 대기질 개선에 많은 도움이 되었다. 이러한 이유로 정부는 CNG버스의 보급을 추진하고 촉진시키기 위해서 정부의 보조금 지원정책도 마련하였듯이 시내주행에서 영역을 점점 넓혀 대도시뿐만 아니라 많은 지역에 대기질 개선을 위해 노력하고 있다. 그러나 CNG버스는 1회 충전시 약 340km 정도로 주행거리가 짧아 주행거리가 많은 고속버스, 공항버스 등에는 보급할 수 없었던 것이다. 하지만 액화천연가스(Liquified Natural Gas, LNG)버스의 경우는 CNG버스와 연료 저장방법이 달라서 1회 충전시 약 900km를 주행할 수 있다. 따라서 CNG버스가 경유용 시내버스를 대체하여 도시의 대기질 개선에 이바지하였듯이 장거리 운행하는 경유용 버스를 LNG버스로 대체하여 지역 대기질 개선에 노력하고자 LNG버스 보급사업에 대한 타당성 조사를 실시하는 것이다. 또한 LNG버스 보급사업에 대한 타당성 조사의 결과를 통하여 LNG버스 보급사업을 추진하기 위한 정부의 적정 보조금 지원 규모도 논의하고자 하는 것이다.

2. 과업의 범위

본 연구는 LNG버스 보급사업에 대한 타당성 조사를 하고자 하는데, 자동차배출가스허용기준이 EURO-4에서 5로 다시 EURO-5에서 6로 강화되면서 각각의 기준에 대하여 경유버스대비 LNG버스의 환경성 평가를 실시하여 환경개선편익 결과를, 경유버스대비 LNG버스의 가격을 비교하여 초기투자비용을, 경유버스대비 LNG버스의 연비와 주행거리를 고려하여 연료비 증감액

등을 구하여 경제성 평가를 실시하고자 한다. 경제성 평가를 통한 결과는 경유버스대비 LNG버스 보급사업 추진여부의 타당성을 제시할 것이다. 또한 오염물질배출허용기준의 각각의 경우에 대하여 LNG버스 보급사업에 대한 수익성 평가를 실시하여 버스운송사업자 측면에서 수익성 여부를 나타내고자 한다. 마지막으로 앞에서 구한 경제성 평가와 수익성 평가의 결과를 같이 연결시켜 경제성 평가 편익의 결과가 있을 때 수익성 평가의 의미와 LNG버스 보급사업에 대한 적정 보조금 규모, 경제성 평가 손실의 결과가 있을 때 수익성 평가의 의미를 설명하고자 한다.

간단히 요약하면 LNG버스 보급사업에 대한 타당성 조사와 정부의 지원보조금 적정규모를 분석하고 평가하고자 하는 것이다

3. 과업의 세부내용

본 연구는 국내와 외국의 LNG자동차 기술수준 및 보급현황을 알아보고 보급추진 및 촉진을 위하여 외국의 각 나라에서 실시하고 있는 보급지원정책 및 인프라 구축 여건에 대해서도 알아보고자 한다.

본 연구에서는 LNG버스의 보급사업 추진의 타당성을 조사하기 위해 오염물질배출허용기준인 EURO-4, 5, 6 각각의 기준에 대하여 경제성과 수익성 평가를 실시하려 한다.

경제성 평가에서는 PM, CO, NOx, HC, CO2 오염물질에 대하여 환경성 평가를 실시하고 비용분석을 통하여 LNG버스 보급사업에 대한 경제성 평가를 할 것이고 경제성 평가 결과를 가지고 LNG버스 보급사업에 대한 타당성 여부에 대하여 논할 것이다. EURO-5와 6 기준에서는 연료가 변동에 따른 경제성 및 수익성 평가를 실시하여 연료가 변동을 감안한 분석이 이루어 질 것이다. 연료가 변동에 대해서는 경유가격대비 LNG가격이 5%, 10%의 변동폭에 대한 LNG가격이 상승할 때와 하락할 때의 4가지 경우로 나누어 경제성 및 수익성 평가가 가각 이루어 질 것이다. EURO-6에서느 또한 버스가격차이에 대한 변동 가능성을 고려하여 버스가격차이에 대한 평가를 실시할 것이다. 버스가격차이에 대한 변동으로는 양산대수와 연료통을 고려한 각각의 LNG버스 가격을 기준으로 경유버스대비 LNG버스 가격차이에 대하여 10%, 20% 감소된 가격차이 금액을 경제성 평가와 수익성 평가에 적용하여 그 결과를 알아보고자 한다.

마지막으로 LNG버스 시범사업을 추진하여 LNG버스 운행의 충전 현장에서

나타날 수 있는 문제점을 파악하고 해결방안을 검토하고자 한다. 더불어 버스운송업체 관계자를 태워 시범운행을 함으로써 설문조사를 통해 LNG버스에 대한 만족도와 개선점을 파악하고 LNG버스 보급사업 시행시 정부의 지원정책 방향 및 보조금 지원 희망 수준에 대하여도 알아보고자 한다.

제2장 외국의 LNG자동차 기술수준 및 보급정책 사례조사

제2장 외국의 LNG자동차 기술수준 및 보급정책 사례조사

1. 외국의 LNG자동차 현황

가. 미국

미국에서의 LNG자동차는 세계에서 가장 많이 보급되었고, 15년간 운행되면서 문제점 발견 및 해결을 통해 기술적으로 완성도가 높으며, 미국 연방정부 등의 지원정책으로 3,101대('08년 기준)이 보급되었다. LNG자동차 보급 성장유릉 평균 13.4%로 다른 차량에 비하여 성장속도가 높다.
미국에서의 분석에 의하면 LNG자동차 보급이 적합한 사업자 차량은 청소차와 중장거리 버스이며, CNG자동차 보급이 적합한 사업자차량은 시내버스로 나타났다. 이러한 결과는 LNG자동차가 배출가스 저감이 높고, 디젤보다 천연가스 가격이 저렴하기 때문이다.

<표 2-1> 미국의 대체연료자동차와 충전소 보급현황

대체연료	운행차량(대)
LPG	151,049
CNG	113,973
E85	450,327
Electric	56,901
M85	0
LNG	3,101

대체연료	충전소(소)
LPG	2,410
CNG(LNG포함)	827(38)
Biodiesel	679
Electric	506
Hydrogen	57

<표 2-2> 미국의 대체연료자동차 보급추이(1995~2008)

Year	LPG	CNG	LNG	M85	M100	E85b	E95	Electricity	Hydrogen	Total
1995	172,806	50,218	603	18,319	386	1,527	136	2,860	0	246,855
1996	175,585	60,144	663	20,265	172	4,536	361	3,280	0	265,006
1997	175,679	68,571	813	21,040	172	9,130	347	4,453	0	280,205
1998	177,183	78,782	1,172	19,648	200	12,788	14	5,243	0	295,030
1999	178,610	91,267	1,681	18,964	198	24,604	14	6,964	0	322,302
2000	181,994	100,750	2,090	10,426	0	87,570	4	11,830	0	394,664
2001	185,053	111,851	2,576	7,827	0	100,303	0	17,847	0	425,457
2002	187,680	120,839	2,708	5,873	0	120,951	0	33,047	0	471,098
2003	190,369	114,406	2,640	0	0	179,090	0	47,485	9	533,999
2004	182,864	118,532	2,717	0	0	211,800	0	49,536	43	565,492
2005	173,795	117,699	2,748	0	0	246,363	0	51,398	119	592,122
2006	164,846	116,131	2,798	0	0	297,099	0	53,526	159	634,559
2007	158,254	114,391	2,781	0	0	364,384	0	55,730	223	695,763
2008	151,049	113,973	3,101	0	0	450,327	0	56,901	313	775,664

자료: Transportations Energy Data Book

LNG자동차용 LNG충전소는 주로 캘리포니아(27개소), 아리조나(5개소), 텍사스(5개소), 아이다호(1개소)의 4개 주만 보급되어 있어, 자동차 보급이 매우 제한적이다. 이러한 LNG충전소 인프라 부족은 주로 LNG생산기지로부터 LNG공급이 원할한 지역만 가능하고, 그 외 지역은 LNG공급이 장거리이거나 주내에 LNG생산기지가 없어 LNG자동차 보급이 더딘 상황이다.

한편, LNG공급이 원활한 캘리포이나주에서는 친환경 LNG대형차량을 대상으로 고속도로를 중심으로 보급하는 ICTC(Interstate Clean Transportion Corridor)프로그램이 1996년부터 시작되었다.

미국에서의 LNG자동차 보급의 가장 큰 기여는 역시 경제성으로 LNG자동차 운영이 같은 동급 디젤자동차에 비하여 최대 33% 비용을 절감할 수 있기 때문이다. 또한 자동차 및 엔진회사에서는 친환경 차량 개발을 연료공급사와 같이 진행하여 고객이 LNG버스와 트럭을 구매할 수 있는 시스템 구축이 되어 있으며, 최근에는 온실가스 감축 정책에 따라 온실가스 감축효고가 높은 LNG자동차에 대한 사업자 및 일반인의 관심이 높아지는 것도 보급에 기여하고 있다. 한편, 미국은 천연가스 생산이 세일가스 등에 의하여 자립화율이 높아 석유의존도 저하에 천연가스자동차가 크게 기여하기에 오바마행정부에서는 LNG자동차를 포함한 천연가스자동차에 대한 지원을 증액하고 있다.

[그림 2-1] 캘리포니아 주에서의 ICTC프로그램

향후 미국에서는 LNG자동차 보급확대를 통하여 에너지자립을 더욱 공고히 하고, 온실가스 감축목표를 달성하고 한다. 현재 민간[2]에서 전망하는 LNG 자동차 보급가능대수와 충전소에 대한 여러 가지 시나리오를 제시하고 있으며, 그 중 하나는 2025년까지 약20만대의 LNG자동차와 2,000개소의 LNG 충전소 그리고 124소의 LNG생산기지가 건설될 것으로 전망하고 있다.

2) GNA : Gladstein Neandross & Associates, http://www.gladstin.org

<표 2-3> 미국 민간에서 전망하는 LNG자동차 보급시나리오

Item	2009 (20%)	1.5TCF 2025(20%)	3.5TCF 2030(20%)	1.5TCF 2025(20%)	3.5TCF 2030(20%)
# LNGVs	4,000	200,000	460,000	500,000	1,160,000
# Stations	60	2,000	4,600	5,000	11,600
# LNG Plants	6	124	290	310	725
Daily LNG Demand (million gallons)	0.2	10	23	25	58
Annual LNG Demand (million gallons)	60	3,600	8,400	9,100	21,200
Annual LNG Demand (BCF)	5	300	700	750	1,750
Total Investment (Billion $)	1	38	90	96	224

나. 유럽

스웨덴의 경우 LNG 혼소기술을 적용하여 13리터급 화물차 3대를 운행하고 있으며 주행거리는 사용조건에 따라 1회 충전당 500~1,000km를 주행할 수 있는 것을 확인하였으며 사용된 차량은 EURO-5 엔진으로 혼소율은 75% 수준이다.

다. 중국 등의 기타국가

중국은 LNG자동차가 약 2,800여대의 차량이 운행중인 것으로 알려지고 있으며 호주에서도 화물차를 대상으로 LNG혼소 기술을 도입하여 시범운행을 준비중에 있다. 호주는 최근 미국의 GreenMan Technologies사로부터 기술을 지원받아 화물차를 개조하여 약 65,000km의 도로주행 시범운행을 2010년 말까지 계획하고 있는 것으로 알려지고 있다. 중국은 자국내 보유하고 있는 천연가스를 바탕으로 미국의 커민스 엔진으로 LNG엔진을 적용하였다가, 중국 자체적인 LNG자동차 기술개발을 통해 LNG용 엔진, 자동차 및 충전소 등에 대한 기술자립을 어느 정도 달성함과 동시에 천연가스 가격도 저렴하여 신장주 등에서 정책적으로 LNG버스 등을 보급하고 있다.

[그림 2-2] 중국의 LNG시내버스

2. LNG 자동차 기술개발 동향(배출가스 수준, 안전성 등)

EURO-6 배출허용기준을 아래 <표 2-4>에 정리하였다. 2013년 이후 적용 예정인 EURO-6 기준은 기존 EURO-5에 비해 HC와 NOx, PM의 배출기준이 강화되었으며 특히, NOx의 경우 80%를 저감해야한다. PM의 경의 경우 50%의 배출량을 감소시켜야 하며 HC의 경우 71%를 저감시켜야 하는 등 고도의 기술개발이 뒷받침 되지 않으면 만족시키기 어려운 상황이다.

한편 가스연료를 사용하는 경우는 경유연료와 대부분 동일하며 HC의 경우 CH4 배출이 추가되어 0.5g/kWh를 만족해야하고 NMHC의 경우 0.16g/kWh를 만족해야 한다. <표 1-5>에서 비교된 경유연료와 가스연료의 배출기준을 보면 THC를 기준으로 가스엔진의 경우 0.66 g/kWh 로 경유엔진의 0.16g/kWh 보다 다소 허용범위가 넓어진 것을 알 수 있다.

<표 2-4> EURO 배출가스 허용기준(HDV 경유자동차 기준)

Tier	Date	Test cycle	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, <85 kW	E C E R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, >85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	October 1996		4.0	1.1	7.0	0.25	
	October 1998		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	October 1999 EEVs only	ESC & ELR	1.0	0.25	2.0	0.02	0.15
	October 2000	E S C &ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13*	0.8
Euro IV	October 2005		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	October 2008		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	January 2013		1.5	0.13	0.4	0.01	

자료출처 : Wikipedia

<표 2-5> 디젤자동차와 가스자동차의 EURO-6 배출기준 비교

(단위: g/kwh)

구분	CO	THC	NMHC	CH4	NOx	PM	NH3(ppm)
ESC(디젤)	1.5	0.13	-	-	0.4	0.01	0.01
ETC(디젤)	4	0.16	-	-	0.4	0.01	0.01
ETC(가스)	4	-	0.16	0.5	0.4	0.01	0.01

자료: Regulation(EC) No 595/2009

주: ESC(European Static Cycle) 정적 모드 실험조건

ETC(European Transient Cycle) 동적 모드 실험조건

3. LNG 자동차 보급 현황 및 충전소 등 인프라 구축 현황

국내외 LNG자동차의 인프라 구축과 자동차 보급현황은 <표 2-6>과 같다. 적용대상은 LNG의 특성을 고려하여 운행 주기가 일정하고 운행간격이 짧은 운행특성을 갖는 대형차량 중심으로 보급되고 있다. 유럽의 경우 물류차량을 중심으로 장거리 수송차량에 LNG 연료를 적용하여 블루코리도 사업을 전개하고 있으며 장기적으로 유럽전역의 수송망을 연결하는 계획을 진행하고 있다. 미국의 경우는 약 60개소의 LNG충전소를 운영하고 있으며 약 4,000여대의 차량을 운영하고 있는 것으로 알려지고 있다.

중국의 경우는 LNG충전소를 약 20여기 운영 중인 것으로 알려져 있으며 최근 보급이 확대되고 있다. 향후 약 19,000여기의 충전소를 계획하고 있을 정도로 큰 LNG 자동차 시장을 형성하고 있다.

<표 2-6> 국내외 LNG 충전소 및 자동차 보급 현황

국명		LNG 충전소 (개소)	LNG 차량 대수, 현황
미국	캘리포니아	41	4,000
	기타	20	
유 럽		10	영국, 이태리, 독일, 스웨덴 등 블루코리도 추진 중
스웨덴		2	3(시범운행)
중 국		21	2,800
호 주		10	남동, 남서부 지역 LNG차량 운행
한 국		6	100(화물차 중심)

자료: 2010 IANGV conference 발표자료

4. LNG 자동차 보급 확대를 위한 정부의 지원제도 등 보급정책

LNG 자동차는 연료경제성과 친 환경적인 연료를 바탕으로 한 배출가스의 청정성으로 대기오염을 획기적으로 저감시키며 특히, 분진의 경우 거의 배출되지 않아 세계적으로 보급이 확대되고 있다. LNG의 경우 연료의 저온특성으로 CNG에 비해 보급이 늦고 특히, LNG 공급기지가 없는 나라의 경우 연료공급이 어렵기 때문에 제한적으로 보급되어왔다. 그러나 최근 미국을 중심으로 LNG를 사용하는 나라에서는 수송용으로 LNG의 적용이 활발히 검토되고 있으며 충전인프라도 점차 확장되고 있는 추세이다. LNG의 경우 연료 밀도가 높아 대형차량 중심으로 보급되고 있으며 연료경제성이 경유에 비해 우수하기 때문에 초기 투자비에 대한 지원정책이 이루어질 경우 보급이 용이한 사업이다.

제3장 장거리용 LNG 자동차 기술 수준 분석 및 인프라 구축 여건분석

제3장 장거리용 LNG 자동차 기술 수준 분석 및 인프라 구축 여건분석

1. 연료공급시스템 안정성 분석

가. LNG 연료 공급시스템

LNG자동차연료용 초저온용기는 일반고압가스를 저장하는 초저온용기와 유사한 점이 많다. 우선 초저온액체를 저장해야 하기 때문에 단열성능이 뛰어나야 하고 액체가 기화되는 과정에서 수백 배의 부피팽창이 있기 때문에 파열을 방지하기 위한 안전장치를 구비해야 하고 내구성이 있는 재료로 제조해야 한다.

LNG 자동차 관련, 안전성 측면에서도 1970년부터 1990년까지 보고된 미국의 DOT의 사고통계를 보면 사망사고가 단 한건도 보고되어 있지 않다. 특히 20㎫저장 공급하는 CNG에 비해 LNG 연료용기 압력은 1.6㎫내외로 약 CNG에 비해 1/13정도로 저장압력 측면에서는 안전하다. 다만 용기의 가격이 고가이고 초저온액체를 저장하는 관계로 연료를 공급하는 계통에 자동차단밸브, 안전밸브 등 추가적인 안전장치를 부착해야하는 부분도 있다.

액화천연가스를 연료로만 사용하는 전소차량은 현재 대우버스 및 타타대우상용차를 중심으로 시험운행을 완료하였고 상업생산 단계에 있으며 LNG 자동차 연료용기, LNG자동차충전소, LNG 혼소화물차량 보급을 통한 개선사항 등 LNG 자동차에 관련된 안전성 향상을 위한 노력을 지속적으로 하여왔다.

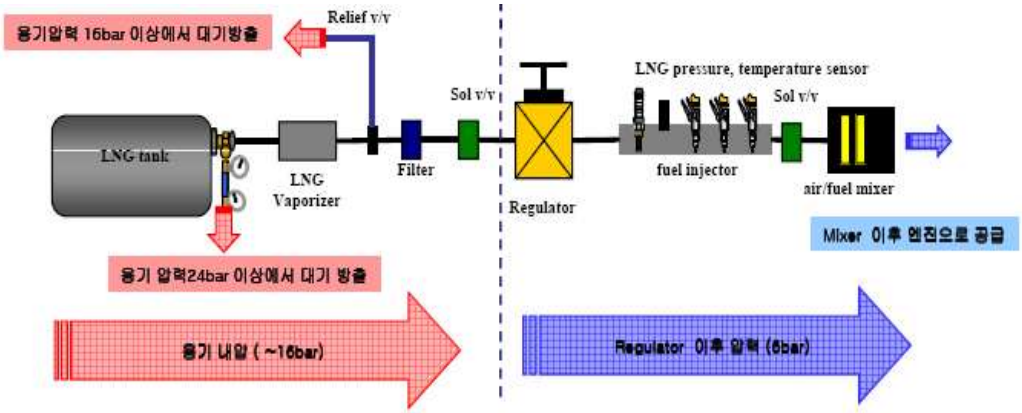
1) LNG 자동차 연료용기에서의 가스공급 체계

LNG 자동차 연료용기에는 설정압력인 1.6 ㎫인 1차 릴리프밸브가 설치되어 있어 최대 1.6㎫의 압력으로 연료배관에 압력을 공급할 수 있다. 설정압력이 2.4㎫인 2차 릴리프밸브가 LNG 자동차용 용기에 설치되어 있어 1차 설정압력인 1.6㎫를 초과하는 압력이 발생되는 경우에는 LNG 자동차용 용기 내의 가스압력을 대기로 직접 방출하도록 설계되어 있다.

[그림 3-1]은 LNG 자동차에 설치되어 있는 LNG 자동차용 용기의 부속품과 연료공급 배관을 보여주고 있다.

[그림 3-1] LNG 자동차 용기의
부속품 및 연료공급 배관

아래 [그림 3-2]는 LNG자동차의 연료공급 라인의 개략도이다. 중앙의 점선을 중심으로 좌측부분에는 용기로부터 최대 16 bar의 압력이 공급될 수 있고, 우측부분의 압력조정기 후단부에서 엔진까지는 약 6 bar의 압력으로 공급되고 있다. 압력조정기의 조정압력 및 엔진공급압력은 차량에 따라 다소 차이가 있으나 배관 설계 등에는 크게 영향을 주지 않는 않는다.



[그림 3-2] LNG 자동차의 연료공급 라인 및 압력(예) 개략도

2) LNG 자동차의 엔진에 가스연료 공급시스템

LNG연료용기 출구배관에는 액체의 압력을 조절하는 압력조정기 또는 이코노마이저가 부착되어 있다. 압력조정기는 설정된 압력으로 액체를 감압하여

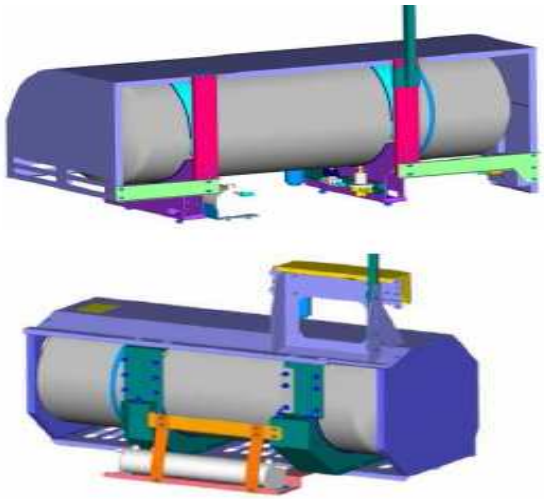
보낸다. 충전된 LNG는 액상배관을 통하여 기화기까지 이동하게 되며 기화기에서 엔진냉각수를 열원으로 하여 LNG는 기화되어 연료필터와 전자기식 밸브와 압력조정기를 거쳐 엔진룸 인젝터까지 이송되게 된다.

열교환기는 차량의 최대 부하시 필요로 하는 연료를 기화할 수 있는 능력을 가져야 한다. 기화기에서 엔진냉각수의 열로 기화된 후 연료필터, 솔레노이드 밸브, 압력조정기를 거쳐 엔진룸의 인젝터로 이동한다.

압력조정기에서 최종 감압된 기상의 천연가스는 인젝터에서 믹서로 분사되어 혼합된 공기로 엔진의 실린더내로 흡입되게 된다. 또한 냉각액 설계온도, 설계유량에 따라 적절한 용량의 연료유량을 발생할 수 있어야 한다.

3) LNG 용기 등의 고정 기준 적용

국내 법규인 LNG 자동차 연료장치 기준 2.3.3.1.3항에 [용기, 배관 및 부속품은 사용 중에 충격, 진동 및 가속도의 영향에 견딜 수 있도록 하여야 한다.]로 규정되어 있으며, [그림 3-3]과 같은 브래킷을 사용하여 LNG 용기를 고정한다.



[그림 3-3] 용기 고정장치 설계 예

또한, 프로텍터, 밴드, 브라켓 설계시 용기 고정 브라켓과 밴드 사이에 고무가 삽입되어 충격 흡수할 수 있도록 설계하였다. 브라켓 재료는 용기 하중과 차량의 진동에 의한 충격하중을 고려하여 구조용 강재를 사용하여 내구 안전성을 높였다.

정상적인 상황에서의 용기 등에서 가스누출 발생우려는 없으나, 충전시 저온

의 천연가스가 누출되거나 방출되어 급속히 대기로 확산되지 않고 바닥으로 내려 깔릴 경우는 차량내에 전기단자 등 미상의 점화원에 의하여 누출된 천연가스가 점화될 우려가 있을 것으로 예상되나 현재까지는 화재 폭발로 진행된 사례는 없었다.

4) LNG 연료 차단 장치

가) 연료차단 장치의 설치

LNG 자동차 연료장치 기준 2.3.3.1.13항에는 [용기에는 기타 자동차 연료시스템으로부터 용기 안에 있는 가스를 완전히 차단할 수 있는 자동차단밸브(전기, 공압, 유압 등에 의해 작동하는 것을 말한다. 이하 “주밸브”라 한다) 또는 수동밸브를 설치한다.]라고 규정되어 있다. 따라서 주밸브 외 수동 차단밸브가 추가 장착 되어있으며, 인젝터 모듈 후단에 2차 주밸브가 안전성 확보차원에서 장착되어 있는 경우도 있다.

나) 주차단 밸브의 성능

LNG 자동차 연료장치 기준 2.4.4.5.1항에 규정된 [자동차 연료장치에는 1개 이상의 주밸브 또는 수동밸브를 설치한다. 이 경우 수동밸브는 용이하게 조작할 수 있고 공구 없이 작동이 가능하며, 그 기능에 대하여 표시한 것으로 한다.]는 기준에 의거 설치되어 있었다.
LNG 자동차 연료장치 기준 2.4.4.5.5항에 주밸브는 다음의 기준을 충족하는 것을 설치하도록 규정되어 있다.

- 운전석으로부터 조작이 가능한 것으로 한다.
- 작동 동력원이 상실된 경우 자동적으로 닫히는 것으로 한다.
- 엔진이 정지된 경우 자동적으로 닫히는 것으로 한다.

따라서 이러한 기준에 준하여 주밸브를 설치하여 긴급한 상황발생시 연료를 차단할 수 있도록 하였다.

5) LNG 자동차 기화기 및 배관

가) 기화기 제작 및 설치

LNG 자동차 연료장치 기준 2.4.4.2.1항에는 [기화기의 방출밸브 배관구성품, 안전밸브, 열교환기 구성품은 LNG(-162℃)에 적합하게 조작되도록 설치]하도록 규정하고 있으며, 2.4.4.2.2항에는 [기화기는 기화장치를 구성하는 각 부분이 진동·충격으로 인하여 가스가 누출되지 않도록 밴드 등으로 견고하게 고정한다.]라고 규정하고 있다.

기화기는 KGS AC111(고압가스용 저장탱크 및 압력용기 제조의 시설·기술·검사 기준) 1.4.2 (2) 설계압력(㎫)과 내용적(㎥)을 곱한 수치가 0.004 초과하는 경우에는 압력용기에 해당할 수 있다. 다만, LNG 자동차용 기화기는 비교적 소용량이므로 성능인증에 의한 성능확보가 중요하다고 판단된다.

나) 연료배관

LNG 자동차 연료장치 기준 2.5.1.1항에는 [배관은 스테인리스 강관 또는 구리합금으로 열처리한 것으로 한다. 다만 압력조정기 후단으로서 신축성이 요구되는 곳에는 플렉시블 금속튜빙(이하 “튜빙”이라 한다), 와이어브레이드관 또는 섬유보강수지관(이하“호스”라 한다)을 사용할 수 있다.]. LNG 자동차 연료장치 기준 2.5.7.1항에는 [배관 및 접합부는 최소 60 cm 마다 자체에 고정하고 진동 및 충격으로 부터 보호한다.]로 각각 규정되어 있다.

배관설치시 이종재료를 사용하는 경우에는 갈바닉 부식과 이종재료의 열팽창계수의 차이로 인한 연결부의 헐거워짐이 발생하여 가스가 누출되는 사례가 발생하고 있으므로 동종재료를 사용하여야 한다.

LNG 자동차 연료장치에 적용되는 나사연결방식은 NPT 보다는 UNF 나사방식이 자동차 진동 및 기밀 유지에 보다 효과적이다.

다) 연료 가스충전구

LNG 자동차 연료장치 기준 2.4.4.3.1항에는 [가스충천구(“리셉터클”이라 한다. 이하 같다)는 디스펜서 측의 노즐(“연료공급 커넥터”라 한다. 이하 같다)과 접속되고 자동차 연료장치에 연료를 공급할 수 있으며, 먼지 및 물 등의 이물질의 유입을 최소화하기 위한 조치를 한 것으로 한다.], 2.4.4.3.2항에는 [가스

충전구는 노즐과 접속한 상태에서 자동차가 출발 할 경우 자동차 연료장치에서 분리되기 전에 긴급분리 장치가 먼저 작동하도록 견고하게 설치한다]로 규정되어 있으며, LNG 혼소 화물자동차에 부착된 리셉터클은 이물질의 침입 방지를 위하여 커버로 보호 하고 있고, 용기에 직접 부착이 곤란한 경우에는 용기와 분리되어 용기커버에 견고하게 조립 된 경우도 있었다. 하지만, LNG 자동차 충전소에서 충전기의 노즐과 연결하여 충전시 수분의 결빙에 의한 용기 내 유로 차단 발생 사례가 자주 발생될 가능성이 있어 충전콘넥타와 벤트노즐의 소켓에 이소프로필 알코올 (Isopropyl Alcohol)을 뿌리고 (알코올이 주변의 습기를 제거) 깨끗한 면걸레로 닦아 주면 된다.

나. LNG자동차연료용 용기 안전성 기준

국내에 도입된 LNG자동차연료용 용기 기준은 일본가스협회 기준인 액화천연가스자동차 연료장치용 용기의 기술기준과 액화천연가스자동차 연료장치용 용기에 구비해야 할 기술요건, 그리고 미국 연방코드인 CFR 49의 178.57, 「Specification 4L welded insulated cylinders 및 미국의 MIL Spec.을 참고하여 제정하였다.

LNG자동차연료용 용기 기준은 고압가스안전관리법 시행규칙 제9조 제1호와 관련한 별표 10의「용기제조의 시설기준 및 기술기준」등의 기준을 참고하여 제정하였다.

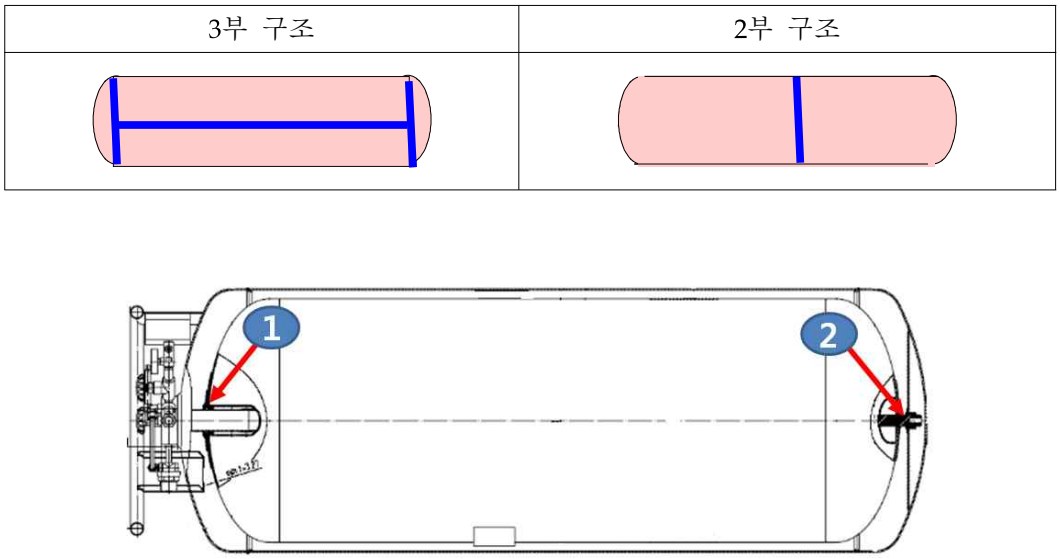
1) LNG 자동차 연료용 용기 기준의 적용범위 등

LNG자동차가 디젤차와 동등한 주행거리를 확보하기 위해서는 대형 디젤차의 표준연료탱크용량 200ℓ에 상당하는 LNG 400ℓ이상의 연료용기 내용적이 필요하다. LNG자동차는 연료용기의 탑재 공간의 관례상, 복수의 연료용기를 탑재하는 것을 고려하고 1기의 내용적의 상한을 500ℓ로 하여도 지장이 없기 때문에 이 규정에서는 내용적이 500ℓ 미만의 용기를 적용범위로 하였다.

용기형식이 변경되는 경우를 정한 것으로 용기재료, 제조방법, 인장강도, 설계최소두께, 동체외경, 전장, 개구부의 수량, 경판의 형식 및 치수, 용접종류, 용접재료, 용접조건, 내압시험압력 등이 규정된 범위를 벗어났을 때 다시 정밀검사를 받도록 하고 있다.

LNG 자동차용 연료용기 기준에서 전장의 길이가 50% 이하까지 변경되는 경우에도 설계단계 검사에서 제외하도록 한 규정은 2부구조 대비 3부구조의 용

접부가 취약하고, 길이 감소보다는 길이 증가에 따른 내부 하중 증가로 인하여 일부 용접부 피로반복응력이 증가함이 발견되었다. 따라서 길이 변경값을 2부 구조와 동일 (5%)하게 적용하고 길이 증가에 한하는 것으로 개선한 바 있다. [그림 3-4]는 LNG 자동차용 연료용기에 대한 설계단계검사에서 진동시험을 실시할 경우 발생되는 주하중의 위치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 주하중의 위치는 내부용기와 외부용기를 연결하고 지지하는 용접부에서 발생함을 알 수 있다.



[그림 3-4] LNG 용기의 진동시험시 주하중 위치

일반적인 용도의 초저온 용기의 경우 크기는 외경이 300~500mm이고 높이가 920~1480mm에 해당하며 내용적이 28~175ℓ 까지 생산되고 있다. 하지만, LNG자동차 용기의 경우, 외경은 660mm이고 길이는 약 1,930mm이며 내용적은 450ℓ이었으나, 국토해양부에서는 LNG 혼소 화물자동차용 표준 연료용기의 내용적을 400ℓ로 조정하고, 부득이한 경우 350-300ℓ까지로 적용할 수 있도록 하였다.

아래 표에서 보는 바와 같이 연료용기의 길이 변경에 따른 내용적 및 무게의 변화가 큰 것을 확인할 수 있다.

내용적을 350ℓ에서 450ℓ로 변경하는 경우에 길이는 약 22% 증가하고, 내용적은 100ℓ 증가하며, 하중 약 90 kg 증가하는 것으로 조사되었다. 구체적인 데이터는 아래와 같다.

<표 3-1> 다양한 LNG용기 규격표

내용적(L)	외경(mm)	길이(mm)	빈용기+ 질소 53%
350	655	1,576	209+ 144=353 kg
450	655	1,926	250+ 193=443 kg

위와 같이 내용적이 변경되는 경우에는 용기의 내용적 증가에 따라 실제 차량에서의 진동하중이 크게 증가하게 되므로 진동시험 재실시하여야 할 것으로 판단되어 관련 규정을 개정하였다.

2) LNG 자동차 연료용 용기의 재료 기준 등

LNG자동차연료용 연료용기의 재료는 열간 및 냉간 압연스테인리스 강판 및 강대를 사용하도록 규정하고 있으며, 이와 화학적 성분 및 기계적 성질이 유사한 재료도 사용이 가능하도록 규정되어 있다. 일반적인 초저온 용기의 경우 내부 용기의 재료로서 스테인리스강 외에 알루미늄 및 알루미늄 합금을 모두 사용할 수 있으나 LNG 자동차 연료용 용기에는 스테인리스강만을 사용하도록 한정하였다. 이는 자동차 사고 발생시 LNG 자동차 연료용 용기가 화재에 노출되었을 때 충분히 견딜 수 있도록 하기 위함이다.

미국의 연방규정에서도 초저온 용기의 재료는 전기로에서 제조한 강재를 사용하도록 하고, 내압을 받는 용기의 경우 SUS 304타입 스테인리스강을 사용하도록 하고 있다. LNG와 같이 가연성 초저온 가스에는 외부 용기를 강재로 한정하고 있다.

선택된 재료를 사용하여 용기의 설계 두께의 계산은 고압가스안전관리법에 규정된 아래의 두께 계산식을 따르도록 규정하고 있다.

· 동판

$$t = \frac{PD}{2S\eta - 1.2P}$$

· 접시형 경판

$$t = \frac{PDW}{2S\eta - 0.2P}$$

· 반타원체형 경판

$$t = \frac{PDV}{2S\eta - 0.2P}$$

이 식에 있어서 t, P, D, W, V, S 및 η는 각각 다음의 수치를 표시한다.

t : 두께(㎜)

P : 최고충전압력(MPa)

D : 동판에서는 동체의 내경, 접시형 경판에서는 그 중앙만곡부 내면의 반지름, 반타원체형 경판에서는 반타원체 내면의 장축부의 길이(㎜)

W : 접시형 경판의 형상에 의한 계수이며 다음 계산식에 의하여 얻은 수치

$$\frac{3+\sqrt{n}}{4}$$

이 식에서 n은 경판 중앙만곡부의 내경과 경판둘레의 단곡부 내경의 비를 표시한다.

V : 반타원체형의 경판의 형상에 의한 계수이며 다음의 계산식에 의하여 얻은 수치

$$\frac{2+m^2}{6}$$

이 식에서 m은 반타원체형 내면의 장축부와 단축부의 길이의 비를 표시한다.

S : 재료의 허용응력(N/㎟)이며, 인장강도의 1/3.5의 수치

또한, “인장강도”는 규격재료 또는 동등재료의 인장강도의 최소규정치(이하 “규격인장강도”라 한다)

η : 동체의 길이방향 이음매 또는 경판의 중앙부의 이음매의 용접효율이며, 다음 표의 좌측 칸 및 가운데 칸에 기재하는 이음매의 종류 및 방사선투과시험의 정도에 따라서 각각 같은 표의 우측 칸에 기재한 이음매의 용접효율의 수치

일반적인 용접용기는 부식을 고려하여 부식여유를 두께에 포함시켜 계산하지만, LNG자동차연료용 초저온용기는 스테인리스강을 재료로 사용하기 때문에 부식여유를 고려하지 않아도 되도록 하였다.

LNG 자동차용 연료용기 기준에는 LNG 자동차용 용기 최고충전압력 기준을 1.6 ㎫로 정하고 있으며, 이에 따라 용기 안전장치 설정 압력을 1차 안전장치

의 경우 용기 내압시험의 80% 이하로 설정하여 1.6 ㎫로 설정하고 있고, 2차 안전장치의 압력을 2.4 ㎫로 설정하고 있다.

용기의 두께 설계시에도 기준 압력인 1.6 ㎫에 따라 설계하고 있으나, 실제 용기의 충전시 압력은 충전소에 설치된 충전기의 충전압력을 고려하면, 기준 압력을 1.6 ㎫보다 낮추는 경우 용기의 설계두께를 낮출 수 있어 용기의 무게를 감소시켜 자동차 하중을 감소시킬 수 있다는 의견이 제시되었다.

이에 따라 LNG 충전압력과 LNG 자동차에 적용되는 압력을 조사한 결과는 아래와 같다.

- LNG 최고 충전 가능 압력 : 1.2 ㎫(실제 충전시의 압력은 압력조건에 따라 변동됨)
- 충전펌프 토출차단 압력(가스공사의 경우) : 1.4 ㎫
- 충전시 또는 정상운전시에 안전밸브 작동 가능성 높음
- 엔진에 공급되는 가스 압력은 약 7 bar 정도로서 최고충전압력 설정의 주요 사항 중의 한 가지로 판단된다.

조사한 결과, LNG 자동차 충전소에서의 최대 충전압력은 1.4 ㎫ 정도인 것으로 파악되었으나, LNG 용기 충전후 장기간 운행 정지시에 용기 내 온도 상승에 따른 압력 상승 우려가 있지만 정기적으로 운행시에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

3) LNG 자동차 연료용 용기의 제조 기준 등

용기의 구조는 횡형 이중 진공단열구조이고 용기 내용적에 대한 외부용기의 표면적의 비율을 0.016㎡/ℓ 이하의 용기로 한정하였다. 이것은 자동차에 부착되는 용기의 크기를 제한하여 탑재하는 부담을 덜기 위한 것이다. LNG자동차는 미 운행 시에 연료용기의 내압상승이 문제가 되지만 현행 단열구조에서는 초단열(Super Insulation)이라고 하는 진공단열구조가 가장 단열성능이 우수하고 이것 이외의 단열구조를 채용하는 것은 생각하지 않았고 또한 용기를 종방향으로 탑재하는 것도 지지방법 등을 고려하면 생각할 수 없기 때문에 횡형 이중 진공단열구조로 한정하여 규정하였다. 하지만, LNG 자동차용 용기 제조업체에서는 일반용 초저온 용기의 경우 대부분이 종형 이중 진공단열구조이었고, 활어차량 등에 설치되어 장기간 사용한 사례가 있으므로 종형 용기의 적용가능여부에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

제조 검사에 대한 기준 중 [적절한 구조 및 강도를 보유한다고 사장이 인정하

는 경우에 설계도, 기계시험성적서 등을 제출하여 시험 및 검사를 생략]할 수 있도록 규정하고 있다. 이중 진공단열용기는 내부용기의 지지방법 및 내부 노즐관의 형상이 복잡하고 사용 중에 진동을 받는 자동차연료용기로서 그 설계의 타당성을 확인하도록 하고 있다.

LNG 자동차 연료용 용기의 내압시험은 비수조식에 의해서 용기에 내압시험압력 이상의 압력을 가하여 용기가 완전히 팽창한 후 30초 이상 그 압력을 유지하고 육안으로 확인한다. 용기에는 내압시험 전에 내압시험압력의 90%를 초과하는 압력을 가하면 않되도록 규정되어 있다.

4) LNG 자동차 연료용 용기의 진동시험

LNG 자동차 연료용 용기 기준에 적용된 진동시험에 대한 기준은 미국방부의 MIL-STD-810F를 기초로 하여 규정된 것으로 2004년 미국의 Taylor-Wharton에서 세계적인 신뢰성평가기관인 Wyle시험소에 의뢰하여 시험에 합격한 미국 고속도로 트럭 진동노출기준을 참고한 것이다. 진동시험에서 규정한 주파수 영역이 일반적으로 자동차가 획득하는 주파수영역(0~50Hz)을 초과하여 규정된 것은 MIL-STD-810F가 차량에 부착되는 용기뿐만 아니라 모든 구성부품을 고려한 규격인 것으로 파악되었다.

진동시험 주요 규정은 다음과 같다.

a) 용기를 진동대에 고정하고 용기 내용적의 53%의 질소를 충전한다.
b) 진동주파수의 변동방법은 연속적으로 하고 최소주파수와 최대주파수와의 사이를 시험주파수와 가진(加振) 시간과의 곱(진동회수)이 일정하게 되도록 주파수를 변동하며 진동시간은 수직축, 세로축, 가로축에 대하여 각각 3시간씩 가진(加振)한다.
c) 진동가속도는 아래 표의 수직축, 세로축, 가로축에 해당하는 진동가속도 이상으로 한다.

수 직 축		세 로 축		가 로 축	
Hz	g^2/Hz	Hz	g^2/Hz	Hz	g^2/Hz
10	0.01500	10	0.00013	10	0.00650
40	0.01500	20	0.00065	20	0.00650
500	0.00015	30	0.00065	120	0.00020
1.04g rms		78	0.00002	121	0.00300
		79	0.00019	200	0.00300
		120	0.00019	240	0.00300
		500	0.00001	340	0.00150
		0.204g rms		500	0.00015
				0.740g rms	

진동시험에 대한 주파수 대역이나 가속도에 대한 규정에 대하여 일부 수정해야 한다는 의견이 본 연구의 일환으로 개최된 워크숍에서 제기되었으나, 구체적인 방법이나 수치에 대하여는 의견이 제시되지는 않았다.

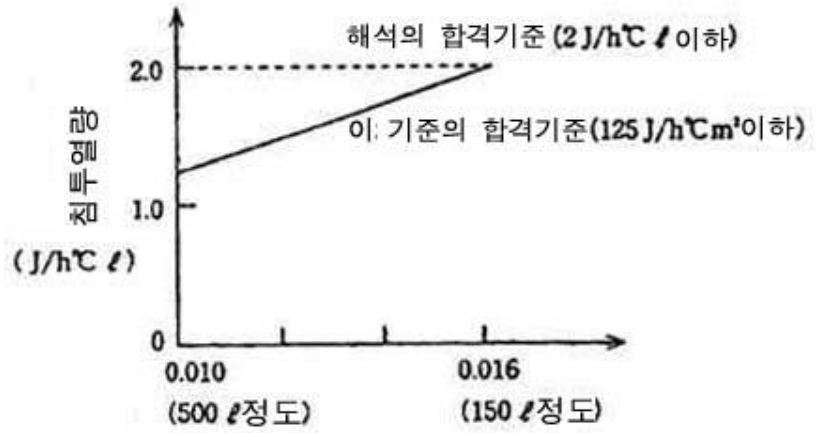
이는 미국 고속도로 트럭 진동노출기준을 참고하였기 때문에 실제 국내도로에서의 운행 자동차의 진동 주파수 대역을 추가 검토하여 확인할 필요가 있다.

5) LNG 자동차 연료용 용기의 단열성능시험

LNG 자동차 연료용 용기는 내부 용기와 외부용기로 구성된 이중구조로서 재료는 스테인리스 304, 304L, 316, 316L 등을 사용한다. 내부 용기는 외부로부터의 열침입을 방지하기 위해 내조의 외표면을 알루미늄 포일의 다층단열(Multiple Layer Insulation)로 열을 반사시키고 외조와 내조 사이는 고진공(10-5~ 10-7 Torr[3])으로 한다. 위의 단열재와 고진공의 조합을 슈퍼단열(Super Insulation)이라고 하고 이렇게 했을 때 단순히 고진공으로 하였을 때보다 열침입을 절반 이상으로 줄일 수 있다. 그 밖에도 고진공을 유지하는 방법으로 파라듐 산화(Palladium Oxide)처리 및 몰큘러시브(Molecular Sieve)를 들 수 있는데 파라듐 산화처리는 스테인리스강 용기 및 알루미늄 단열재로부터 나오는 수소와 반응하고 몰큘러시브는 용기자켓을 통해 점차적으로 확산되는 수분을 걸러낸다.

3) 1 Torr는 1기압의 760의 1을 의미함

LNG 자동차용 연료용기 기준에 제시된 단열성능시험 기준은 일반적인 초저온용기의 단열성능시험에 근거한 것으로 조사되었다. 침입열량이 1000ℓ 미만의 초저온용기일 경우에 0.0005㎉/hr·℃·ℓ이하를 합격으로 정하고 있다. 내조의 서포트 부를 제외한 일반부의 단열성능은 용기의 내용적에 관계없이 일정하다. 용기 일반부의 열전달율을 간접적으로 측정하기 때문에 위의 열침입량을 초과하지 않도록 하기 위해서는 용기의 내용적에 대한 표면적의 비율(A/V)을 제한하든가 내용적에 대한 표면적의 비율마다 판정기준을 변화시킬 필요가 있다. 규정 2.4.1 제조에서는 용기의 내용적에 대한 표면적의 비율의 상한치를 0.016㎡/ℓ로 정하였고 이 용기의 침입열량이 2 J/hr·℃·ℓ이하로 되는 외부용기의 단위면적당의 평균 열전달율 125J/hr·℃·㎡ (125 J/hr·℃·㎡ × 0.016 ㎡/ℓ = 2 J/hr·℃·ℓ) 이하를 합격기준으로 하였다. 2 J/hr·℃·ℓ와 125J/hr·℃·㎡와의 합격기준의 비교는 아래 [그림 3-5]에 나타나 있다. 여기서 A/V = 0.016 ㎡/ℓ의 용기의 내용적은 150ℓ 정도이고 LNG 자동차는 대형차의 보급을 목표로 하고 있기 때문에 A/V의 상한을 0.016 ㎡/ℓ에 이르는 것으로 하고 있다.



[그림 3-5] 내용적에 대한 외부용기 표면적의 비율 A/V(㎡/ℓ)

사용 중인 LNG 자동차 연료용기의 진동, 반복하중 등에 의한 단열 손상 및 파괴시에 LNG 자동차의 성능뿐 아니라 대중의 안전에도 영향을 미칠 수 있으므로 단열성능 유지여부를 확인할 수 있는 방법 및 추가검토가 필요하다.

6) LNG자동차 용기의 과충전 방지 기능

LNG자동차에 장착된 LNG 연료용기는 내부에 감량공간(Ullage Space)을 확보하여 용기 내용적의 90% 이하로 충전할 수 있게 하여 용기에 저장된

LNG의 팽창에 따른 용기의 파손을 방지하기 위한 것이다.
국내에 도입되지는 않았지만, CFI(Cryogenic Fuel Industry)의 용기에는 LNG를 재충전시에 용기 내용적의 90%에 해당되는 위치에 드레인 배관을 설치하여 LNG가 이 배관을 통해 흐르면 LNG충전기에 설치된 액체 센서(Liquid Sensor)가 감지하여 충전을 멈추도록 설계된 경우도 있고, 국내의 D 사에서는 충전 레벨 게이지를 사용하여 과충전이 방지되도록 설계하고 있는 것으로 파악되었다.
LNG 자동차용 연료용기에 부착되는 감량공간에 대한 규정은 LNG 자동차용 연료용기 기준(KGS AC 416)이 아닌 LNG 자동차 연료장치 기준(KGS FU 215의 2.3.3.1)에 규정되어 있어 이를 LNG 자동차용 연료용기 기준으로 규정하고 있다.
LNG 자동차용 연료 용기에는 감량공간 외에도 용기내부에는 LNG의 재충전시 포화된 가스의 재액화로 포화압력을 줄이기 위해 액배관의 끝부분을 용기의 상부에 위치시켜 분무하도록 하고 있다. 이것은 더운 여름 물을 뿌리면 주위의 온도가 낮아지는 것과 같은 원리이다. 용기내부는 액화천연가스가 인출되는데 필요한 힘이 필요하고 이 힘은 내부로 침입하는 열에 의해 발생된 BOG(Boil Off Gas)가 압력의 형태로 작용하지만 용기에 액화천연가스를 재충전시에는 용기내부의 압력이 너무 높으면 충전을 어렵게 한다. 따라서 이 분무구조는 저장용기로부터 과냉된 액화천연가스를 용기에 주입함으로써 포화압력을 낮추는 효과를 나타낸다.

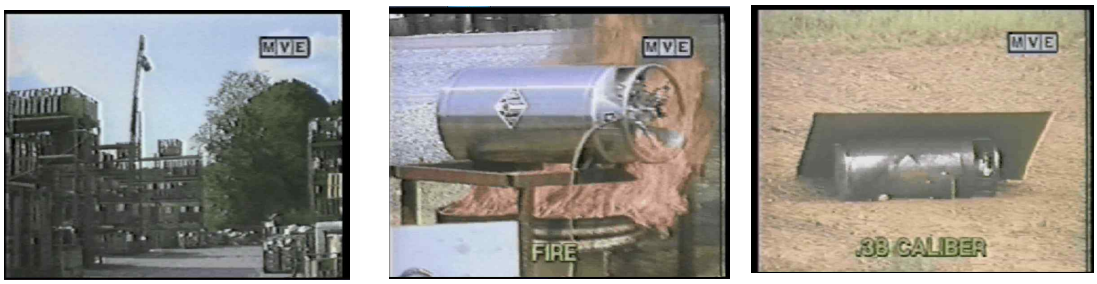
7) LNG자동차 용기의 기타 성능

LNG 자동차의 충돌 등에 의한 사고발생에 대비한 화염시험과 충격에 대비한 낙하시험, 총격시험 등에 대하여 관련 규격을 DOT 4L, JGA 규격, 고압가스안전관리법령 등을 검토한 결과 LNG 자동차용 연료용기와 같은 초저온 용기에 수행하는 명확한 규정을 확인하지 못하였다. 이는 LNG 자동차용 연료용기에 대한 세부적인 규정이 일본 JGA 규정을 제외하고는 없으며, 일본의 경우 LNG 자동차가 실제로 상업 운영되고 있지 않은 것으로 조사되었다.
낙하시험의 경우 미국 SAE J 2343의 부록 A에 수록되어 있으며, 낙하시험은 실물크기의 차량 연료탱크를 30 ft와 10 ft의 높이에서 단단한 표면 위로 자유낙하의 충격을 받게 하여 손상여부를 파악하기 위한 것이다.
총격시험과 화염시험의 경우 CNG 자동차 연료용기에 적용하기 위한 시험방법이 KGS-Code에 규정되어 있으며, 동 규정을 LNG로 적용하기 위해서는

구체적인 적용 방법 등에 대한 검토가 필요하다.

미국 CHART사에서 LNG용기에 대한 낙하시험, 충격시험 및 화염시험을 통해 자동차 추락, 화재 및 충돌사고시에도 용기 안전성에 대한 평가하였으며 이러한 평가와 안전성 확인을 통해 제작기준을 만들었으며, 국내의 경우는 이 기준을 도입 보완하여 국내기준을 수립하였다.

[그림 3-6]과 같이 낙하시험의 경우 LNG연료용기를 30ft 높이에서 떨어뜨렸는데 외조의 약간의 찌그러짐 외에는 진공이나 LNG누출이 전혀 없었다. 화염시험의 경우 화염위에 용기를 놓고 관찰하였는데 화염이 1분 진행되었으며 화염이 소실된 후 육안검사 결과 LNG용기는 많이 그을렸지만 내부압력의 변화가 거의 없었다. 마지막으로 충격시험의 경우 총탄이 타격된 부위에 약간의 홈이 생겨 진공이 깨지면서 단열성능저하로 BOG가 서서히 방출되는 현상 외에는 전혀 문제가 없었다.



[그림 3-6] Drop, Fire and Gunfire Test for LNG fuel tank

향후에는 국내에서도 LNG 자동차의 운행시 발생할 수 있는 자동차 화재 발생, 자동차의 추락사고, 도로상의 비산물이나 자동차 추돌 사고 등을 고려한 화염시험, 낙하시험, 충격 시험 등의 기준제정 등을 위한 연구 수행을 통한 기준 제정이 추가적으로 필요할 것이다.

2. LNG 충전소 및 충전용기 증발가스(BOG) 처리 기술 및 안정성 검토

가. 정상충전

LNG자동차용 연료 용기는 벤트회수 배관 없이 단일 충전호스를 통해 충전하도록 설계되어 있으며, LNG 자동차 연료 용기의 기체공간에 과냉된 LNG를

분사함으로서 가열된 LNG를 냉각시키는 시스템이다.

차가운 액체는 BOG를 응축하고 가스를 방출할 필요 없이 제거하여 용기 내에 자신이 충전될 공간을 만든다. LNG 자동차용 연료 용기 안의 감량공간은 과충전으로부터 용기를 보호한다. 일반적인 충전시퀀스는 충전호스를 용기의 충전커플러와 연결하고, 충전소의 충전밸브를 열고 충전이 진행됨에 따라 유량 또는 배관압력을 지켜보아야 한다. 충전이 시작되는 초기에는 충전배관이 냉각됨에 따라 일시적인 압력상승이 있다. 그런 다음 유량과 압력은 남은 충전시간동안 안정을 유지한다. 용기가 가득찼을 때 압력은 충전소의 충전압력까지 급속히 상승하고 유량비율은 급속히 떨어진다. 유량이 즉시 0으로 가지 않는 이유는 감량공간 때문이다. 감량공간은 작은 오리피스(주 충전배관과 비교해서)를 갖는다.

용기가 가득 차게 되면 감량공간으로의 작은 흐름(일반적으로 1~2gpm)이 있게 된다. 급속한 압력상승 또는 유량강하가 관찰되었을 때 용기는 가득차고 충전소 충전밸브는 닫혀진다.

[그림 3-7] LNG자동차 용기 충전

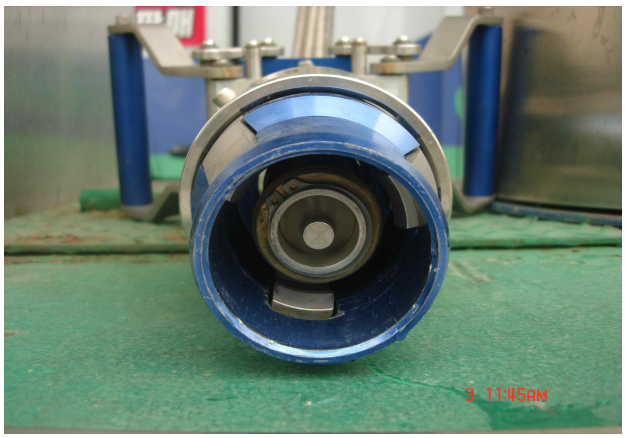
비록 감량공간에 충전을 지속하여 용기 안에 액체를 더 넣을 수는 있지만 감량공간은 연료팽창 및 대기시간을 위한 것이다. 감량공간이 완전히 채워지면 유지시간이 영(Zero)이 되고 1차 안전밸브가 충전 후 대부분 즉시 열린다. 감량공간이 비었을 때 용기는 비록 차가 운행되지 않는다 할지라도 약 1주일의 대기시간을 갖게 된다. 대부분의 고정식 연료충전소는 이 기능들을 자동적으로 감시하고 수행한다. 따라서 충전자는 연결호스의 탈부착과 작동스위치를 누르기만 하면 된다.

나. 가스충전구 및 노즐 등

모든 연료장치는 가스충전구를 갖는다. 가스충전구의 크기는 12.7㎜, 19㎜, 및 25.4㎜를 주로 부착하고 최고충전압력은 1.6㎫이다. 차량이 오발진하는 경우에 긴급분리장치가 작동하는 인장력 113㎏의 힘에 견딜 수 있도록 견고하게 부착하여야 한다. 또한 가스충전구에는 물 또는 먼지 등이 들어가지 못하게 먼지 방지 캡을 씌워야 한다.

아래 [그림 3-8]은 가스충전구를 나타낸 것이다.

[그림 3-8] LNG 충전구



[그림 3-9] LNG 충전기 노즐(전면)

일부 충전소에서는 원활한 충전을 위하여 용기내 BOG를 벤트하기 위한 규정이 있는데 충전소에서 운행하는 차량들은 충전소와 호환되는 벤트커넥터를 구

비해야 한다. 벤트커넥터는 LNG용기의 수동벤트밸브까지 배관으로 연결된다. 충전소와 벤트커넥터를 연결하고 수동벤트밸브를 열어 용기내의 기체압력은 충전소의 충전가능 조건까지 방출할 수 있다. 유의할 사항으로는 방출연결부와 차량배관의 설계에 따라 LNG가 수동방출밸브와 방출연결부 사이에서 갇히는 것을 예방하기 위해 배기관에 안전밸브를 설치해야 한다.

LNG 자동차 충전소에서 충전되는 LNG 혼소 화물자동차의 충전구에서 누출이 발생하였으며, 누출은 아래와 같이 3가지의 원인에 의하여 발생할 가능성이 있어 주위를 요한다.

- 충전 완료 후 충전구 내부에 스프링으로 작동하는 check부가 제위치에 고정되지 않는 경우(위치 고정시까지 시간 소요됨) 누출이 발생
- 충전 중 주위 공기내 수분의 결빙이 충전구내 침입하여 LNG 누출 사례 발생
- 충전기 노즐 sealing 부품 손상으로 누출 발생

이러한 충전중 누출문제 개선을 위한 충전절차를 마련하여 안전성 향상을 위한 노력을 지속적으로 수행하여야 한다.

다. 가스 방출

LNG연료용기 압력상승으로 충전할 수 없을 경우에는 충전을 위하여 용기압력을 낮추기 위하여 가스를 방출시키는데 가스를 대기로 방출하려면 배관은 안전한 위치에 방출하는 벤트스택까지 연결되어야 한다. 자동차 용기가 정상충전을 위한 압력 이상이면 액이 압력조정기로부터 벤트가스유로로 유출되지 않도록 천천히 벤트되어야 한다. 충전 중에 자동차 용기압력에 유의하여 충전끝 무렵에 정상충전압력에 도달하게 해야 한다.

이러한 LNG 용기압력상승으로 인하여 충전소에서 LNG충전을 위하여 LNG 수두압, 저장탱크 내부압력 및 LNG 펌핑압을 합한 압력보다 LNG용기 압력이 높을 경우 LNG용기 BOG를 대기 방출해야한다. 이러한 BOG 방출을 줄이기 위해서는 LNG펌핑압을 높여 LNG 용기 내압에 무관하게 충전할 수 있도록 하는 방안검토가 필요하다. 그리고 1~2일 간격으로 충전시에는 이러한 LNG용기내 BOG 방출을 최소한으로 줄일 수 있기 때문에 정상적인 운행시에는 BOG 방출문제가 대폭 개선될 것이다.

3. LNG 자동차 충전소 설치 및 인프라 구축 여건 분석

가. LNG충전 인프라 구축

LNG 연료 시장을 확대하기 위해서는 LNG 차량 보급과 더불어 충전소 인프라 구축이 필수적이다. LNG차량은 대형 정기노선 운행차량이 대부분이어서 장거리 대형차량용으로 경쟁력이 있는 LNG 충전소를 설치하는 것이 바람직하다. 그리고 충전소 설치가 바람직한 위치는 고속도로 휴게소와 가스배관망이 설치되어 있지 않은 화물 터미널 또는 물류기지가 있다.

나. 충전소 대상 부지 현황

1) 여객운수터미널

고속버스 및 시외고속의 차고지로 사용하는 고속 및 시외여객운수 터미널이 대상이 될 수 있으나 대부분의 터미널이 도심지에 위치하고 보호시설이 근접하여 설비배치가 곤란할 것으로 판단되며, 특히 부지면적에 비해 차량수가 많아 여유부지가 충분치 않은 관계로 대부분의 차고지에 충전소 설치는 어려울 것으로 판단된다.

2) 사업용 운송화물차

사업용 운송화물차가 활용할 충전소의 설치위치는 각종 화물터미널 및 ICD(내륙컨테이너기지)등이며 화물 터미널은 총 54개소가 조사되었다.

<표 3-2> 화물 터미널 현황

구 분	개소수(전국)	부지총면적(m2)
일반화물터미널	24	808,000
복합화물터미널	2	674,000
전용화물터미널	26	860,000
ICD(내륙컨테이너기지)	2	1,702,000
합 계	54	4,044,000

※ ICD에는 의왕과 양산을, 복합화물터미널에는 군포와 양산을 포함시켰음.

3) 기타 충전소 설치대상지

장거리 버스 및 화물자동차를 위해 지정된 차고지를 제외한 기타, 충전소 설치부지로 전국의 고속도로 휴계소에 충전소를 설치하여, 전국네트워크를 구성한다면 한국형 Korea Blue Corridor를 구축할 수 있다.

<표 3-3> 고속도로 휴게소 현황(지선제외)

노선명	총연장거리 (Km)	휴게소			비고
		상행선	하행선	계	
경부선	418	16	16	32	
호남선	195	5	6	11	
서해안선	340	6	7	13	
대전~통영선	286	4	4	8	
제2중부선	139	3	3	6	
중앙선	289	6	6	12	
영동선	234	6	6	12	
88선	183	4	3	7	
남해선	169	4	5	9	

4. 한국가스공사 중장기 LNG 충전소 설치계획 검토

가. 인프라 구축여건 분석

한국가스공사만 독점적으로 운영한 LNG 충전사업에 대한 규제 완화로(2010. 1.27 도시가스사업법 개정) 일반도시가스사업자와 일반인의 충전소 운영이 가능해 져 충전인프라 확산의 여건은 마련되었으나 현재 LNG화물차 전환사업 초기로 엔진의 안정성, 전환대상 엔진모델 제한, 경유가격과의 축소 등으로 전환이 활발하게 이루어지지 않고 있다.

따라서 정부와 가스공사에서는 엔진의 성능개선 및 전환대상 엔진 모델 확대 등 경유 화물차의 LNG화물차로의 전환사업 활성화 방안을 강구중 이며, 최근 새로운 형태(석탄가스 등)의 천연가스 생산량 급증으로 경유와 천연가스 가격차도 확대될 전망이므로 LNG버스 도입 시범운행 초기단계에 충전소 설치 및 운영에 대한 정부지원이 뒷받침되면 충전소 보급은 점차적으로 확산 될 전망이다.

현재 가스공사 및 민간 운수사업자가 운영 중인 LNG충전소는 <표 3-4>과 같이 총 6개소이며 인천시흥운수에서는 기존 LCNG충전소의 시설개선을 통해 LNG를 충전할 수 있도록 추진하고 있다.

<표 3-4> L(C)NG 충전소 설치 현황

충전소명	소 재 지	면적(㎡)	충전용량	비고
대전	대전시 동구 구도동117-1 (낭월공영차고지내)	1,091	200대/일	운영중
포항	포항시 북구 양덕동137 (신안여객 공영차고지내)	1,107	150대/일	〃
광양	광양시 광양읍 초남리 산 160-1	2,215	150대/일	〃
동해	동해시 망상동95-1	3,469	100대/일	〃
인천공항	인천광역시 운서동2854-3 (공항지원단지내)	3,314	400대/일	-
평택LNG	경기도 평택시 포승읍 만호리 640번지	《1,000	70~100/일	운영중 (유성T&S)

나. 중장기 LNG충전소 설치계획

한국가스공사는 인천국제공항 업무지원 단지내에 LNG충전소를 설치했으며, <표 3-5>와 같이 주요 고속도로 상하행선 휴게소 및 ICD 7개소(입장 상, 칠곡 하, 문경 상하, 매송 상하, 의왕 ICD)는 가스공사와 도로공사가 협약을 통해 인프라 구축에 대한 계획이 수립된 상태이며, 추가적으로 표 5와 같은 항만 및 물류차고지 기착지 및 종착지 중 3~4군데는 일반사업자도 충전소를 건설 운영할 수 있기 때문에 사업장내에 LNG충전소가 건설되면 인프라문제는 해소될 것으로 사료된다. 다만 이러한 인프라건설 계획은 LNG자동차의 보급추이 및 정부정책에 따라 연계되기 때문에 관련업계의 적극적인 참여가 절실히 요구되고 있다.

<표 3-5> LNG충전소 건설 예정 고속도로 휴게소 및 ICD

구 분	규 모	용 도	위 치
고속도로 입장(상) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	경부고속도로 (상행선) 입장 화물 휴게소
고속도로 칠곡(하) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	경부고속도로 (하행선) 칠곡 화물 휴게소
고속도로 문경(상) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	중부 내륙 고속도로 상행선
고속도로 문경(하) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	중부 내륙 고속도로 하행선
고속도로 매송(상) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	서해안 고속도로 상행선
고속도로 매송(하) LNG충전소	LNG충전기 2기 CNG충전기 2기	LNG 및 CNG	서해안 고속도로 하행선
의왕ICD LNG충전소	LNG충전기 2기	LNG	의왕ICD 1터미널

<표 3-6> 운영중인 화물차 휴게소(공영차고지) [4개소]

구분	휴게소 규모(㎡)	부 지 소유자	설 치 운영자	주요시설	사용 시기
광양항	26,897	KCTA	SKCTA	·위치 : 광양항 ·주차대수 : 120면	'05.12
인천항	58,182	인천항만공사	SKCTA	·위치 : 인천 중구 신흥동3가70 ·주차대수 : 380면	'07.9
부산항 (감만)	14,850	부산항만공사	SK에너지	·위치 : 부산 남구 감만1동 498 ·주차대수 : 88면	'08.11
제주시	35,191	제주특별자치도	SK에너지	·위치 : 제주시 도련1동 2574-1일대 ·주차대수 : 185면	'09.2

※ SKCTA(주) : 한국컨테이너부두공단(KCTA)과 SK에너지가 50:50으로 출자하여 설립한 회사로서 화물차휴게소 운영을 전담

<표 3-7> 건설예정인 화물차 휴게소(공영차고지) [5개소]

구분	휴게소규모	부지소유자	사업시행자	준공시기
울산 (휴게소)	48,907	울산시	SK에너지	'10년
여수 (휴게소)	44,342	여수시	SK에너지	'10년
대전 (차고지)	17,097	대전시	SK에너지	'10년
춘천 (차고지)	52,000	춘천시	SK에너지	'10년
부산신항 (휴게소)	50,835	국토해양부 BPA	SK에너지	'10년

제4장 LNG 자동차 시범운행사업

제4장 LNG 자동차 시범운행사업

1. 시범운행사업 개요

가. 배경 및 목적

LNG 자동차는 많이 알려져 있지 않다. CNG 버스가 시내버스용으로 경유 버스를 대체하여 운행하지만 왜 시내버스용으로만 보급되어 운행되는지, 같은 천연가스를 사용하는 LNG 버스는 왜 아직 보급이 되지 않는 것 등에 대해서 버스관련업체에서 일하는 사람들도 모두 알고 있지는 않다. CNG와 LNG는 똑같은 성분의 천연가스이지만 저장 방식이 달라서 CNG는 단거리운행의 연료로, LNG는 장거리운행의 연료로 사용되기 때문이다. 따라서 LNG 자동차 시범운행은 고속도로 주행을 통하여 장거리 운행의 시범운행이 이루어 질 것이다.

LNG 자동차 시범운행사업은 LNG 자동차를 실제로 운행하여 운행중에 나타나는 문제점을 분석하고 해결방안을 마련하는 데에 목적이 있다. 또한 LNG 자동차 시범운행에 운수업체 관계자가 탑승하여 LNG 자동차 주행을 경험하고 LNG 자동차에 대한 만족도와 전반적인 의견을 듣고자 시범운행을 실시하는 것이다. LNG 자동차에 대한 만족도와 LNG 사업에 대한 보조정책, 구매의사는 시범운행 후에 이루어지는 설문조사를 통해 반영된다.

나. 시범운행경로 및 버스제원

2번의 시범운행경로는 서울에서 출발하였으나 처음은 김포공항에서, 2번째는 강남고속버스터미널에서 출발하였다. 서울을 출발하여 대전 낭월에 있는 LCNG 충전소를 들려 연료충전을 하고 다시 서울로 돌아오는 서울-대전 왕복 일정이었다. 약 357.56km 왕복거리의 구간이고 운행시간만 대략 5시간 정도 주행을 하였다.

차량재원은 대우의 2005년식 시내버스용 CNG 버스를 개조한 버스이며 엔진용량이 약11리터고 LNG 연료용기는 350리터 용기 2개가 설치되어 있다.

2. 설문조사

가. 설문항목의 구성과 설명

설문은 크게 5개의 항목으로 나누어서 총 21개의 질문으로 구성하였다. 1-3번의 질문은 버스탑승 횟수와 버스운행, 충전소 등의 기본적 사항 등에 관한 의견을 물었다. 4-8번은 LNG 버스의 승차감, 쾌적성, 소음, 안정성, 성능에 관한 만족도를 물었다. 9-14번은 경유버스와 LNG 버스를 비교해서 승차감, 소음, 안정성 등에 대하여 어느 버스가 비교 우위에 있는지 조사하였다. 15번부터 19번까지는 LNG 버스에 대한 정부보조정책 및 보조금액에 대한 질문이다. 마지막으로 20-21은 설문응답자에 대한 정보를 묻는 질문이었다.

나. 설문결과

1) LNG버스에 대한 만족도

LNG버스에 대한 만족도 조사는 버스의 주행중 승차감, 쾌적성, 소음, 안정성, 주행성능에 관한 항목으로 불만과 만족이 있는 사람이 다양하게 있었으나 각 항목에 대하여 보통이라는 결과를 주로 보였다.

2) LNG버스와 경유버스와의 만족도 비교

LNG버스의 만족도 항목을 가지고 동일하게 경유버스와 비교를 통하여 어느 항목에서 LNG버스가 비교우위에 있고 어느 항목에서 경유버스가 비교우위에 있는지 알아보고자 한다.
경유버스와 LNG버스의 만족도 비교 결과는 5개의 각 항목에 대하여 더 많은 사람이 선호한 버스를 비교우위의 결과로 정하였다.

<표 4-1> 경유버스와 LNG버스의 만족도 비교

	LNG버스 선호	경유버스 선호	똑같다
승차감	O		
쾌적성	O		
소음	O		
안정성		O	
주행성능		O	

승차감, 쾌적성, 소음에 있어서는 더 많은 사람들이 LNG버스를 선호하였으나 안정성과 주행성능 면에서는 경유버스를 더 많이 선호하였다. 이는 버스 연료의 특성과 LNG버스가 공장에서 제작된 차량이 아니라 개조된 차량임을 감안한다면 의외의 결과가 아닌 반응으로 여겨진다.

3) LNG버스 보급에 대한 희망지원정책 및 규모

LNG버스 보급사업이 추진될 시 높은 가격의 LNG버스 구입비에 대하여 희망하는 정부의 지원정책과 규모를 조사하였다. 조사에 답한 거의 모든 사람들이 차량가격에 대한 보조를 원했으며 그 규모는 경유버스대비 LNG버스 구입비용 차액에 대하여 80%이상의 가격보조를 희망하였다. 더불어 취득세, 등록세, 부가가치세 등의 세제혜택도 희망하였다.

4) 기타의견

LNG버스 시범사업 진행 후에 실시한 설문조사를 통하여 버스운송업체에서 일하는 사람들의 의견을 정리해보고자 한다.

설문을 통하여 조사된 의견중에서 가장 많은 의견을 차지한 것은 충전소 보급확대의 문제였다. LNG버스의 경우 1회 충전으로 장거리 운행을 할 수 있다 하지만 충전소 인프라가 잘 갖추어 있지 않은 상황에서 LNG버스 보급과 운행은 많은 불편이 있다고 생각한 것이다.

두 번째는 검증된 안정성이 확보 되야 한다는 의견이었다. LNG버스의 연

료가 천연가스이므로 일반적으로 대부분의 사람들이 생각하고 있는 가스의 위험성에 대하여 많이 민감한 것이었다.

세 번째는 경유버스와의 가격차이 축소 및 정부의 지원규모에 대한 의견이었다. 동일한 연료를 사용하는 CNG버스와 경유버스와의 가격차이가 약 1,850만원인데 LNG버스와 경유버스와의 가격차이는 CNG와 경유버스와의 가격차이에 약 3배에 달하여 많은 차이가 나고 CNG버스와 비교하여도 높은 가격이므로 체감으로 느껴지는 가격은 더 높을 것이라 예상된다.

다른 의견으로는 LNG버스의 연비향상 필요, 대형버스의 용도에 맞게 높은 출력과 주행성능, 정비와 유지보수의 문제점 해결방안의 기타 의견 등이 있었다.

제5장 제5장 경제성 분석을 통한 LNG 자동차 보급사업 타당성 검토

제5장 경제성 분석을 통한 LNG 자동차 보급사업 타당성 검토

1. LNG 자동차 보급정책의 경제성 평가

가. 평가방법

LNG 자동차 보급사업은 기존의 장거리 운행을 하고 있는 경유버스를 LNG 버스로 대체하여 자동차로부터 나오는 오염물질 절감을 통해 대기환경을 개선하고자 하는 것이다. 이러한 측면에서 본 연구의 LNG 자동차 보급정책의 환경성 및 경제성 평가는 경유버스의 환경성 및 경제성 평가와 비교하여 이루어 질 것이다.

본 연구에서 실시할 경제성 평가는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 첫째는 사회 전체적인 관점에서 경제성 평가를 실시하는 것으로 해당 대안에 대한 비용효율성을 분석함으로 해당 대안의 사회적 유익 여부를 판가름하여 준다. 두 번째는 기업 관점에서 경제성 평가를 실시하는 것으로 일반적으로는 수익성 분석이라 하며, 이것도 일반적 경제성 평가와 마찬가지로 기업 관점에서 해당 대안에 대한 비용효율성 분석을 통하여 해당 대안에 대한 기업의 유익 여부를 알려준다.

본 연구에서는 순현재가치(Net Present Value: NPV)법을 이용하였다. 순현재가치법은 사업의 내구년수 동안 발생하는 모든 편익과 비용을 할인율을 통하여 현재가치화한 후, 편익의 현재 가치에서 비용의 현재가치를 차감함으로써 내구년수 전체에 대한 사업의 순현재가치를 구하는 방법이다. 이를 식으로 표현하다면 다음과 같이 설명할 수 있다.

$$NPV^1 - NPV^2 = (I_0^2 - I_0^1) + \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t^2 - C_t^1}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{T} \frac{B_t^2 - B_t^1}{(1+r)^t}$$

- NPV: 순현재가치, I0: 초기시설투자비, Bt: t차년도에 발생하는 편익, Ct: t차년도에 발생하는 비용, T: 내구년수, r: 할인율
- 상첨자 1은 기존 경유 버스 사용의 경우, 상첨자 2는 LNG 버스 보급사업의 경우

위 식의 결과를 통하여 두 대안 중에서 어느 경우가 더 효율적인지 알 수 있는데 NPV1 > NPV2이면 기존 경유차 경유가 더 효율적이고, 반대로 NPV1 < NPV2이면 LNG 버스의 경우가 더 효율적이다.
수식에서 볼 수 있듯이 고려해야 하는 비용 편익 항목 중, 각 대안 간 동일한 항목은 서로 각각 차감하여 소거되어 해당 항목에 대해서는 데이터를 추정하거나 수집하지 않아도 된다.

나. 경제성 및 수익성 분석

본 연구에서는 경제성과 수익성 분석을 나누어 실시하였는데 이러한 분석은 각각의 분석 결과에 따라서 여러 가지 유용한 정보를 얻어 낼 수 있다. 예를 들어, 기존 대안에 비해 새로운 대안이 경제성과 수익성 모두 있을 경우 새로운 대안이 사회적으로 유용한 것이므로 새로운 대안에 대한 사업 진행이 유도 되어야 한다. 하지만 기업도 역시 새로운 대안으로부터 이익을 누리므로 정부가 시장에 굳이 개입하여 새로운 대안에 대한 사업을 진행할 필요가 없다. 반면에, 기존 대안에 비하여 새로운 대안이 경제성이 있으나 수익성이 없을 경우 새로운 대안이 사회적으로 유용하므로 새로운 대안에 대한 사업 진행이 필요하다. 그러나 이러한 경우 기업의 이익이 보장되지 않으므로 정부의 개입을 통하여 새로운 대안에 대한 사업이 진행될 수 있도록 해야 한다. 이와는 반대로, 새로운 대안이 기존 대안에 대해서 경제성이 없고, 수익성이 있는 경우 기업에게는 유용하나 사회적으로는 바람직하지 않은 대안 이므로 정부의 개입을 통하여 일정 정도의 제한이 필요하다. 경제성과 수익성 결과의 마지막 경우로 새로운 대안이 기존 대안에 대하여 경제성과 수익성이 모두 없는 결과이다. 이러한 경우는 사회와 기업 모두에게 바람직하지 않은 것이고 기업에게도 관심 밖의 일이므로 정부가 개입할 필요가 없다. 아래의 표는 이상의 설명을 요약한 것이다.

<표 5-1> 경제성과 수익성

	경제성 있음	경제성 없음
수익성 있음	사회와 기업, 모두에게 유용한 대안이므로 정부가 개입할 필요가 없음	기업에게는 유용하나 사회적으로 바람직하지 않으므로 일정 정도의 제한이 필요
수익성 없음	사회적으로 바람직하나 기업에게는 유용하지 않으므로 정부의 개입이 필요	사회와 기업, 모두에게 바람직하지 않아 기업의 관심이 없을 것이므로 정부의 개입도 불필요

다. 분석단계

1단계에서는 EURO-4 오염물질 배출허용량기준의 경유버스대비 LNG버스의 경제성 분석을 하고 수익성 분석을 할 것이다. 경제성 분석을 하기 위해서 먼저 경유버스대비 LNG버스의 환경개선편익과 각각의 비용항목을 구하고 경제성 평가를 실시한다. 수익성 분석에서는 환경개선편익 분석이 필요없고 수익성 분석의 비용항목만을 구하여 수익성 평가를 하면 된다.

2단계에서는 EURO-5 오염물질 배출허용량기준의 경유버스대비 LNG버스의 경제성 분석을 하고 수익성 분석을 할 것이다. EURO-5 기준에서도 1단계와 동일하게 경제성 분석을 위한 환경개선편익과 비용을 구하여 경제성을 평가하고, 수익성 분석의 비용항목을 구하여 수익성을 평가할 것이다.

3단계에서는 EURO-6 오염물질 배출허용량기준의 경유버스대비 LNG버스의 경제성 분석을 하고 수익성 분석을 할 것이다. 경제성과 수익성 분석은 앞 단계에서 설명한 절차와 동일하게 진행된다.

2. EURO-4 기준에서의 경제성 평가

가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가

1) LNG버스 보급에 따른 오염물질 배출량 증감 추정

EURO-4 기준에서 LNG버스 보급정책에 대한 환경성 평가를 하기 위하여 경유버스와 LNG버스의 오염물질 배출량을 구하여 경유버스를 LNG버스로 대체 했을때 오염물질 배출량 증감량이 필요하다. 이러한 분석은 EURO-4 기준의 경제성 평가를 위한 작업이므로 환경성 평가에서도 EURO-4 기준의 기초자료에 대한 항목을 적용하여 구할 것이다.

먼저 각 버스에 대한 오염물질 배출량을 구하기 위하여 경유버스와 LNG버스의 배출계수 산출식이 필요하다. 하지만 LNG버스는 아직 보급되지 않아 배출계수가 존재하지 않고 대신에 동일하게 천연가스(Natural Gas)를 연료로 사용하여 운행하는 CNG버스의 배출계수를 통하여 LNG버스의 오염물질 배출량을 구할 수 밖에 없다.

<표 5-2> 경유버스와 CNG버스의 배출계수 산출식

차 종	물 질	배출계수 산출식
경유버스	CO	$Y=21.348*V^{-0.5806}$
	HC	$Y=6.6390*V^{-0.5760}$
	NOx	$Y=0.0024*V^2-0.3145V+18.59$
	PM	$Y=1.1507*V^{-0.4804}$
	CO2	$Y=4,638.6*V^{-0.5179}$
CNG버스	CO	$Y=18.235*V^{-0.3767}$
	HC	$Y=8.0544*\exp(-0.0174*V)$
	NOx	$Y=8.6972*\exp(-0.013*V)$
	CO2	$Y=5,019.8*V^{-0.5582}$

자료: 국립환경과학원 교통환경연구소(2009년) 내부자료
주: Y는 배출계수, V는 평균주행속도

위의 배출계수 산출식 표에서 경유버스는 PM을 포함한 5개의 오염물질에 대한 배출계수 산출식이 있지만 CNG버스와 LNG버스는 천연가스를 연료로 사용하기 때문에 PM이 거의 생성되지 않는다.

배출계수 산출식을 통하여 오염물질별 배출계수를 구하기 위해서는 버스별 평균주행속도가 필요한데, LNG버스의 보급정책에 따라서 본 연구에서 경유버스의 대안으로 다루어야 할 버스는 시외, 고속, 공항버스이고 이 중에서 시외버스와 고속버스의 평균주행속도를 알 수 있었다. 시외버스는 44.8[4] km/h이고 고속버스는 68.8[5]km/h인데 이 자료는 경기도 지역을 중심으로 조사된 2009년도 자료이지만 시외버스의 경우 가장 활발한 버스 운행의 노선이 서울-경기도를 잇는 노선이고, 고속버스의 경우도 서울과 타지역간의 노선에서 대부분의 노선이 경기도 지역 혹은 경기도 주변 지역을 통과하기 때문에 다른 지역의 자료가 부재한 상황에서 경기도 지역을 중심으로 조사된 이 자료의 활용은 가장 적절한 대안으로 여겨진다. 공항버스는 주로 시내도로와 인천공항 고속도로를 주행하므로 시내버스와 고속도로의 평균주행속도로 나누어 분석할 수 있다. 이상의 설명에 각 버스별 평균주행속도는 아래의 표와 같다.

<표 5-3> 버스별 평균주행속도

(단위: km/h)

	시외버스	고속버스	공항버스
평균주행속도	44.8	68.8	고속도로: 68.8 시내도로: 21.4

자료: 2009년 국가교통 DB센터(시외, 고속, 시내버스)

경유버스와 LNG버스 두 버스의 연료가 다르다고 하여 평균주행속도는 달라지는 것이 없으므로 버스별 평균주행속도를 배출계수 산출식에 적용하여 오염물질별 배출계수를 구할 수 있다.

1), 2)는 각각 2009년 국가교통 DB센터의 시외버스와 고속도로의 경기도 지역 평균주행속도

<표 5-4> 경유버스의 오염물질별 배출계수

(단위: g/km)

		CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스		1.67	0.51	6.522	0.13	750.6
고속버스		1.32	0.41	5.803	0.11	656.7
공항버스	고속도로	1.32	0.41	5.803	0.11	656.7
	시내도로	3.928	1.204	9.165	0.052	950.14

자료: 시내버스배출계수("천연가스자동차 보급성과 평가 및 안정적 보급을 위한 합리적 방안 연구", KEI, 2009. 12)

<표 5-5> CNG버스의 오염물질별 배출계수

(단위: g/km)

		CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스		0.082	2.24	4.86	0	601.1
고속버스		0.071	1.53	3.65	0	480.9
공항버스	고속도로	0.071	1.53	3.65	0	480.9
	시내도로	0.109	3.872	6.629	0	908.87

자료: 시내버스배출계수("천연가스자동차 보급성과 평가 및 안정적 보급을 위한 합리적 방안 연구", KEI, 2009. 12)

앞에서 구한 각 버스의 오염물질별 배출계수를 오염물질 배출량 산출식에 적용하면 각 버스의 오염물질별 배출량을 구할 수 있다. 오염물질 배출량을 구하기 위해서는 아래의 식이 보여주는 것과 같이 일일주행거리가 필요하다. 그래서 각 버스별 일일주행거리도 아래의 표로 요약하였다.

배출량(kg/대·년) = 오염물질별 배출계수(g/km)X일일주행거리(km/일·대) X365일/년X0.001(kg/g)

<표 5-6> 버스별 일일주행거리

(단위: km/day)

	시외버스	고속버스	공항버스
일일주행거리	403	475	423 [1)]

자료: 국가교통 DB센터, 공항버스(리무진버스회사)

버스별 오염물질 배출량을 구하기 위해 배출량 공식에 대입할 기초자료가 준비되었으므로 각각의 데이터를 배출량 공식에 대입하고자 한다. 버스별 데이터를 배출량 산출식에 대입하여 산출된 오염물질별 배출량을 다음의 표에 정리하였다.

<표 5-7> 경유버스별 오염물질 배출량

(단위: kg/대·년)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	246.53	76.04	959.35	19.46	110,410
고속버스	230.41	71.25	1,006	18.89	113,862
공항버스	377.65	116.08	1,119	13.05	120,866

<표 5-8> LNG버스별 오염물질 배출량

(단위: kg/대·년)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	12.06	329.78	714.88	0	88,418
고속버스	12.03	265.09	632.99	0	83,383
공항버스	13.48	391.54	761.31	0	102,651

경유버스와 LNG버스에 대해서 각 버스별 오염물질 배출량을 구한 것을 경유버스대비 LNG버스의 환경성평가를 하기 위해 각 버스별 경유버스 오염물질 배출량에서 LNG버스의 오염물질 배출량을 차감하여 각 오염물질에 대한 배출량 증감을 구할 수 있다.

<표 5-9> 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량

(단위: kg/대·년)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	234.46	-253.73	244.47	19.46	21,992
고속버스	218.1	-193.83	373.1	18.89	30,478
공항버스	364.17	-275.47	357.74	13.05	18,215

주: '-'는 배출량 증가를 의미함

2) 환경개선편익 분석

환경개선편익은 LNG버스 보급사업을 추진하여 LNG버스가 경유버스를 대체함으로 얻을 수 있는 환경적 측면에 대한 유익을 비용으로 환산하여 계산한 것을 말한다. 따라서 환경개선편익을 구하기 위해서는 환경적 측면의 유익을 비용으로 환산할 수 있는 일정한 기준이 필요하다. 본 연구와 관련해서는 LNG버스가 경유버스를 대체함으로 얻는 환경적 유익을 비용으로 환산할 수 있는 일정한 기준이 필요한 것이고 이것을 다르게 말하면 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용이라 표현할 수 있겠다.

대기오염의 사회적 한계비용을 제시하는 논문과 연구가 많은데 특히 많이 쓰이는 자료는 UNEP과 EC의 자료이다. 둘 중에 사회적 한계비용으로 적용할 자료는 EC의 기준인데 그 이유는 EC에서 제시한 자료는 도시의 인구수를 기준으로 사회적 한계비용을 제시했기 때문이다. 예를 들어, 도시인구수가 30만, 50만, 100만에 따라서 PM에 대한 사회적 한계비용이 다르다는 것이다. 이것은 특정 도시에 많은 사람이 밀집되어 있는 우리나라의 도시인구 분포를 고려할 때 UNEP의 자료보다 EC의 자료가 더 적절하다. 하지만 EC의 자료도 여전히 규제대상 오염물질인 CO에 대한 추정치를 제시하지 못하는 한계가 있는데 KAIST가 국내 전문가 설문조사를 통해 SO2를 기준으로 5대 오염물질에 대한 상대적 위해도 지수를 분석하여 발표하였다.

<표 5-10> 오염물질별 대기위해지수(SO_2=1, KAIST)

SO2	NOx	먼지	CO	HC
1.0	0.97	1.21	0.74	0.86

자료: "청정연료 사용지역내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한연구", KAIST, 1998. 4

KAIST의 오염물질별 대기위해지수를 통하여 EC 자료의 HC에 대한 CO의 상대적 위해지수를 활용하여 CO에 대한 추정치를 EC에 보완하였다.

<표 5-11> 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용(2009년 기준)

(단위: 원/kg)

오염물질	UNEP의 한계비용	EC의 한계비용
PM	35,622	385,763(100만) 256,640(50만)
NOx	10,880	6,196
HC	10,803	3,098
CO	9,295	2,666

자료: A. Markandya, Economics of Greenhouse Gas limitations: The Indirect Costs

and Benefits of Greenhouse Gas Limitations, UNEP, 1998
KAIST,「청정연료 사용지역내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한 연구」, 1998.4
Mike Holland, Paul Watkiss, 2002, "BeTa Version El.02a Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe", netcen

주: $1 = 1,291원, €1 = 1,155원(2001년), 2002년 ~ 09년 물가상승률(통계청)

CO_2에 대한 대기오염의 사회적 한계비용도 EC의 자료에 제시되지 않았으나 다른 방법을 통하여 구할 수 있다. CO_2의 사회적 한계비용 산출방법은 탄소배출권 거래가격을 통하여 구하는 것이다. 국제적으로 이루어지고 있는 탄소배출권에 대한 거래는 2009년 EU지역에서 전 세계 거래량의 73%를 차지하였으므로, EU지역의 탄소배출권 거래가격을 고려하는 것이 타당할 것이다. 에너지관리공단에서 제시한 EU지역의 2009년 탄소배출권 톤당 평균가격은 14유로이며 2009년 평균 유로 환율 1,774.35원을 적용하면 EU 지역의 2009년 탄소배출권 톤당 평균가격은 약 24,840원이다.

다시 환경개선편익 산출을 위한 분석으로 돌아와서, 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용을 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 증감량에 곱하면 버스 1대당 1년 동안의 경유버스대비 LNG버스의 환경개선편익이 된다. 한 가지 더 고려할 점은, EC의 한계비용에서 50만인 기준을 기본적용으로 하고 공항버스에 한하여 서울 도심을 운행하는 동안의 PM 배출량에 대해서는 100만인 기준의 한계비용을 적용하는 것이 타당하다.

<표 5-12> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익

(단위: 원)

	CO	HC	NOx	PM	CO_2
시외버스	625,095	-786,083	1,515,747	4,994,385	546,291
고속버스	581,469	-600,495	2,311,746	4,849,950	757,087
공항버스	967,651	-850,710	2,210,980	3,788,202	451,848

주: 공항버스의 경우 PM의 한계비용으로 시내도로 주행거리는 100만인 기준으로, 고속도로 주행거리는 50만인 기준을 적용

나. LNG버스 보급사업의 비용분석

1) LNG버스 보급사업의 초기투자비용

LNG버스 보급사업의 초기투자비용이라 함은 LNG버스의 가격을 의미한다. 여기서는 LNG버스 보급사업에 대한 경제성 평가를 위한 초기투자비용이므로 경유버스와 LNG버스의 가격 차이를 말한다.

경유버스대비 LNG버스의 가격 차이를 알기 위해서는 두 버스의 가격을 알아야 하는데 경유버스는 현재 상용화되어 있어 가격을 쉽게 알수 있지만 LNG버스는 아직 상용화 되지 않아 버스제작업체에서 제시하는 가격을 기준으로 하였다. LNG버스의 가격은 아직 양산체제를 갖추지 않아서 양산체제를 통해서 생산되는 경유버스의 가격과 비교하기 어렵지만 LNG버스를 1년에 100[6]대와 1,500[7]대 양산시를 가정하여 가격을 비교하였다.

<표 5-13> 경유버스대비 LNG버스 구입비차액

(단위: 천원)

	100대(연료통2개)	1,500대(연료통1개)	1,500대(연료통2개)
대우	104,382	52,478	68,783
현대	88,844	45,966	56,908

자료: 대우버스와 현대자동차 제시가격

위의 표에서 보여주는 것과 같이 버스제작업체에서 제시한 가격이 서로 다르지만 경제성 평가에서 적용할 버스구입비 차액은 각각의 경우에 따라서 버스구입비차액이 적은 금액을 선택하여 적용할 것이다.

6) 1년에 100대 생산은 공항버스와 고속버스를 대체할 경우를 근거로 산정했음. 현재 운행되고 있는 공항버스가 450대,고속버스가 2,000대 이고 LNG버스가 경유버스를 대체하는 것이 수년이 걸린다면 회사별로 1년에 100대 정도의 생산이 될 것이라 예상함

7) 1년에 1,500대 생산은 공항, 고속, 시외버스를 대체할 경우를 근거로 산정했음. 각주 3)에 이어서 설명을 한다면 시외버스가 약 8,000대 가량 운행되고 있으므로 회사별로 1년에 1,500대 정도의 생산이 될 것이라 예상함

2) LNG버스 운행의 연료비용

LNG버스 운행의 연료비용 분석도 초기투자비용과 마찬가지로 LNG버스 보급사업에 대한 경제성 분석에서 하나의 기초데이터를 찾는 것이므로 경유버스대비 LNG버스 운행의 연료비용을 구해야 한다.

경유버스대비 LNG버스 운행의 연료비용을 구하기 위해서 연비, 주행거리, 연료비를 고려해야 하는데 이 중에서 제일 많은 비중을 차지하는 것은 연료단가이다. 왜냐하면 다른 요소들은 전체적으로 심한 변동이나 없고 대부분 변동이 있다 하더라도 변동 폭이 좁은데 반하여 연료비는 특히, 경유가격은 단기간에도 여러 상황에 따라서 변동 폭이 커서 어느 시점의 연료단가를 적용할 것인지는 매우 민감한 사항이다. 여기서는 최근 1년 즉, 2009년 하반기와 2010년 상반기 동안 경유와 LNG의 원료비가격을 적용한다.

<표 5-14> 버스별 연비, 주행거리, 연료가격

(단위: km, ℓ, m³, km/ℓ, km/m³)

	연간주행거리	연비		연간 연료사용량	
		경유	LNG	경유	LNG
시외버스	147,095	3.32	2.99	44,305	49,195
고속버스	173,375	4.25	3.85	40,794	45,032
공항버스	154,395	3.37	3.05	45,814	50,621

자료: 1. 고속버스의 경우 제작사 LNG차량 운행결과 적용(KEI, "LNG 자동차 보급 예비타당성 조사연구, 2007)
2. 시외버스의 경우 Raley's LNG truck fleet final results(National Renewable Energy Laboratory, 2000)
3. 공항버스의 경우 고속버스와 시내버스의 연비를 고려하여 산출
4. 연간주행거리(국가교통 DB센터, 공항리무진버스회사)

<표 5-15> 연료별 가격 및 연간 연료비 금액

(단위: ℓ, m³, 원)

	경유	연료가격	연간사용량	연간사용금액
경유	시외버스	772.54	44,305	34,227,385
	고속버스		40,794	31,514,997
	공항버스		45,814	35,393,148
LNG	시외버스	656.86	49,195	32,314,228
	고속버스		45,032	29,579,720
	공항버스		50,621	33,250,910
감소액	시외버스	115.68	4,889	1,913,157
	고속버스		4,238	1,935,277
	공항버스		4,806	2,142,237

자료: 연료가격(2009.7~2010.6 세금을 제외한 가격, LNG-가스공사, 경유-opinet)

다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가

LNG버스 보급사업의 경제성은 앞에서 구한 환경개선비용편익, 경유버스대비 LNG버스 구입비용금액과 연료비용을 종합적으로 고려하여 평가를 한다. 각각의 이전 데이터에서 한 가지 더 작업해야 할 것은 1년 동안의 분석으로 얻은 각 데이터를 버스의 내구연한기간 동안의 편익과 비용으로 현재가치화[8]하여 경제성 평가에 적용해야 한다는 것이다.

먼저 환경편익을 버스의 내구연한기간 동안의 현재가치화된 편익으로 전환할 것인데 각 오염물질에 대한 환경편익을 2가지 시나리오로 나누어 환경편익을 구하고자 한다. 먼저 시나리오 1은 수도권대기환경개선에관한특별법에서 제작차배출허용기준으로 정하는 오염물질 즉, CO, PM, NOx, HC에 대한 환경편익을, 시나리오 2는 시나리오 1의 오염물질에 CO2를 추가한 것이다.

8) 미래에 발생하는 현금흐름을 화폐의 시간가치를 반영하여 적절한 할인율로 현재시점에서의 가치로 환산한 값을 말함. 여기서의 할인율은 5년 만기 국고채 금리 4.64%를 적용

<표 5-16> 버스 내구연한기간 동안 경유버스대비 LNG버스의 환경편익 및 연료비 감소액

(단위: 원)

	시나리오 1	시나리오 2	연료비감소액
시외버스	47,981,337	52,110,385	14,460,258
고속버스	53,986,614	59,708,926	14,627,450
공항버스	46,227,634	49,642,851	16,191,722

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 할인율 4.64%(2009년 5년 만기 국고채 금리평균, 한국은행)

경유버스대비 LNG버스의 구입비차액은 매년 필요한 비용이 아니라 경유버스대비 LNG버스 구입시에 드는 1회성의 추가비용이므로 현재가치화할 필요가 없다. 따라서 위에서 구한 내구연한기간 동안의 현재가치금액을 가지고 LNG버스 보급사업에 대한 경제성 평가를 하면 아래의 표와 같은 결과를 얻는다.

<표 5-17> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-26,402,405	-22,273,357
	고속버스	-20,229,936	-14,507,624
	공항버스	-26,424,944	-23,009,427

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 88,844,000원은 LNG버스 양산대수 100대 기준으로 연료통 2개

버스가격차가 약 8,884만원인 경우는 시나리오와 상관없이 모든 버스가 경제성 평가 결과로 손실로 나타나 이 같은 경우에는 LNG버스 보급사업 추진에 대한 타당성이 없다.

<표 5-18> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	5,533,595	9,662,643
	고속버스	11,706,064	17,428,376
	공항버스	5,511,056	8,926,573

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 56,908,000원은 LNG버스 양산대수 1,500대 기준으로 연료통 2개

버스가격차를 약 5,690만원 적용한 경제성 평가 결과로 시나리오에 상관없이 모든 버스에 대해서 편익이 발생하는 것으로 나타나 동일한 비용과 조건에서 LNG 버스 보급은 사회적으로 유익한 영향을 미친다.

<표 5-19> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	16,475,595	20,604,643
	고속버스	22,648,064	28,370,376
	공항버스	16,453,056	19,868,573

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 46,966,000원은 LNG버스 양산대수 1,500대 기준으로 연료통 1개

버스가격차를 약 4,596만원 적용한 경제성 평가 결과는 시나리오와 상관없이 모든 경우에 대하여 경제편익이 발생하여 LNG버스가 경유버스보다 약 4,596만원이 비싸다면 LNG버스 보급사업 추진에 대하여 충분한 타당성이 있다.

라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가

경제성 평가를 위해서는 경유버스대비 LNG버스의 환경개선편익, 초기투자비용, 연료비용이 고려되어야 한다. 열거한 비용항목들은 경제성 평가 결과에 영향을 미치는데 다른 항목에 비해서 연료비는 많이 유동적이며 버스내구연한기간을 고려해야 할 항목이므로 연료단가에서의 작은 변화도 경제성 평가결과에 큰 영향을 미친다. 이러한 유동성의 변화를 고려하여 변동폭을 5%와 10%로 경유가격대비 LNG가격이 상승할 때와 하락할 때의 경우로 나누어 경제성 평가에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

연료가 변동에 따른 경제성 평가는 다른 분석항목 환경개선편익, 초기투자비용은 변화가 없고 연료비용에 대해서만 변화를 고려하여 평가하는 것이다. 다음 표에 연료가격 변동에 따른 연료비용을 요약하였다.

<표 5-20> 연료가 변동에 따른 연료비 절감액

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
절감액	시외버스	-9,963,878	2,248,190	26,672,356	38,884,394
	고속버스	-7,729,857	3,448,797	25,806,103	36,984,756
	공항버스	-8,940,388	3,625,667	28,757,777	41,323,833

주: 1. 절감액 항목에서 음(-)은 연료비 증가를 의미함
2. 연료가 변동에 대한 비율에서 음(-)은 경유가격대비 LNG가격의 상승, 반대로 양(+)은 경유가격대비 LNG가격의 하락을 의미함

연료가 변동에 따른 연료비를 고려하여 연료가 변동에 대한 각각의 경우에 대하여 경제성 평가를 하면 아래의 표와 같은 결과를 얻는다.

<표 5-21> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-50,826,541	-38,614,473	-14,190,337	-1,978,269
	고속버스	-42,587,243	-31,408,589	-9,051,283	2,127,370
	공항버스	-51,557,054	-38,990,999	-13,858,889	-1,292,833
시나리오 2	시외버스	-46,697,493	-34,485,425	-10,061,289	2,150,779
	고속버스	-36,864,931	-25,686,277	-3,328,971	7,849,682
	공항버스	-48,141,537	-35,575,482	-10,443,372	2,122,684

주: 1. 음(-)은 경제성 평가의 손실을 의미함
2. 시나리오 1(CO, HC, PM, NOx), 시나리오 2(CO, HC, PM, NOx, CO2)

경유버스대비 LNG버스의 구입가격차가 약 8,884만원인 경우의 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과로 시나리오 1에서는 고속버스의 경우에 한하여 경유가격대비 LNG가격이 10% 하락할 때 약 212만원 경제편익이 발생하고 나머지의 모든 경우는 손실이 발생한다. 시나리오 2에서는 경유가격대비 LNG가격이 10% 하락했을시 모든 버스에 대해서 경제성 평가 편익이 발생한다.

<표 5-22> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-18,890,541	-6,678,473	17,745,663	29,957,731
	고속버스	-10,651,243	527,411	22,884,717	34,063,370
	공항버스	-19,621,054	-7,054,999	18,077,111	30,643,167
시나리오 2	시외버스	-14,761,493	-2,549,425	21,874,711	34,086,779
	고속버스	-4,928,931	6,249,723	28,607,029	39,785,682
	공항버스	-16,205,537	-3,639,482	21,492,628	34,058,684

경유버스대비 LNG버스 가격차가 약 5,690만원인 경우의 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과 시나리오 1에서 연료가 변동이 없을 시에 모든 버스에 대해서 경제성 평가 결과 편익이 발생하였으나 경유가격대비 LNG가격이 5% 증가하면 시외버스와 공항버스는 손실이 발생한다. 시나리오 2의 경우에도 시나리오 1의 경우와 금액이 차이가 있을 뿐 평가 결과에 대한 손익과 편익의 결과는 동일하다.

<표 5-23> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-7,948,541	4,263,527	28,687,663	40,899,731
	고속버스	290,757	11,469,411	33,826,717	45,005,370
	공항버스	-8,679,054	3,887,001	29,019,111	41,585,167
시나리오 2	시외버스	-3,819,493	8,392,575	32,816,711	45,028,779
	고속버스	6,013,069	17,191,723	39,549,029	50,727,682
	공항버스	-5,263,537	7,302,518	32,434,628	45,000,684

버스가격차가 약 4,596만원인 경우의 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과 시나리오 1과 2 서로 금액에 대한 정도의 차이만 있을 뿐 결과는 동일하고 시외버스와 공항버스는 경유가격대비 LNG가격이 5% 상승에는 편익이 발생하지만 10% 상승에서는 손실이 발생한다. 하지만 고속버스의 경우 경유가격대비 LNG가격이 10% 상승해도 경제성 평가 결과 편익이 발생한다.

마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정

LNG버스 보급사업이 경제편익을 창출하기 위해서는 LNG버스가 경유버스를 대체할 경우 경제성 평가에 고려되는 각 항목에 대하여 손실보다는 편익이 커야지 경제편익이 존재한다. 앞에서의 경제성 평가 결과처럼 환경편익 시나리오, 버스구입비 차액과 함께 버스별로 경제편익이 존재하는 경우와 경제적 손실로 나타나는 경우도 있다. 경제적 손실로 나타나는 결과를 경제편익의 결과로 전환되기 위해서는 비용을 줄이는 방법이 있는데 여기서는 버스구입비 차액에 대하여 경제편익 창출을 위한 최소버스비를 구해보고자 한다.

경제편익 창출을 위한 최소버스비를 구하는 방법은 LNG버스 보급사업을 통해서 얻을 수 있는 각 항목에 대한 편익의 합으로 설명할 수 있다. LNG버스로 대체함으로 얻을 수 있는 환경편익과 연료비 감소액이 바로 LNG버

스 보급사업에 대한 편익항목이므로 이 항목들을 더하면 경제편익 창출을 위한 최소버스비가 산정되는 것이다. 구체적으로 얘기한다면 버스구입비 차액이 각 항목에 대한 편익의 합과 동일하다면 경제편익은 0원이 되는 것이고, 버스구입비 차액이 편익의 합보다 작다면 경제편익이 발생하게 되는 것이다.

<표 5-24> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
최소버스구입비차액	시외버스	62,441,595	66,570,643
	고속버스	68,614,064	74,336,376
	공항버스	62,419,056	65,834,573

주: 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)

경제편익 창출을 위해 최소버스구입비차액을 구했다. 앞에서 설명한 최소버스구입비차액이 갖는 의미를 산출결과를 예로 들어 다시 설명한다면 시나리오 1에서 공항버스의 최소구입비차액이 약 6,241만원이 나왔는데 이것은 공항버스에 대하여 경유버스대비 LNG 버스가격차가 결과와 동일한 값이면 경제성 결과는 0(zero)이고 결과보다 낮으면 경제편익이 발생, 반대로 높으면 경제성 평가 결과는 손실이 발생한다. 따라서 앞서 실시한 버스가격차이별 경제성 평가 결과와 동일하게 버스가격차이가 8,844원인 경우에는 손실로 5,690원과 4,596원인 경우에는 경제성 평가 결과가 편익의 결과로 나타났다.

3. EURO-4 기준에서의 수익성 평가

가. LNG버스 보급사업 수익성 평가를 위한 비용분석

1) LNG버스 보급사업의 초기투자비용

수익성 평가를 위한 비용분석에서 LNG버스 보급사업의 초기투자비용은

LNG버스 구입시 경유버스보다 더 들어가는 구입비용을 말한다. 이는 경제성 평가를 위한 비용분석에서 LNG버스 보급사업의 초기투자비용과 동일한 의미이고 똑같은 금액이다. <표 5-13>에 나와 있으며 여기서도 두 버스 업체가 제시한 가격 중에서 낮은 금액을 선택하여 수익성 분석의 초기투자비용 항목으로 적용할 것이다.

2) LNG버스 운행의 연료비용

수익성 평가를 위한 LNG버스 운행의 연료비용 분석 방법은 앞서 경제성 평가를 위한 LNG버스 운행의 연료비용 분석 방법과는 조금 다르다. 전체적인 방법은 같으나 연료비용 단가에서 버스업체가 연료구입을 위해 지불하는 실제의 비용을 적용한다. 간단히 말하면 정유사가 버스운송업체에 공급하는 정유사 가격이 수익성 평가의 연료비용 단가가 되는 것이다. 한 가지 더 고려할 점은 경유의 경우 버스운송업체는 정부로부터 유가보조금을 받는 다는 것인데, 경유현물단가에서 정부의 유가보조금은 차감하여 계산해야 한다.

<표 5-25> 연료별 가격 및 연간 연료비 금액

(단위: ℓ, m³, 원)

	경유	연료가격	연간사용량	연간사용금액
경유	시외버스	974.32	44,305	43,167,248
	고속버스		40,794	39,746,410
	공항버스		45,814	44,637,496
LNG	시외버스	808.73	49,195	39,785,472
	고속버스		45,032	36,418,729
	공항버스		50,621	40,938,721

자료: 2009.7~2010.6 부가가치세를 포함한 연료가격의 평균가(LNG-서울도시가스, 경유-opinet)

주: 경유가격의 경우 유가보조금(370.16원)을 차감한 금액

3) 취득세 감면비용

취득세는 버스를 구입하면서 부과되는 세금으로, CNG버스의 경우 정부가 CNG버스의 보급 촉진을 위해 버스 구입자에게 취득세 감면 혜택을 주었다. 경유버스대비 CNG버스 구입비용이 더 들기 때문에 CNG버스 구매자에게 추가비용을 보전해 주기 위한 취지로 취득세 감면 혜택이 부여된 것이다. 동일하게 LNG버스도 CNG버스와 같은 성분의 연료인 천연가스를 사용하고 LNG버스 가격이 경유버스 가격보다 더 비싸므로 정부가 LNG버스 보급을 촉진하려 한다면 취득세 감면의 혜택을 준다는 전제하에 고려하는 사항이다.

<표 5-26> 취득세 감면비용

(단위: 원)

경유버스가격	취득세율	취득세비용
84,930,000	2%	1,698,600

자료: 1. 경유버스가격(현대자동차)
2. 취득세율(지방세법 제111조)

4) 환경개선부담금 감면비용

환경개선부담금은 환경보전을 위해 특정대상에 부과되는 부과금을 말하는데 저공해 차량의 경우 환경개선부담금이 면제된다. 현재 LNG버스와 같은 성분의 연료를 사용하는 CNG버스도 저공해 차량 기준에 부합하여 환경개선부담금이 면제되고 있다. LNG버스의 경우도 저공해 차량 기준에 부합하여 환경개선부담금 면제혜택을 받을 것으로 예상한다.

환경개선부담금 산정방법은 자동차 배기량을 기준으로 차령별, 지역별로 차등 산정하는데 기본 계산식은 다음과 같다.

환경개선부담금 = 대당기본부과금액(기준부과금액*부과금산정지수) * 오염유발계수(배기량기준) * 차령계수(차량노후정도) * 지역계수(행정구역별)

환경개선부담금을 구하기 위한 위의 식에서 버스별로 적용될 필요한 수치들

을 다음의 표로 정리하였다.

<표 5-27> 환경개선부담금 산출 기초자료

기준부과금액	부과금산정지수	오염유발계수	차령계수	지역계수
20,250원	1.769	5.00	1.04	0.85

자료: 환경부 홈페이지
주: 부과금산정지수(2009년 기준), 오염유발계수(10,000cc초과), 차령계수(5년 기준), 지역계수(인구 10-50만 미만)

환경개선부담금 산출 기초자료를 적용해서 환경개선부담금을 계산하면 264,127원이 나온다. 산출금액은 차령계수 5년 기준으로 1년 동안 부과된 환경개선부담금을 기준으로 했는데 그 이유는 2009년 5월부터 동년 12월까지 신차로 등록하는 자동차중 유로4 기준 적용 경유차는 등록일로부터 4년간 면제가 되고 저공해자동차는 등록일로부터 5년간 면제되기 때문이다. 간단히 말하면 LNG버스 보급으로 받는 환경개선부담금 면제는 차령 5년째 1년 동안만 혜택을 본다는 것이다.

5) 부품비용 및 수리비용

버스를 구입하여 버스내구연한동안 운행을 하기 위해서는 버스의 관리가 필요하다. 때로는 부품을 교체해야 하고 고장이 나면 수리를 해야 할 것이다. 부품비용과 수리비용은 버스마다 차이가 있을 것이다. 한마디로 LNG버스가 경유버스를 대체함으로써 버스의 유지비도 차이가 있을 것이고 이러한 유지비의 차이는 수익성 평가에서 고려되어야 할 비용항목 중의 하나이다.

2009년 3곳의 버스업체에서 제시한 부품비와 수리비 차이금액 평균을 근거로 하여 부품비용와 수리비용을 산출하였다. 부품비와 수리비 차이금액은 경유버스대비 CNG버스의 금액을 말하는데 CNG버스와 LNG버스가 동일한 연료를 사용한다는 측면에서 CNG버스의 부품비와 수리비를 LNG버스의 부품비와 수리비를 동일하게 적용하고자 한다.

부품비와 수리비 차이금액은 약 193[9]만원이고 이 금액은 1년 동안에 경유버스와 비교하여 제시된 유지비용이다. 따라서 이 비용도 버스의 내구연한을 고려하여 현재가치화 하는 작업이 필요하고 내구연한동안 현재가치화한 비

9) "천연가스자동차 보급성과 평가 및 안정적 보급을 위한 합리적 방안 연구", KEI, 2009, 12

용은 약 1,461만원이다.

나. LNG버스 보급사업의 수익성 평가

LNG버스 보급사업의 수익성은 앞에서 구한 경유버스대비 LNG버스의 연료비용, 취득세 및 환경개선부담금 면제 혜택을 고려하여 평가한다. 각 비용항목의 산출금액에서 버스의 내구연한기간 동안 혜택을 받는 연료비 항목은 현재가치화 작업이 필요하다.

<표 5-28> 경유버스대비 LNG버스의 연료비 감소액

(단위: 원)

	연감소액	내구연한동안의 감소액
시외버스	3,381,775	25,560,548
고속버스	3,327,681	25,151,684
공항버스	3,698,775	27,956,536

주: 할인율 4.64%(2009년 5년 만기 국고채 금리평균, 한국은행)

이상의 산출 금액 및 데이터를 가지고 LNG버스 보급사업의 수익성을 평가할 수 있다. 버스금액별로 세 개의 표로 나누어 정리하였다.

<표 5-29> 버스비 차액 88,844,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	환경개선부담금	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	264,127	14,612,195	25,560,548	-84,191,920
고속버스				25,151,684	-84,600,784
공항버스				27,956,536	-81,795,932

주: 1. 수익성 평가를 위한 버스비 차액 적용금액은 버스비 차액에 부가세를 포함하여 적용
2. 수익성에서 음(-)은 손실을 의미함

수익성 평가 결과로 모든 버스에 대해서 손실이 발생하는데 시외, 고속, 공항버스 모두 대략 약 8,000만원 손실로 나왔다. 이것은 버스운송업체가 경유버스대신 LNG버스를 구입하여 버스의 내구연한동안 운행할 경우 버스운송업체가 갖게 되는 손해를 의미하므로 LNG버스 보급사업을 추진하기 위해서 정부는 버스운송업체에게 보조해야할 최소 금액을 의미한다.

평가결과표를 보면 알 수 있듯이 수익성 평가에 대한 연료비가 차지하는 비중이 매우 크다. 따라서 연료가 변동에 따라서 수익성의 결과가 어떻게 달라지는지 알아보자. 다른 항목의 비용에 대해서는 앞에서 실시한 수익성 평가와 동일하게 적용하고 연료가격 변동폭을 5%, 10%로 정하여 경유가격대비 LNG가격이 상승할 때와, 하락할 때의 경우로 나누어 수익성 평가를 하고자 한다.

<표 5-30> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-114,263,063	-99,227,491	-69,156,348	-54,120,776
고속버스	-112,127,234	-98,364,009	-70,837,558	-57,074,333
공항버스	-112,738,738	-97,267,335	-66,324,529	-50,853,126

주: 1. 수익성 평가를 위한 버스비 차액 적용금액은 버스비 차액에 부가세를 포함하여 적용
2. 수익성에서 음(-)은 손실을 의미함
3. 연료가 변동에 대한 비율에서 음(-)은 경유가격대비 LNG가격의 상승, 반대로 양(+)은 경유가격대비 LNG가격의 하락을 의미함

연료가 변동에 따른 수익성 결과를 보면 알 수 있듯이 경유가격대비 LNG가격이 10% 감소한다 하더라도 모든 버스에 대한 수익성 평가 결과는 손실이 발생함을 볼 수 있다.

이번에는 버스비 차액을 약 5,690만원 적용한 수익성 평가 결과를 알아보고자 한다. 이전의 수익성 평가과정과 다른 것이 없고 버스비 차액만 변동이 있을 뿐이다.

<표 5-31> 버스비 차액 56,908,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	환경개선부담금	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	264,127	14,612,195	25,560,548	-49,062,320
고속버스				25,151,684	-49,471,184
공항버스				27,956,536	-46,666,332

버스비 차액을 약 5,690만원 적용한 수익성 평가 결과도 모든 버스에 대해서 손실이 발생한다. 버스비 차액을 약 8,884만원 적용한 결과와는 수익성 평가에 적용한 버스비 차액만큼 수익성 평가 결과에 차이가 있는 것을 볼 수 있다.

버스비 차액이 약 5,690만원인 경우 연료가 변동에 따라서는 어떻게 수익성 결과에 변화가 있는지 알아보고자 한다.

<표 5-32> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-79,133,463	-64,097,891	-34,026,748	-18,991,176
고속버스	-76,997,634	-63,234,409	-35,707,958	-21,944,733
공항버스	-77,609,138	-62,137,735	-31,194,929	-15,723,526

연료가 변동을 적용하지 않은 경우의 수익성 평가 결과는 모두 손실로 나왔듯이 경유가격대비 LNG가격이 10% 하락해도 수익성 평가 결과는 손실금액이 줄었을 뿐 손실의 결과는 동일하다.

<표 5-33> 버스비 차액 45,960,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	환경개선부담금	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	264,127	14,612,195	25,560,548	-37,026,120
고속버스				25,151,684	-37,434,984
공항버스				27,956,536	-34,630,132

버스비 차액을 4,596만원을 적용한 수익성 평가 결과도 모든 버스에 대해서 손실의 결과가 발생하며 손실금액은 시외버스 약 3,702만원, 고속버스 약 3,743만원, 공항버스 약 3,463만원이다.

버스비 차액이 약 4,596만원인 경우 연료가 변동에 따라서는 어떻게 수익성 결과에 변화가 있는지 알아보고자 한다.

<표 5-34> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-67,097,263	-52,061,691	-21,990,548	-6,954,976
고속버스	-64,961,434	-51,198,209	-23,671,758	-9,908,533
공항버스	-65,572,938	-50,101,535	-19,158,729	-3,687,326

버스 가격차를 약 4,596만원을 적용하고 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG가격에 변화를 주어 평가를 하였으나 10% LNG 가격이 하락한 경우에도 수익성 평가의 결과는 모두 손실로 나왔다.

EURO-4 기준에서 세 개의 버스가격차를 가지고 평가를 하였는데 가장 적은 금액을 적용한 약 4,596만원에 LNG버스에 유리한 연료변동가를 10% 적용하여도 수익성 평가에서 손실이 발생하여 EURO-4 기준에서 LNG 버스의 보급을 위해서는 정부의 보조금 지원이 불가피한 것을 시사한다.

4. EURO-5 기준에서의 경제성 평가

가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가

1) LNG버스 보급에 따른 오염물질 배출량 증감 추정

EURO-5 기준에서 LNG버스 보급정책에 대한 환경성 평가를 하기 위하여 EURO-5 기준에서의 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 증감량이 필요하다. 하지만 LNG버스가 아직 상용화 되지 않았고 LNG버스 기술개발을 위해서 LNG버스의 오염물질 배출량에 대한 정확한 실험 값 존재도 미지수인 상황이다. EURO-4 기준에서는 CNG버스의 배출량을 적용하여 환경성 평가를 했는데 EURO-5 기준에서는 그마저도 어렵다. 이에 대한 해결책으로 본 연구에서는 EURO-4와 5의 오염물질 배출허용기준량에 대한 비율을 EURO-4의 오염물질 배출량에 적용하여 EURO-5의 오염물질 배출량을 구하는 방법을 적용할 것이다.

<표 5-35> 오염물질별 배출허용기준

(단위: g/kwh)

	CO	NMHC	NOx	PM
EURO-4	4.0	0.55	3.5	0.03
EURO-5	4.0	0.55	2.0	0.03

자료: 수도권대기환경개선법(제작차배출허용기준)

EURO-4와 5의 오염물질별 배출허용기준량을 살펴보면 다른 오염물질에 대한 기준은 변동이 없고 NOx에 대해서만 수치적으로 3.5에서 2.0으로 강화되었다. 그 비율은 4/7이고 이 비율상수를 EURO-4 NOx 배출량에 적용하여 EURO-5 NOx 배출량을 산출할 것이다.

<표 5-36> NOx 오염물질 배출량

(단위: kg/대·년)

		시외버스	고속버스	공항버스
경유버스	EURO-4 NOx	959.35	1,006	1,119
	EURO-5 NOx	548.20	574.91	639.49
LNG버스	EURO-4 NOx	714.88	632.99	761.31
	EURO-5 NOx	408.5	361.71	435.03

오염물질 배출허용량기중에 있어서 다른 오염물질에 대해서는 변동이 없으므로 EURO-4 기준의 NOx 배출량을 위에서 산출한 NOx 배출량으로 대체하여 EURO-5 기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량을 구할 수 있다.

<표 5-37> EURO-5기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량

(단위: kg/대·년)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	234.46	-253.73	139.7	19.46	21,992
고속버스	218.1	-193.83	213.2	18.89	30,478
공항버스	364.17	-275.47	204.45	13.05	18,215

주: '-'는 배출량 증가를 의미함

2) 환경개선편익 분석

EURO-5 기준의 환경개선편익을 구하기 위한 방법은 EURO-4 기준의 환경개선편익을 구할 때 사용했던 방법과 동일하다. 대기오염의 사회적 한계비용도 EURO-4에서 적용했던 동일한 비용이 적용되고, 변경된 요소는 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량 뿐이므로 다음의 표와 같이 환경개선편익을 정리할 수 있다.

<표 5-38> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익

(단위: 원)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	625,095	-786,083	865,563	4,994,385	546,291
고속버스	581,469	-600,495	1,321,022	4,849,950	757,087
공항버스	967,651	-850,710	1,266,781	3,788,202	451,848

나. LNG버스 보급사업의 비용분석

1) LNG버스 보급사업의 초기투자비용

LNG버스 보급사업의 초기투자비용은 LNG버스의 가격을 의미한다. EURO-4 기준의 경제성 평가를 위한 LNG버스 보급사업의 초기투자비용과 똑같은 개념이고 동일한 설명이다. 여기서도 <표 5-13>에서 사용한 경유버스대비 LNG버스 구입비 차액이 동일하게 적용된다.

2) LNG버스 운행의 연료비용

EURO-5 기준 LNG버스 운행의 연료비용도 EURO-4 기준 LNG버스 운행의 연료비용과 다른 것이 없다. 버스별 연비와 주행거리를 통하여 연료사용량과 연료비용을 구하여 버스의 내구연한기간동안 경유버스대비 LNG버스의 연료비용을 구하는 것이다.
<표 5-14>에서 연료비용을 구하기 위한 기초자료가 있고, <표 5-15>에서는 연간 연료비 금액이 설명되어 있다.

다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가

LNG버스 보급사업의 경제성 평가를 위해 필요한 여러 항목들을 앞에서 살펴봤다. 대부분이 EURO-4 기준의 항목들과 동일하고 다른 것은 환경개선편익 뿐이다. 따라서 EURO-4와 5의 경제성 평가 결과 차이는 환경개선편익 금액의 변화량 차이일 것이다.
먼저 EURO-5 기준의 환경개선편익금액을 버스내구연한기간동안의 환경개

선편익으로 현재가치화 하고 그 후에 산출된 환경개선편익과 EURO-4에서 이미 구했던 자료를 가지고 EURO-5 기준 경유버스대비 LNG버스의 경제성 평가를 수 있다.

<표 5-39> 버스내구연한기간 경유버스대비 LNG버스의 환경편익

(단위: 원)

	시나리오 1	시나리오 2
시외버스	43,073,281	47,202,328
고속버스	46,502,422	52,224,735
공항버스	39,065,646	41,989,574

위에서 구한 버스내구연한기간동안의 환경편익을 적용하여 경유버스대비 LNG버스의 구입비용차액별로 경제성 평가 결과가 다음의 표와 같이 산출되었다.

<표 5-40> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-31,310,461	-27,181,414
	고속버스	-27,714,128	-21,991,815
	공항버스	-33,586,632	-30,662,704

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 88,844,000원은 LNG버스 양산대수 100대 기준으로 연료통 2개

EURO-5기준에서 버스비 차액을 8,884만원으로 적용한 경제성 평가 결과 모든 버스에 대하여 시나리오에 상관 없이 경제성 평가 손실로 나타나 동일한 조건에서는 LNG버스 보급사업을 추진해야할 타당한 근거가 없음을 알 수 있다.

<표 5-41> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	625,539	4,754,586
	고속버스	4,221,872	9,944,185
	공항버스	-1,650,632	1,273,296

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 56,908,000원은 LNG버스 양산대수 1,500대 기준으로 연료통 2개

위의 경제성 평가 결과로 시외버스와 고속버스는 시나리오에 상관없이 경제성 평가 편익의 결과로 나타나 시외버스와 고속버스에 대해서는 LNG 버스 보급사업 추진이 타당하다. 그러나 공항버스의 경우는 시나리오 2에서는 경제성 평가 편익의 결과로 나왔지만 시나리오 2에서는 손실의 결과로 나타났다. 시나리오 1과 2의 차이는 CO2 오염물질에 대한 환경개선편익의 차이로 시나리오 1에서는 제작차배출허용기준의 규제대상 오염물질만 환경개선편익으로 고려하였기 때문에 CO2 제외되어 시나리오 2의 환경개선편익 보다는 적은 금액이다. 따라서 환경개선편익 오염물질 대상을 엄격하게 규정하여 제작차배출허용기준의 규제대상 오염물질만을 고려한다면 EURO-5 기준에서 LNG 공항버스의 보급사업은 경제적 측면에서 유익하지 않지만 환경개선편익의 의미에 맞게 환경개선편익을 고려한다면 EURO-5 기준에서 LNG 공항버스의 보급사업 추진은 타당하다.

<표 5-42> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	11,567,539	15,696,586
	고속버스	15,163,872	20,886,185
	공항버스	9,291,368	12,215,296

주: 1. 시나리오 1(CO, PM, HC, NOx), 시나리오 2(CO, PM, HC, NOx, CO2)
2. 버스비 차액 56,908,000원은 LNG버스 양산대수 1,500대 기준으로 연료통 1개

버스비 차액을 약 4,596만원으로 적용한 경제성 평가 결과는 시외, 고속, 공항버스 모두 시나리오에 상관없이 경제성 평가 결과의 편익으로 나타나 LNG버스 보급사업 추진에 대한 타당한 근거를 제시한다. 이 같은 경우 다음 장에서 실시할 수익성 평가 결과에 따라서 LNG버스 보급사업 추진을 위해 정부가 지원해야할 적정보조금액이 결정된다.

라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가

EURO-4 기준 LNG버스 보급사업에 대하여 실시한 연료가 변동에 따른 경제성 평가와 마찬가지로 EURO-5 기준에서도 버스구입비 차액에 대한 각 경우에 대하여 연료변동폭을 5%, 10%로 구분하여 경유가격대비 LNG가격이 상승할 때와 하락할 때 경제성 평가에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

경제성 평가에서 연료비용을 EURO-4 기준의 평가와 동일하게 적용하였기 때문에 경유가격대비 LNG가격이 5%, 10%로 상승할 때와 5%, 10%로 하락할 때의 절감액은 EURO-4 기준의 연료가 변동에 따른 연료비 절감액과 동일하다.

<표 5-43> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원인 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-55,734,597	-43,522,529	-19,098,393	-6,886,325
	고속버스	-50,071,435	-38,892,781	-16,535,475	-5,356,822
	공항버스	-58,718,742	-46,152,687	-21,020,577	-8,454,521
시나리오 2	시외버스	-51,605,550	-39,393,482	-14,969,346	-2,757,278
	고속버스	-44,349,122	-33,170,468	-10,813,162	365,491
	공항버스	-55,794,814	-43,228,759	-18,096,649	-5,530,593

버스가격차가 약 8,884만원인 경우의 연료가 변동에 따른 경제성 평가는 시나리오 2의 고속버스 평가 결과에 대해서 경유가격대비 LNG가격이 10% 하락할 경우는 편익으로 다른 모든 경우에 대해서는 시나리오와 연료가 변동에 상관없이 경제성 평가 손실로 나타난다.

<표 5-44> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-23,798,597	-11,586,529	12,837,607	25,049,675
	고속버스	-18,135,435	-6,956,781	15,400,525	26,579,178
	공항버스	-26,782,742	-14,216,687	10,915,423	23,481,479
시나리오 2	시외버스	-19,669,550	-7,457,482	16,966,654	29,178,722
	고속버스	-12,413,122	-1,234,468	21,122,838	32,301,491
	공항버스	-23,858,814	-11,292,759	13,839,351	26,405,407

연료가 변동을 고려하지 않고 실행한 경제성 평가 결과에서 공항버스의 경우 시나리오 1에서는 경제성 평가 결과 손실로 시나리오 2에서는 편익으로 나왔으나 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG 가격이 5% 증가할 때는 두 시나리오가 동일하게 손실로, 5% 감소할 때는 편익의 결과로 나왔다. 다른 버스의 경우 연료가 변동이 없을 때는 모두 경제성 평가 결과 편익으로 나왔지만 LNG 가격이 5% 상승한 경우에는 모두 손실의 결과로 나와 연료가 변동에 대하여 민감한 결과를 보였다.

<표 5-45> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-12,856,597	-644,529	23,779,607	40,120,722
	고속버스	-7,193,435	3,985,219	26,342,525	43,243,491
	공항버스	-15,840,742	-3,274,687	21,857,423	37,347,407
시나리오 2	시외버스	-8,727,550	3,484,518	27,908,654	40,120,722
	고속버스	-1,471,122	9,707,532	32,064,838	43,243,491
	공항버스	-12,916,814	-350,759	24,781,351	37,347,407

버스가격차를 약 4,596만원 적용한 시나리오 1의 경제성 평가에서는 시외, 고속, 공항버스에 대하여 경제성 평가 결과의 편익이 발생하였으며 경유가격 대비 LNG가격이 5% 상승할 경우에도 고속버스의 경우는 여전히 편익이 발생하였다. 그러나 공항버스의 경우는 손실로, 시외버스의 경우는 시나리오 1에서는 손실로 나타났지만 시나리오 2에서는 경제성 평가 결과 편익이 발생함을 보였다.

마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정

경제편익 창출의 최소버스비 산정을 하기 위한 각 항목에 대해서 EURO-4 기준과 많이 다르지는 않다. 환경개선편익 비용에 변화가 있어 EURO-4 기준의 환경개선편익을 EURO-5 기준의 환경개선편익 비용으로 대체하면 경제편익이 창출되기 위한 최소버스비 결과가 나온다. 최소버스비 산정의 방법과 과정은 EURO-4 기준의 최소버스비 산정에서 설명한 것과 동일하다. 다시 한번 설명을 한다면 경제편익 창출을 위한 최소버스비차액은 LNG버스 보급사업을 통해서 얻을 수 있는 각 항목에 대한 편익의 합으로 산정되어진다.

<표 5-46> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
최소버스구입비차액	시외버스	57,533,539	61,662,586
	고속버스	61,129,872	66,852,185
	공항버스	55,257,368	58,181,296

EURO-5 기준의 경제편익 창출을 위한 경유버스대비 LNG버스의 최소버스구입비 차액은 경제성 평가를 위해 적용한 다른 비용항목은 동일한 상황에서 경제편익이 발생하기 위한 경유버스대비 LNG버스의 최소버스구입비 차액을 구하는 것이다. 따라서 위에서 각각의 경우에 대하여 구한 최소버스구입비 차액금액보다 큰 경우는 경제성 평가 결과의 손실로 나오고 반대의 경우는 편익으로 나온다.

공항버스의 경우 시나리오 1을 기준으로 할 때 경유버스대비 LNG버스 가격이 약 5,525만원 이상이면 LNG버스 보급사업 추진은 사회적으로 타당하지 않은 것이고 경유버스대비 LNG버스 가격이 5,525만원 이하이면 LNG버스 보급사업은 경제성 평가 결과 편익을 발생하기 때문에 사회적으로 타당한 것이다.

5. EURO-5 기준에서의 수익성 평가

EURO-5 기준에서의 수익성 평가를 하기 전에 수익성 평가를 하기 위해 분석해야 하는 항목을 살펴보고 EURO-4의 항목과 비교를 통해 EURO-5 기준의 수익성을 평가해보고자 한다.

가. LNG버스 보급사업 수익성 평가를 위한 비용분석

수익성 평가를 위해 고려해야하는 비용 항목은 LNG버스 보급사업의 초기 투자비용으로, 경유버스대비 LNG버스 구입비차액을 말하는데 이것은 EURO-4 기준의 항목과 동일하다.

LNG버스 운행의 연료비용도 최근 1년 동안의 평균가격을 적용할 것이기에

EURO-4 기준의 연료비용과 다를 바 없다.

취득세 비용에 있어서도, 취득세는 경유버스의 가격과 연관이 있으므로 EURO-4 기준에서의 감면혜택과 EURO-5 기준에서의 감면혜택은 동일하다.

마지막으로 환경개선부담금의 경우는, 환경부 고시 제209-95호에서 저공해자동차는 등록일로부터 5년간 환경개선부담금이 면제 되고 2009년 5월부터 동년 12월까지 신차로 등록하는 자동차중 EURO-4기준 적용 경유차는 등록일로부터 4년간 면제혜택이 있고 EURO-5기준 경유차는 등록일로부터 5년간 면제혜택이 있다. 따라서 EURO-5 기준에서는 경유차도 5년간 면제혜택이 있고 LNG버스도 저공해차량으로서 5년간 면제혜택이 있으므로 LNG버스 보급에 대해서 환경개선부담금에 대한 혜택은 없는 것이다.

나. LNG버스 보급사업의 수익성 평가

수익성 평가의 비용 분석에서 설명했듯이 EURO-4의 수익성 평가에서 분석되어지는 비용항목중 변경이 된 항목은 환경개선부담금혜택이다. EURO-4에서는 환경개선부담금혜택이 있었지만 EURO-5에서의 수익성 평가 항목에는 환경개선부담금혜택이 없다.

<표 5-47> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	14,612,195	25,560,548	-84,456,047
고속버스			25,151,684	-84,864,911
공항버스			27,956,536	-82,060,059

주: 1. 수익성 평가를 위한 버스비 차액 적용금액은 버스비 차액에 부가세를 포함하여 적용
2. 수익성에서 음(-)은 손실을 의미함

버스구입비 차액을 약 8,884만원 적용한 수익성 평가 결과는 모든 경우에서 손실로 나타났는데 동일한 기준에서의 경제성 평가에서도 손실로 나타났기 때문에 LNG버스 보급사업에 대한 적정지원금액을 산출하기 위한 수익성

평가 결과는 큰 의미가 없다. 하지만 동일한 기준의 수익성 평가 결과가 연료가 변동에 따라서 어떻게 변하는지 알아보기 위해 연료가 변동에 따른 수익성 평가를 실시해보고자 한다.

<표 5-48> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-114,527,190	-99,491,618	-69,420,475	-54,384,903
고속버스	-112,391,361	-98,628,136	-71,101,685	-57,338,460
공항버스	-113,002,865	-97,531,462	-66,588,656	-51,117,253

연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과를 기존의 수익성 평가 결과를 비교해 보면 시외버스의 경유가격대비 LNG가격이 5% 상승하는 경우 기존의 수익성 평가 결과보다 약 1,503만원 손실이 더 발생하며, 반대로 경유가격대비 LNG가격이 5% 하락하는 경우 기존의 수익성 평가 결과보다 약 1,503만원 손실이 덜 발생한다. 이러한 차이는 시외버스의 경우 경유가격대비 LNG가격이 5% 변동에 대한 연료비용의 차이가 수익성 평가 결과에 약 1,503만원의 평가 결과 차이를 발생하게 한다.

고속버스의 경우 경유가격대비 LNG가격이 5% 증가할 때 수익성 평가 결과는 기존 수익성 평가 결과와 비교하여 약 1,376만원의 손실이 더 발생하였고 반대로 경유가격대비 LNG가격이 5% 감소할 때 수익성 평가 결과도 기존 수익성 평가 결과와 비교하여 약 1,376만원만큼의 손실 발생을 줄였다. 역시 5%에서 10%로 연료가격이 변동이 있을 때에도 경유가격대비 LNG가격이 상승 혹은 하락의 경우에 약 1,376만원의 차이가 있다.

공항버스는 경유가격대비 LNG가격이 5% 상승할 때 1,547만원의 손실이 증가하고 반대로 5% 하락할 때는 약 1,547만원의 손실이 감소하였다. 결국 공항버스의 경우 연료가 변동 폭이 5%인 경우에는 약 1,547만원의 금액변동이 있다는 것이다.

이어서 버스비 차액 약 5,690만원을 적용한 수익성 평가 결과를 알아보고자 한다.

<표 5-49> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	14,612,195	25,560,548	-49,326,447
고속버스			25,151,684	-49,735,311
공항버스			27,956,536	-46,930,459

버스비 차액을 약 5,690만원 적용한 경우의 수익성 평가 결과 모든 버스에 대해서 수익성 평가의 손실발생으로 나타났는데, 동일한 기준의 경제성 평가 결과를 살펴보면 시나리오 1은 공항버스를 제외한 시외버스와 고속버스에서 경제성 평가 편익의 결과가, 시나리오 2에서는 시외, 고속, 공항버스 모두 편익의 결과로 나타나 동일한 조건에서 LNG버스 보급사업을 추진한다면 정부의 보조금은 수익성 평가의 손실금액, 시외버스 약 4,932만원, 고속버스 약 4,973만원, 공항버스 약 4,693만원 이상이 되어야 할 것이다.

동일한 기준의 연료가 변동에 대한 수익성 평가 결과를 살펴보자

<표 5-50> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-79,397,590	-64,362,018	-34,290,875	-19,255,303
고속버스	-77,261,761	-63,498,536	-35,972,085	-22,208,860
공항버스	-77,873,265	-62,401,862	-31,459,056	-15,987,653

시외버스의 경우 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과로 경유가격대비 LNG가격이 5% 상승할 때 기존의 수익성 평가와 비교하여 약 1,503만원의 손실이 증가하고 반대의 경우로 5% 하락할 때 약 1,503만원의 손실이 감소하여지만 그래도 여전히 약 3,429만원의 손실이 발생한다. 동일한 기준의 경제성 평가에서는 편익의 결과로 나타났으므로 EURO-5 기준에서 버스가격차가 약 5,690만원이고 현재의 연료가격보다 경유버스대비 LNG가격이

5% 하락하면 LNG 버스 보급사업에 대한 정부의 보조금은 현재의 연료가를 적용하여 평가한 4,392만원의 수익성 평가의 손실금액에서 약 3,429만원으로 줄어든다.

고속버스의 경우 경유가격대비 LNG가격이 5% 상승하는 연료가 변동의 수익성 평가 결과에서 기존의 수익성 평가 결과보다 약 1,376만원의 손실이 더 발생하고 반대로 경유가격대비 LNG가격이 5% 하락할 때 약 1,376만원의 손실이 줄어서 약 3,597만원의 손실이 발생한다. 연료가 변동이 없는 경우에 대한 경제성 평가는 편익이 발생하였으나 경유가격대비 LNG 가격이 5% 상승할 경우에 경제성 평가 손실이 발생하였으므로 수익성 평가에서의 LNG 가격이 5% 상승한 경우의 손실금액은 LNG버스 보급사업의 측면에서는 큰 의미가 없다.

공항버스의 경우 경유가격대비 LNG가격이 5% 증가할 때 연료가 변동이 없을 때의 수익성 평가 결과보다 약 1,547만원 손실이 증가하고, 5% 감소할 때는 약 1,547만원의 손실이 감소하지만 여전히 약 3,145만원의 손실이 발생한다.

다음은 버스비 차액으로 4,596만원을 적용한 수익성 평가 결과에 대한 표이다.

<표 5-51> 버스가격차 45,960,000원을 적용한 수익성 평가 결과

(단위: 원)

	취득세	수리비	연료비	수익성
시외버스	1,698,600	14,612,195	25,560,548	-37,290,247
고속버스			25,151,684	-37,699,111
공항버스			27,956,536	-34,894,259

버스비 차액으로 4,596만원을 적용한 경우의 수익성 평가 결과는 모두 손실로 나타났는데 동일한 기준에서 경제성 평가 결과가 모두 편익으로 나타났기 때문에 EURO-5 기준에서 버스가격차가 약 4,596만원인 경우에 LNG 버스 보급사업을 추진하기 위해서 시외버스의 경우는 약 3,729만원, 고속버스는 약 3,769만원, 공항버스는 약 3,489만원의 보조금이 버스운송업체에게 지원되어야 한다.

연료가 변동에 따라서 수익성 평가 결과가 어떻게 변하는지 다음의 표로

요약하였다.

<표 5-52> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-67,361,390	-52,325,818	-22,254,675	-7,219,103
고속버스	-65,225,561	-51,462,336	-23,935,885	-10,172,660
공항버스	-65,837,065	-50,365,662	-19,422,856	-3,951,453

연료가 변동이 없을 경우에도 EURO-5 기준에서 버스가격차 약 4,596만원을 적용한 수익성 평가는 손실이었고 동일하게 연료변동가에 따른 모든 결과도 손실로 나왔다. 경유가격대비 LNG가격이 10% 하락한 경우에도 수익성 평가에서 손실이 나왔다는 것은 버스가격과 여러 비용으로 인한 손실정도가 크다는 것을 의미하기도 한다.

6. EURO-6 기준에서의 경제성 평가

가. LNG버스 보급정책의 환경성 평가

1) 오염물질 배출량 증감 추정

EURO-6 기준에서 LNG버스 보급정책에 대한 환경성 평가를 위한 오염물질 배출량 증감 추정도 EURO-5 기준에서 오염물질 배출량 증감 추정을 위해 사용했던 방법을 동일하게 사용하겠다. EURO-5와 6의 오염물질 배출허용기준량에 대한 비율을 EURO-5의 오염물질 배출량에 적용하여 EURO-6의 오염물질 배출량을 구하는 과정의 방법이다.

<표 5-53> 오염물질별 배출허용기준

(단위: g/kwh)

		CO	NMHC	NOx	PM	CH4
EURO-5		4.0	0.55	2.0	0.03	1.1
EURO-6	경유	4.0	0.16	0.4	0.01	-
	LNG	4.0	0.16	0.4	0.01	0.5

자료: dieselnet.com(European Union-Emission Standards)

EURO-5와 6의 오염물질별 배출허용기준량을 살펴보면 CO의 경유는 동일하고 NMHC의 경우 LNG와 경유에 대한 기준은 70%정도 강화 되었다. NOx의 경우 80% 강화되었고 PM의 경우 약 66%가 강화되었다. 오염물질별 비율상수를 EURO-5기준의 오염물질 배출량에 적용하여 EURO-6 기준의 오염물질별 배출량을 산출할 것이다.

<표 5-54> EURO-6기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출량

(단위: kg/대·년)

		CO	HC	NOx	PM
경유	시외버스	246.53	22.12	191.87	6.49
	고속버스	230.41	20.73	201.22	6.3
	공항버스	377.65	33.77	223.82	4.35
LNG	시외버스	12.06	95.94	142.98	0
	고속버스	12.03	77.12	126.6	0
	공항버스	13.48	113.9	152.26	0

경유버스와 LNG버스 종류에 따른 오염물질별 배출량을 통하여 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 감소량을 다음과 같이 구할 수 있다.

<표 5-55> EURO-6기준 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량

(단위: kg/대·년)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	234.46	-73.82	48.89	6.49	21,992
고속버스	218.1	-56.39	74.62	6.3	30,478
공항버스	364.17	-80.13	71.55	4.35	18,215

주: '-'는 배출량 증가를 의미함

경유버스대비 LNG버스 종류별 오염물질 배출감소량을 구한 결과를 가지고 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용을 적용하여 경유버스대비 LNG버스의 환경개선편익을 구할 수 있다. 다음 장에서 이러한 과정이 진행된다.

2) 환경개선편익 분석

EURO-6 기준의 환경개선편익을 구하기 위한 방법은 EURO-5 기준의 환경개선편익을 구할 때 사용했던 방법과 동일하다. 대기오염의 사회적 한계비용도 EURO-5에서 적용했던 동일한 비용이 적용되고, 변경된 요소는 경유버스대비 LNG버스의 오염물질 배출감소량 뿐이므로 다음의 표와 같이 연간환경개선편익을 정리할 수 있다.

<표 5-56> 경유버스대비 LNG버스의 1대당 오염물질별 환경개선편익

(단위: 원)

	CO	HC	NOx	PM	CO2
시외버스	625,095	-228,694	302,947	1,664,738	546,291
고속버스	581,469	-174,696	462,345	1,615,976	757,087
공항버스	967,651	-248,242	443,311	1,116,384	451,848

경유버스대비 LNG버스의 오염물질 저감량에 대기오염의 사회적 한계비용을 적용하여 환경개선편익을 구했는데 오염물질의 저감량은 연간 저감량이

므로 결국 앞에서 구한 환경개선편익은 연간기준이고 나중에 경제성 평가에 적용할 환경개선편익은 버스 내구연한을 고려하여 환경개선편익을 현재가치화하여 경제성 평가에 적용된다.

나. LNG버스 보급사업의 비용분석

1) LNG버스 보급사업의 초기투자비용

LNG버스 보급사업의 초기투자비용은 LNG버스의 가격을 의미한다. EURO-5 기준의 경제성 평가를 위한 LNG버스 보급사업의 초기투자비용과 똑같은 개념이고 동일한 설명이다. 여기서도 <표 5-12>에서 사용한 경유버스대비 LNG버스 구입비 차액이 동일하게 적용되겠지만 EURO-6 기준의 적용은 향후 몇 년 후의 일이므로 EURO-5 기준의 구입비 차액을 적용한 경우와 EURO-6 기준의 버스비 차액 변화를 고려한 구입비 차액을 예측해보고자 한다.

EURO-6 기준의 버스비 차액을 예측하기 위해서 동일한 천연가스 연료를 사용하는 CNG버스의 보급초기와 현재의 가격을 비교해본다면 보급초기에는 경유버스대비 CNG버스 가격차이가 약 3,323만원 이었다가 현재는 그 격차가 많이 줄어 약 1,852만원의 차이가 난다. CNG버스 보급초기 경유버스의 경우는 수용가 안정적이어서 생산공정 시설이 잘 갖추어 있고 그에 비하여 CNG버스의 경우는 보급초기라 수용가 안정적이지 못하고 생산공정 시설이 잘 갖추어 있지 못해 경유버스 가격에 비하여 CNG버스의 가격이 비싼 이유 중의 하나였다. 근래에는 CNG버스의 수요가 꾸준하게 증가하여 CNG버스의 생산공정 시설이 잘 갖추게 되었고 이로 인해 경유버스와의 가격차이도 많이 줄었다. 마찬가지로 LNG버스 보급초기에는 수요에 따른 생산공정 시설의 이유만으로도 LNG가격이 경유가격에 비하여 많이 비쌀 수밖에 없다. 하지만 향후 EURO-6 기준이 적용되는 시점에서 LNG버스의 수요가 증가하면 생산공정 시설은 잘 갖추게 되어 경유버스대비 LNG버스 가격차이는 줄어들 것으로 예측할 수 있다. 그러나 EURO-5 기준에서 강화된 EURO-6의 오염물질배출허용기준은 메탄(CH4)의 규제도 포함하기 때문에 경유버스의 기준보다 천연가스버스의 기준이 더 강화되기 때문에 경유버스의 규제수준을 맞추기 위한 기술개발보다 LNG버스의 규제수준을 맞추기 위한 기술개발이 더 필요하다. 이러한 맥락에서는 향후 EURO-6 기준에서는 LNG버스와 경유버스의 가격차이가 지금보다 증가할 수도 있다. 따라서

LNG버스 보급사업 초기투자비용으로 EURO-5 기준에서의 비용과 동일하게 적용하기도 하겠지만 기존의 가격차이보다 10% 가격차이가 감소된 경우와 증가한 경우를 함께 고려하고자 한다.

기존의 버스가격차이와 10% 가격차이를 감소와 증가한 경우의 경유버스대비 LNG버스의 구입비용차액은 다음과 같다.

<표 5-57> EURO-6 기준 경유버스대비 LNG버스 구입비

(단위: 원)

	기존	10% 감소	10% 증가
구입비 차액	88,844,000	79,959,600	97,728,400
	56,908,000	51,217,200	62,598,800
	45,966,000	41,369,400	50,562,600

2) LNG버스 운행의 연료비용

EURO-6 기준 LNG버스 운행의 연료비용도 EURO-5 기준 LNG버스 운행의 연료비용과 다른 것이 없다. 버스별 연비와 주행거리를 통하여 연료사용량과 연료비용을 구하여 버스의 내구연한기간동안 경유버스대비 LNG버스의 연료비용을 구하는 것이다.

<표 5-13>에서 연료비용을 구하기 위한 기초자료가 있고, <표 5-14>에서는 연간 연료비 금액이 설명되어 있다.

다. LNG버스 보급사업의 경제성 평가

LNG버스 보급사업의 경제성 평가를 위해 필요한 여러 항목들을 앞에서 살펴봤다. 대부분이 EURO-5 기준의 항목들과 동일하고 다른 것은 환경개선편익 뿐이다. 따라서 ERUO-5와 6의 경제성 평가 결과 차이는 환경개선편익 금액의 변화량 차이일 것이다.

먼저 EURO-6 기준의 환경개선편익금액을 버스내구연한기간동안의 환경개선편익으로 현재가치화 하고 그 후에 산출된 환경개선편익과 EURO-4에서 이미 구했던 자료를 가지고 EURO-6 기준 경유버스대비 LNG버스의 경제성 평가를 할 수 있다.

<표 5-58> 버스내구연한동안 경유버스대비 LNG버스의 환경편익

(단위: 원)

	시나리오 1	시나리오 2
시외버스	17,868,449	21,997,419
고속버스	18,783,044	24,505,250
공항버스	17,250,496	20,670,339

위에서 구한 버스내구연한기간동안의 환경편익을 적용하고 경유버스대비 LNG버스 구입비차액은 양산대수 100대를 기준으로 연료통 2개를 섵치한 LNG버스의 가격을 기준으로 약 8,884만원을 적용하여 경제성 평가 결과가 다음과 같이 산출되었다.

<표 5-59> 버스가격차 88,844,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-56,515,293	-52,386,323
	고속버스	-55,433,506	-49,711,300
	공항버스	-55,401,782	-51,981,938

EURO-6 기준의 버스비 차액을 약 8,884만원을 적용한 경제성 평가의 결과는 버스의 종류와 환경개선편익 시나리오에 상관없이 모두 손실로 나타나 동일 조건에서는 LNG버스 보급사업 추진의 타당성이 없다. 이 경우는 기존의 버스가격차이를 똑같이 적용한 경우로 향후 경유버스대비 LNG버스 가격차이가 감소할 것을 가정하여 버스비 가격차이를 10% 감소한 경우와 증가한 경우의 경제성 평가를 살펴보자.

<표 5-60> 버스가격차이를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-47,630,893	-43,501,923
	고속버스	-46,549,106	-40,826,900
	공항버스	-46,517,382	-43,097,538

<표 5-61> 버스가격차이를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-65,399,693	-61,270,723
	고속버스	-64,317,906	-58,595,700
	공항버스	-64,286,182	-60,866,338

기존의 버스가격차이 약 8,884만원에서 10% 감소한 경우와 증가한 경우 각각의 경제성 평가 결과에서도 기존의 버스가격차이를 적용하여 평가한 경우와 마찬가지로 모든 종류의 버스에 대하여 시나리오에 상관없이 경제성 평가 결과의 손실이 발생한다.

이번에는 경유버스대비 LNG버스 가격구입차로 양산대수를 1,500대 기준에 연료통 2개를 장착한 LNG버스의 가격을 기준으로 약 5,690만원을 적용하여 경제성 평가를 해보고자 한다.

<표 5-62> 버스가격차 56,908,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-24,579,293	-20,450,323
	고속버스	-23,497,506	-17,775,300
	공항버스	-23,465,782	-20,045,938

EURO-6 기준의 버스비 차액을 약 5,690만원을 적용한 경제성 평가 결과도 버스의 종류와 시나리오에 상관없이 모두 경제성 평가 손실의 결과로 나와 동일한 기준에서 LNG버스 보급사업 추진은 타당하지 않다.

향후 EURO-6 기준에서 경유버스대비 LNG버스 가격차이가 변할 것을 예상하여 10% 감소한 경우와 증가한 경우의 금액을 적용하여 경제성 평가를 해보고자 한다.

<표 5-63> 버스가격차이를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-18,888,493	-14,759,523
	고속버스	-17,806,706	-12,084,500
	공항버스	-17,774,982	-14,355,138

<표 5-64> 버스가격차이를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-30,270,093	-26,141,123
	고속버스	-29,188,306	-23,466,100
	공항버스	-29,156,582	-25,736,738

EURO-6 기준에서 버스가격차이를 약 5,690만원에서 10% 감소한 경우한 증가한 경우의 버스가격차이를 적용한 경제성 평가에서도 버스종류와 시나리오에 상관없이 경제성 평가 손실의 결과로 나와 동일한 기준에서 LNG버스 보급사업 추진은 타당하지 않다.

버스가격을 양산대수 1,500대 기준 연료통 1개를 장착한 LNG버스의 가격을 기준으로 경유버스대비 LNG버스 가격차이가 4,596만원을 적용하여 경제성 평가 결과를 살펴보고자 한다.

<표 5-65> 버스가격차 45,966,000원을 적용한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-13,637,293	-9,508,323
	고속버스	-12,555,506	-6,833,300
	공항버스	-12,523,782	-9,103,938

LNG버스의 많은 양산대수를 고려하고 연료통을 1개로 줄여서 적용한 버스의 가격차이에도 버스의 종류와 시나리오에 상관없이 모든 경우에서 경제성 평가 손실의 결과로 나와 동일한 기준에서의 LNG버스 보급사업 추진은 타당성이 없다.

버스가격차이를 약 4,596만원에서 10%와 20% 낮춘 버스가격차이를 적용하여 경제성 평가를 실시한다.

<표 5-66> 버스가격차이를 10% 감소한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-9,040,693	-4,911,723
	고속버스	-7,958,906	-2,236,700
	공항버스	-7,927,182	-4,507,338

<표 5-67> 버스가격차이를 10% 증가한 경우의 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	-18,233,893	-14,104,923
	고속버스	-17,152,106	-11,429,900
	공항버스	-17,120,382	-13,700,538

위의 표의 경제성 결과와 같이 많은 양산대수를 고려하고 연료통을 1개의 경우로 설정하여 버스가격차이를 10% 감소한 경우와 증가한 경우의 경제성 평가 결과를 실행하여도 버스종류와 시나리오에 상관없이 경제성 평가 결과는 손실로 나와 이와 같은 기준에서도 LNG버스 보급사업 추진은 타당하지 않다.

라. 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과

향후 EURO-6 기준이 적용될 시기는 EURO-5 기준의 시기와 연료가격에서 차이가 날 수 있다. LNG연료가격을 기준으로 경유연료가격과 비교하여 상승할 수도 있고 감소할 수도 있으므로 변동폭을 5%와 10%로 나누어 상승할 때와 감소할 때의 각 경우에 대하여 경제성 평가를 해보고자 한다.

버스가격차이는 양산대수와 연료통 수에 따라서 나오는 가격과 그 가격에 대하여 각각 10% 절감한 가격과 증가한 가격을 적용하여 연료가 변동에 따른 경제성 평가를 하는 것이다.

먼저 양산대수 100대를 기준으로 연료통 2개를 장착한 경우의 버스가격차이 약 8,884만원에 대하여 연료가 변동에 따른 경제성 평가를 하고자 한다.

<표 5-68> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-80,939,429	-68,727,361	-44,303,225	-32,091,157
	고속버스	-77,790,813	-66,612,160	-44,254,853	-33,076,200
	공항버스	-80,533,892	-67,967,837	-42,835,727	-30,269,671
시나리오 2	시외버스	-76,810,459	-64,598,391	-40,174,255	-27,962,187
	고속버스	-72,068,607	-60,889,954	-38,532,647	-27,353,994
	공항버스	-77,114,049	-64,547,994	-39,415,883	-26,849,828

<표 5-69> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-72,055,029	-59,842,961	-35,418,825	-23,206,757
	고속버스	-68,906,413	-57,727,760	-35,370,453	-24,191,800
	공항버스	-71,649,492	-59,083,437	-33,951,327	-21,385,271
시나리오 2	시외버스	-67,926,059	-55,713,991	-31,289,855	-19,077,787
	고속버스	-63,184,207	-52,005,554	-29,648,247	-18,469,594
	공항버스	-68,229,649	-55,663,594	-30,531,483	-17,965,428

<표 5-70> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-89,823,829	-77,611,761	-53,187,625	-40,975,557
	고속버스	-86,675,213	-75,496,560	-53,139,253	-41,960,600
	공항버스	-89,418,292	-76,852,237	-51,720,127	-39,154,071
시나리오 2	시외버스	-85,694,859	-73,482,791	-49,058,655	-36,846,587
	고속버스	-80,953,007	-69,774,354	-47,417,047	-36,238,394
	공항버스	-85,998,449	-73,432,394	-43,300,283	-35,734,228

위의 첫 번째 표는 버스가격차 약 8,884만원을 적용하고 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG가격을 5%, 10% 상승할 때와 하락할 때의 경제성 평가 결과이다. 두 번째 표는 버스가격차이 약 8,884만원에서 10%를 감소하여 적용한 연료가 변동에 따른 결과표이다. 세 번째는 버스가격차이 약 8,884만원에서 10%를 증가하여 적용한 연료가 변동에 따른 결과표이다.

각각의 경우에 대하여 버스가격차이별로 연료가 변동을 고려하여 경제성 평가를 한 결과는 경유연료가격대비 LNG연료 가격이 10% 하락할 경우에도 버스의 종류와 시나리오에 상관없이 경제성 평가 손실이 발생하여 LNG버스 보급사업 추진에 대한 타당성이 없다.

LNG버스 양산대수 1,500대를 기준으로 연료통이 2개 설치된 버스가격차이 약 5,690만원에 대하여 연료가 변동에 따른 경제성 평가를 실행할 것이다.

<표 5-71> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-49,003,429	-36,791,361	-12,367,225	-155,157
	고속버스	-45,854,813	-34,676,160	-12,318,853	-1,140,200
	공항버스	-48,597,892	-36,031,837	-10,899,727	1,666,329
시나리오 2	시외버스	-44,874,459	-32,662,391	-8,238,255	3,973,813
	고속버스	-40,132,607	-28,953,954	-6,596,647	4,582,006
	공항버스	-45,187,049	-32,611,994	-7,479,883	5,086,172

<표 5-72> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-43,312,629	-31,100,561	-6,676,425	5,535,643
	고속버스	-40,164,013	-28,985,360	-6,628,053	4,550,600
	공항버스	-42,907,092	-30,341,037	-5,208,927	7,357,129
시나리오 2	시외버스	-39,183,659	-26,971,591	-2,547,455	9,664,613
	고속버스	-34,441,807	-23,263,154	-905,847	10,272,806
	공항버스	-39,487,249	-26,921,194	-1,789,083	10,776,972

<표 5-73> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-54,694,229	-42,482,161	-18,058,025	-5,845,957
	고속버스	-51,545,613	-40,366,960	-18,009,653	-6,831,000
	공항버스	-54,288,692	-41,722,637	-16,590,527	-4,024,471
시나리오 2	시외버스	-50,565,259	-38,353,191	-13,929,055	-1,716,987
	고속버스	-45,823,407	-34,644,754	-12,287,447	-1,108,794
	공항버스	-50,868,849	-38,302,794	-13,170,683	-604,628

세 개의 연속된 표에서 맨 위의 표는 버스가격차이 약 5,690만원을 적용하고 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG가격을 5%와 10% 각각 상승할 때와 하락할 때의 경제성 평가 결과이다. 그 다음 표는 버스가격차이 약 5,690만원에서 10%를 감소하여 적용한 연료가 변동에 따른 결과이다. 마지막 표는 동일한 버스가격에 10%를 증가하여 적용한 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과이다.

버스가격차이별, 연료가격별로 적용한 각각의 경우에서 경제성 평가 편익이 발생하는 경우는 버스가격차를 약 5,690만원을 적용한 시나리오 1에서 연료가격이 경유가격대비 LNG 가격이 10% 하락할 때 공항버스에서 약 166만원의 경제성 평가결과 편익이 발생한다. 동일한 버스가격 시나리오 2에서도 연료가격 항목이 10%인 경우 시외, 고속, 공항 버스에서 경제성 평가결과 편익이 발생한다.

버스가격차이를 10% 감소한 경우는 시나리오 1과 2 모두 연료가 변동이 10%인 경우에 시외, 고속, 공항버스에 경제성 평가 결과 편익이 발생하고 다른 모든 경우는 손실이 발생한다.

버스가격차이를 10% 증가한 경우는 시나리오와 연료가 변동에 상관없이 모든 버스에 경제성 평가결과 손실이 발생하여 동일한 조건에서는 LNG버스 보급사업에 대하여 타당성이 없다.

LNG버스 양산대수 1,500대를 기준으로 연료통이 1개인 경우의 버스가격 차이 약 4,596만원에 대하여 연료가 변동에 대한 경제성 평가를 하고자 한다.

<표 5-74> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-38,061,429	-25,849,361	-1,425,225	10,786,843
	고속버스	-34,912,813	-23,734,160	-1,376,853	9,801,800
	공항버스	37,655,892	-25,089,837	42,273	12,608,329
시나리오 2	시외버스	-33,932,459	-21,720,391	2,703,745	14,915,813
	고속버스	-29,190,607	-18,011,954	4,345,353	15,524,006
	공항버스	-34,236,049	-21,669,994	3,462,117	16,028,172

<표 5-75> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-33,464,829	-21,252,761	3,171,375	15,383,443
	고속버스	-30,316,213	-19,137,560	3,219,747	14,398,400
	공항버스	-33,059,292	-20,493,237	4,638,873	17,204,929
시나리오 2	시외버스	-29,335,859	-17,123,791	7,300,345	19,512,413
	고속버스	-24,594,007	-13,415,354	8,941,953	20,120,606
	공항버스	-29,639,449	-17,073,394	8,058,717	20,624,772

<표 5-76> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	-42,658,029	-30,445,961	-6,021,825	6,190,243
	고속버스	-39,509,413	-28,330,760	-5,973,453	5,205,200
	공항버스	-42,252,492	-29,686,437	-4,554,327	8,011,729
시나리오 2	시외버스	-38,529,059	-26,316,991	-1,892,855	10,319,213
	고속버스	-33,787,207	-22,608,554	-251,247	10,927,406
	공항버스	-38,832,649	-26,266,594	-1,1374,483	11,431,572

위의 첫 번째 표는 버스가격차 약 4,599만원을 적용하고 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG가격을 5%, 10% 상승할 때와 하락할 때 경우의 경제성 평가 결과표이다. 두 번째 표는 버스가격차 약 4,599만원에서 10%를 감소하여 적용한 연료가 변동에 따른 결과표이고 마지막은 10%를 증가하여 적용한 연료가 변동에 따른 결과이다.

버스가격차 변동 없이 약 4,596만원을 적용한 경우 시나리오 1에서 경유가격대비 LNG가격이 5% 하락한 경우에는 공항버스에 한하여 경제성 평가결과 편익이 발생하고 연료변동가 10%에서는 시외, 고속, 공항버스 모든 경우에 대하여 편익이 발생한다.

버스가격차가 10% 감소한 경우는 시나리오 1, 2 모두 연료변동가 5%, 10%에서 시외, 고속, 공항버스 경제성 평가결과 편익으로 나타났다.

버스가격차가 10% 증가한 경우 시나리오 1, 2 모두 연료변동가 10%인 경우에 시외, 고속, 공항버스에서 경제성 평가결과 편익으로 나타났고 다른 모든 경우는 경제성 평가결과 손실이 발생한다.

마. 경제편익 창출을 위한 최소버스비 산정

경제편익 창출의 최소버스비 산정을 하기 위한 각 항목에 대해서 EURO-5

기준과 많이 다르지는 않다. 환경개선편익 비용에 변화가 있어 EURO-5 기준의 환경개선편익을 EURO-6 기준의 환경개선편익 비용으로 대체하면 경제편익이 창출되기 위한 최소버스비 결과가 나온다. 경제편익 창출을 위한 최소버스비차액은 LNG버스 보급사업을 통해서 얻을 수 있는 각 항목에 대한 편익의 합으로 산정되어진다.

<표 5-77> 경제편익 창출을 위한 최소버스구입비차액

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
최소버스구입비차액	시외버스	32,328,707	36,457,677
	고속버스	33,410,494	39,132,700
	공항버스	33,442,218	36,862,062

EURO-6 기준의 경제편익 창출을 위한 경유버스대비 LNG버스의 최소버스구입비차액은 다른 EURO 기준보다 낮아졌는데 그 이유는 EURO-6 기준의 오염물질배출허용기준이 엄격해지면서 버스별 오염물질배출량이 줄어 환경개선편익이 낮아진데 그 이유가 있다.

시나리오 1에서 경제성 평가 편익의 결과를 발생하기 위해서는 각 버스별 경유버스대비 LNG버스의 가격이 시외버스 약 3,232만원, 고속버스 약 3,341만원, 공항버스 약 3,344만원 이하가 되어야 경제성 평가 편익이 발생하고 LNG버스 보급사업 추진의 타당성이 존재한다. 시나리오 2에서는 각 버스별 경유버스대비 LNG버스의 가격차이가 시외버스 약 3,645만원, 고속버스 3,913만원, 공항버스 3,686만원 이하가 되어야 경제성 평가 편익이 발생해 LNG버스 보급사업 추진이 타당하게 된다.

7. EURO-6 기준에서의 수익성 평가

EURO-6 기준에서의 수익성 평가는 EURO-5 기준에서의 수익성 평가 결과와 동일하다. 그 이유는 수익성 평가를 위한 분석에서 경유버스대비 LNG버스 구입비차액, 연료사용금액, 취득세 및 환경개선부담금 면제와 같은 모든 항목의 적용데이터가 EURO-5와 EURO-6이 동일하기 때문이다.

여기서는 향후 EURO-6 기준에서 경유버스대비 LNG버스 가격차이와 연료가 변동에 대한 가능성을 전제로 버스가격별과 연료가 변동에 따른 수익성 평가를 해보고자 한다.

수익성 평가에 적용할 버스가격차이로 LNG버스 양산대수 100대 기준으로 연료통 2개인 LNG버스와 경유버스와의 가격차이인 약 88,844,000원을 적용하고 동일한 가격차이에 10% 하락한 경우와 증가한 경유의 연료가 변동에 따른 수익성 평가를 해보고자 한다.

<표 5-78> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 88,844,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-114,527,190	-99,491,618	-84,456,047	-69,420,475	-54,384,903
고속버스	-112,391,361	-98,628,136	-84,864,911	-71,101,685	-57,338,460
공항버스	-113,002,865	-97,531,462	-82,060,059	-66,588,656	-51,117,253

<표 5-79> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-104,754,350	-89,718,778	-74,683,207	-59,647,635	-44,612,063
고속버스	-102,618,521	-88,855,296	-75,092,071	-61,328,845	-47,565,620
공항버스	-103,230,025	-87,758,622	-72,287,219	-56,815,816	-41,344,413

<표 5-80> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-124,300,030	-109,264,458	-94,228,887	-79,193,315	-64,157,743
고속버스	-122,164,201	-108,400,976	-94,637,751	-80,874,525	-67,111,300
공항버스	-122,775,705	-107,304,302	-91,832,899	-76,361,496	-60,890,093

EURO-6 기준의 경유와 LNG버스 가격차이 약 8,884만원에 대한 수익성 평가 결과로 세 개의 표가 연속되어 있다. 첫 번째 표는 버스가격차이 8,884만원을 적용하고 동시에 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과를, 두 번째 표는 버스가격차이가 10% 하락하고 연료가 변동이 있는 경우, 마지막은 버스가격차이가 10% 증가하고 연료가 변동을 예상한 수익성 평가의 결과이다.

EURO-6 기준에서 경유버스대비 LNG버스 가격차이를 약 8,884만원을 적용한 경제성 평가의 결과와 버스가격차이, 연료가격 변동을 같이 적용한 경우에도 경제성 평가 편익이 발생한 경우는 없다. 따라서 동일한 기준에서는 LNG버스 보급사업이 타당하지 않으므로 특별히 수익성 평가의 결과도 크게 의미가 있지는 않다.

LNG버스 양산대수 1,500대를 기준으로 연료통이 2개 설치된 버스가격차이 약 5,690만원과 10% 감소한 경우와 증가한 경우의 버스가격차이에 대하여 연료가 변동을 고려한 수익성 평가를 살펴보고자 한다.

<표 5-81> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-79,397,590	-64,362,018	-49,326,447	-34,290,875	-19,255,303
고속버스	-77,261,761	-63,498,536	-49,735,311	-35,972,085	-22,208,860
공항버스	-77,873,265	-62,401,862	-46,930,459	-31,459,056	-15,987,653

<표 5-82> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-73,137,710	-58,102,138	-43,066,567	-28,030,995	-12,995,423
고속버스	-71,001,881	-57,238,656	-43,475,431	-29,712,205	-15,948,980
공항버스	-71,613,385	-56,141,982	-40,670,579	-25,199,176	-9,727,773

<표 5-83> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-85,657,470	-70,621,898	-55,586,327	-40,550,755	-25,515,183
고속버스	-83,521,641	-69,758,416	-55,995,191	-42,231,965	-28,468,740
공항버스	-84,133,145	-68,661,742	-53,190,339	-37,718,936	-22,247,533

위의 첫 번째 표는 버스가격차 약 5,690만원을 적용하고 연료가 변동에 따라서 경유가격대비 LNG가격을 5%, 10% 상승할 때와 하락할 때의 수익성 평가 결과이다. 두 번째는 버스가격차 약 5,690만원에서 10% 감소한 금액에 연료가 변동에 따른 수익성 평가이고 세 번째 표는 버스가격차에서 10% 증가한 금액의 수익성 평가 결과이다.

위에서 실시한 수익성 평가 결과에 대하여 이전에 동일한 기준을 가지고 평가하였던 경제성 평가 결과와 연관하여 수익성 평가 결과에 대하여 설명하려 한다. EURO-6 기준 버스가격차가 약 5, 690만원인 경우의 경제성 평가 편익이 발생한 항목은 시나리오 2에서 연료가 변동이 10%인 경우의 시외, 고속, 공항버스이다. 동일한 기준에서 수익성 평가 결과를 살펴보면 시외버스는 약 1,925만원, 고속버스는 약 2,220만원, 공항버스는 약 1,598만원의 손실이 발생하여 이러한 기준에서의 LNG버스 보급사업은 경제성 평가 편익이 발생하므로 사회적으로 유익한 사업인데 수익성 평가에서 손실이 발

생하므로 사업의 추진을 위해서는 버스운송업자에게 수익성 평가결과 손실 금액만큼의 보조금이 지급되어야 한다.

버스가격차가 10% 감소한 경우에서 수익성 평가 결과에 대하여 논하기 위해 동일한 기준의 경제성 평가 결과를 살펴보면 경제성 평가결과는 시나리오 1과 2에서 연료가 변동이 10%일 때 시외, 고속, 공항버스에 대하여 경제성 평가결과 편익이 발생한다. 따라서 동일한 기준의 수익성 평가 결과를 살펴보면 시외버스는 약 1,299만원, 고속버스는 약 1,594만원, 공항버스는 약 972만원의 손실이 발생하므로 이러한 기준에서의 LNG버스 보급사업은 타당성이 있고 사업추진을 위해서는 각 버스에 대한 수익성 손실 금액만큼의 정부 보조금 지원이 필요하다.

버스가격차가 10% 증가한 경우는 연료변동가를 고려하여도 모든 기준의 경우에서 경제성 평가 결과 손실이 발생하므로 LNG버스 보급사업 추진이 타당하지 않다. 따라서 버스운송업자에게 보조할 정부의 적정보조금 지원금액을 가늠할 수 있는 수익성 평가결과는 이러한 기준의 경우는 큰 의미가 없다.

LNG버스 양산대수 1,500대를 기준으로 연료통이 1개 설치된 버스가격차이 약 4,596만원과 10% 감소한 경우와 증가한 경우의 버스가격차이에 대하여 연료가 변동을 고려하여 수익성 평가를 해보고자 한다.

<표 5-84> 연료가 변동에 다른 수익성 평가 결과
(버스가격차 45,966,000원 적용)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-67,361,390	-52,325,818	-37,290,247	-22,254,675	-7,219,103
고속버스	-65,225,561	-51,462,336	-37,699,111	-23,935,885	-10,172,660
공항버스	-65,837,065	-50,365,662	-34,894,259	-19,422,856	-3,951,453

<표 5-85> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 감소한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-62,305,130	-47,269,558	-32,233,987	-17,198,415	-2,162,843
고속버스	-60,169,301	-46,406,076	-32,642,851	-18,879,625	-5,116,400
공항버스	-60,780,805	-45,309,402	-29,837,999	-14,366,596	1,104,807

<표 5-86> 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과
(버스가격차 10% 증가한 경우)

(단위: 원)

	-10%	-5%	0%	5%	10%
시외버스	-72,417,650	-57,382,078	-42,346,507	-27,310935	-12,275,363
고속버스	-70,281,821	-56,518,596	-42,755,371	-28,992,145	-15,228,920
공항버스	-70,893,325	-55,421,922	-39,950,519	-24,479,116	-9,007,713

버스가격차이 약 4,596만원을 기준으로하는 세 개의 수익성 결과표가 있다. 제일 위의 것은 경유버스대비 LNG버스 가격차이를 4,596만원에 연료가 변동을 고려한 수익성 평가결과, 다음은 버스가격차이가 10% 감소한 상황에서 연료가 변동에 따른 수익성 평가 결과, 마지막은 버스가격차 10% 증가한 상황에서 연료가 변동을 고려하여 수익성 평가를 실시한 결과이다.

위 세 개의 표에 적용한 기준으로 경제성 평가 결과가 편익의 결과로 나온 항목은 버스가격차 약 4,596만원을 적용하고 연료가격 변동이 경유가격 대비 LNG가격이 10% 하락한 경우의 시외, 고속, 공항버스이다. 이러한 기준에서 경제성 평가결과 편익이 발생하였으므로 동일한 기준에서 LNG버스 보급사업 추진은 타당성이 있으며 이 사업을 추진할 때 버스운송사업자에게 보조금을 지원해야 하는지에 대한 여부와 적정보조금 규모는 알아보기 위해 동일한 기준에서 수익성 평가결과를 살펴봐야 한다. 시외버스는 약 721만원, 고속버스는 약 1,017만원, 공항버스는 395만원의 손실이 발생하는 것으로

나왔기 때문에 버스가격차가 약 4,596만원을 적용하고 연료가격이 현재보다 경유가격대비 LNG 가격이 10% 하락할 때의 LNG 버스 보급사업 추진시 정부의 보조금은 시외버스 약 721만원, 고속버스 약 1,017만원, 공항버스 약 395만원이 지원되야 한다.

버스가격차가 10% 감소한 경우도 경제성 평가 결과시 연료변동가 10%인 경우에 한하여 경제성 평가결과 편익이 발생하였으므로 동일한 기준에서 수익성 평가결과를 살펴보면 시외버스 약 216만원, 고속버스 약 511만원의 손실이 발생하고 공항버스는 약 110만원의 편익이 발생하였다. 따라서 이러한 기준에서의 LNG 버스 보급사업은 추진 타당성을 갖는데 시외버스와 고속버스의 경우는 수익성 평가에서 손실이 발생하므로 손실금액만큼의 정부보조금 지원이 필요하다. 그러나 공항버스의 경우는 수익성 평가에서도 손익의 결과가 나왔으므로 정부보조금 지원이 없어도 자연적으로 LNG버스 보급사업이 진행될 가능성이 있다.

버스가격차 10% 증가한 경우는 수익성 평가에서 모든 경우 손실이 발생하는 예측이 나왔고 동일한 기준에서 이미 실행한 경제성 평가결과도 모두 손실이 발생하는 것으로 나타났기 때문에 LNG버스 보급사업 추진은 타당하지 않고 정부의 보조금 지원여부도 고려할 필요가 없다.

8. LNG 개조차량에 대한 평가

가. LNG 개조차량에 대한 경제성 평가

개조차량이란 처음 만들어진 차량의 사용방법을 고쳐서 다른 방법으로 전환하는 것을 의미하는데 여기서는 경유차량을 LNG로 개조된 차량을 말한다. CNG 차량과는 다르게 LNG 차량에 한하여 개조차라는 말이 나온 이유는 LNG 차량으로 개조하는 비용이 LNG 차량을 사는 것보다 더 저렴하기 때문일 것이다. 바꾸어 말하면 LNG 차량에 대한 가격이 비싸기 때문이다. 하지만 LNG 개조차량에 대한 실례는 보기 힘들고 실험용 혹은 개발용으로 개조된 사례로만 볼 수 있었다. 이러한 현상의 원인은 LNG 충전소에 대한 보급문제와 안정성에 대한 검증의 부재가 주요 원인으로 파악된다.

경제성 평가 대상으로 LNG 개조차량은 LNG 혼소 차량으로 한정되는데 이것은 경제성 평가를 위한 분석항목에 대한 자료의 부재 때문이다. 특별히, LNG 개조차량에 대한 평가에서는 LNG 혼소 화물차에 대한 자료를 근거로

LNG 개조버스를 평가하기 때문에 평가결과의 정확성에 대해서는 한계가 있을 수 있다.

1) 환경성 평가

LNG 개조버스가 혼소인지 아니면 전소인지의 여부에 따라서 LNG 개조버스에 대한 환경성 평가가 달라질 수가 있다. 하지만 혼소 차량의 경우 시동을 걸때와 언덕을 운행하는 경우는 경유연로를 사용하고 평소 운행은 LNG 연료를 사용하기 때문에 LNG 개조차량에 대해서 적용하고자 하는 시외, 고속, 전세, 공항버스가 시동을 자주 키거나 언덕 운행이 많지 않다는 것에 근거하여 혼소차량과 전소차량에 대한 환경성은 차이가 크지 않을 것으로 가정하였다. 따라서 환경성에 대한 평가는 EURO-5 기준의 경유버스대비 LNG버스의 환경편익 결과를 보여주는 <표 5-39>를 적용할 것이다.

2) 비용분석

LNG 개조차량에 대한 경제성 평가를 위한 비용분석 항목은 LNG버스의 비용분석 항목과 동일하다. 먼저 LNG 개조차량에 대한 연료비용은 LNG버스의 연료비용과 동일하다고 가정할 것이다. 따라서 경유버스대비 LNG버스의 연료비용 결과를 보여주는 <표 5-16>의 연료비 감소액을 적용한다. LNG 개조차량에 대한 초기투자비용의 경우는 경유버스를 LNG 개조차량으로 대체한다는 것과 경유버스를 LNG 차량으로 개조한다는 것을 전제로 한다면 경유버스대비 LNG 개조차량에 대한 초기투자비용은 LNG 개조차량에 대한 개조비용이 될 것이다. 개조비용에 대한 자료는 엔진텍과 템스 두 차량개조업체의 개조금액평균 29,525,000원을 적용한다.

3) 경제성 평가

LNG 개조차량에 대한 경제성 평가도 LNG 버스의 경제성 평가 방법과 과정이 동일하다. 앞에서 언급한 LNG 개조차량에 대한 환경편익, 초기투자비용, 연료절감액을 고려하면 EURO-5 기준의 LNG 개조차량에 대한 경제성 평가 결과를 얻을 수 있다.

<표 5-87> LNG버스 개조차량에 대한 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		시나리오 1	시나리오 2
경제편익	시외버스	28,008,539	32,137,586
	고속버스	31,604,872	37,327,185
	공항버스	25,732,368	28,656,296

주: 환경개선편익 시나리오 1(CO, HC, PM, NOx), 시나리오 2(CO, HC, PM, NOx, CO2)

LNG버스 개조차량에 대한 경제성 평가 결과는 버스별로 시나리오의 결과가 동일하게 시외, 고속, 공항버스는 경제성 평가 편익의 결과로 나왔다. 경제성 평가 고려항목에서 버스가격차이를 제외하고 LNG버스와 동일한 조건을 적용했다는 것을 감안한다면 EURO-5 기준의 LNG버스의 경제성 평가보다 높은 편익의 발생은 경유버스대비 LNG 버스의 가격차이와 LNG버스 개조차량비용에 대한 금액차이임을 알 수 있다.

LNG버스 개조차량에 대하여 연료가 변동에 따라 어떻게 영향을 받는지 연료가 변동에 따른 경제성 평가를 시행하려 한다. 연료가 변동폭은 경유가격 대비 LNG가격이 5%, 10% 상승할 때와 하락할 때로 나누어 적용할 것이다.

<표 5-88> 연료가 변동에 따른 경제성 평가 결과

(단위: 원)

		-10%	-5%	5%	10%
시나리오 1	시외버스	3,584,403	15,796,471	40,220,607	52,432,675
	고속버스	9,247,565	20,426,219	42,783,525	53,962,178
	공항버스	600,258	13,166,313	38,298,423	50,864,479
시나리오 2	시외버스	7,713,450	19,925,518	44,349,654	56,561,722
	고속버스	14,969,878	26,148,532	48,505,838	59,684,491
	공항버스	3,524,186	16,090,241	41,222,351	53,788,407

주: 연료가 변동에 대한 비율에서 음(-)은 경유가격대비 LNG가격의 상승, 반대로 양(+)은 경유가격대비 LNG가격의 하락을 의미함

연료가 변동에 따른 LNG버스 개조차량 경제성 평가 결과 시나리오와 연료가 변동에 상관없이 모든 버스에 대해서 경제성 편익이 발생하는 것으로 나왔다. 연료가 변동에서 경유가격대비 LNG가격이 10% 상승하는 경우에도 경제성 편익이 발생하는 것을 통하여 LNG버스 제작차에 대한 비용과 LNG 개조차량에 대한 개조비용의 큰 차이를 엿볼 수 있다.

나. 수익성 평가

수익성 평가를 위해 LNG 개조차량에 대한 비용항목을 LNG 버스의 비용항목과 비교해서 살펴보고자 한다. LNG 개조차량의 초기투자비용은 29,525,000원을 적용하고 연료비용의 경우는 LNG 버스의 경우와 약간의 차이가 있겠지만 동일하다고 가정한다. 차이에 대한 원인은 규명할 수 있겠지만 차이에 대한 결과를 분석하는데 한계가 있다. 취득세의 경우는 혜택을 받을 수 없다. LNG 개조차량은 경유버스를 개조한 것으로 앞서 전제하였듯이 경유버스를 구입할 때 취득세가 부과되기 때문이다. 환경개선부담금은 EURO-5 기준의 경유버스대비 LNG 버스의 항목과 동일하다. 저공해 차량은 5년간 환경개선부담금이 면제 되고, EURO-5 기준에 적합한 경유차도 5년간 면제혜택이 있으므로 환경개선부담금에 대한 혜택은 없는 것이다. 요약하면, LNG 개조차량의 수익성 평가는 초기투자비용과 연료비용만을 고려하면 된다.

<표 5-89> LNG버스 개조차량 수익성 평가

(단위: 원)

	개조비용	연료비	수익성
시외버스	29,525,000	25,560,548	-3,964,452
고속버스		25,151,684	-4,373,316
공항버스		27,956,536	-1,568,464

LNG버스 개조차량의 수익성 평가 결과는 모든 버스에 대해서 수익성 손실로 나타나는데 동일한 기준에서 경제성 평가 결과가 편익의 결과 였음을 고려한다면 LNG버스 보급사업이 개조차에 의하여 추진될 경우 시외버스는 396만원, 고속버스는 437만원, 공항버스는 156만원의 보조금 지원이 요구된다.

개조차에 대해서도 연료가 변동에 따른 수익성 평가를 실시해 보고자 한다. 연료변동으로는 경유가격대비 LNG가격이 5%, 10% 증가한 경우와 감소한 경우에 대해서 알아볼 것이다.

<표 5-90> 연료가 변동에 따른 수익성 평가

(단위: 원)

	-10%	-5%	5%	10%
시외버스	-34,035,595	-19,000,023	11,071,120	26,106,692
고속버스	-31,899,766	-18,136,541	9,389,910	23,153,135
공항버스	-32,511,270	-17,039,867	13,902,939	29,374,342

연료가 변동에 따른 경제성 평가와 수익성 평가를 서로 관련지어 살펴보면 경제성 평가 결과에서 손실에 해당하는 항목은 수익성 평가 결과에 큰 의미가 없다. 또한 경제성 평가 결과에서 편익에 해당하는 조건이 수익성 평가 결과에서 동일하게 편익의 결과를 나와도 정부의 보조금을 지원해야 하는 등에 대한 문제도 역시 큰 의미가 없다. 다만 경제성에 대한 편익은 있는데 수익성에 대하여 손실이 발생할 때의 경우가 정부의 보조금에 대한 지원 타당성이 있는 것이다. 여기서는 정부의 보조금 지원 타당성이 있는 경우를 예로 들어 설명하고자 한다.

연료가 변동에 따른 평가에서 경제성은 있는 데 수익성이 없는 경우는 경유가격대비 LNG가격이 5%와 10% 증가한 경우로 동일한 조건하에서는 경제성 편익이 발생하므로 개조차 LNG버스 보급사업시 수익성 손실만큼의 정부 보조금이 요구된다.

제6장 결 론

제6장 결 론

LNG버스 보급사업에 대한 경제성 평가는 LNG버스 보급사업 추진의 타당성을 제시하고 수익성 평가는 LNG버스 보급사업에 대한 정부의 보조금 지원 적정 규모를 제시한다. 오염물질배출허용기준의 EURO-5 기준에서 LNG버스 보급사업 추진에 대한 타당성 여부를 평가하기 위해 경제성 평가를 실시하였는데 버스비 차액으로 약 5,690만원을 적용한 경우 환경개선편익 시나리오 1에서는 시외버스, 고속버스에 경제성 평가결과 편익이 발생하고 시나리오 2에서는 시외, 고속, 공항버스에 대해서 경제성 편익이 발생하였다. 즉 EURO-5 기준에서는 경유를 연료로 사용하는 시외, 고속, 공항버스를 LNG 연료로 사용하는 버스로 교체하여 운행한다면 사회적 측면에서 유익이 있다는 것이다. 정부는 사회적 유익을 고려하여 LNG버스 보급사업을 추진할 경우 이 사업을 추진하기 위해서 버스운송업자에게 보조금 지원여부와 적정규모를 제시하는 기준은 수익성 평가인데 동일한 기준에서의 수익성 평가 결과는 시외버스 약 4,932원, 고속버스 약 4,973원, 공항버스 약 4,693원의 수익성 손실로 나와 이 손실금액이 바로 적정보조금규모가 된다.

이상의 설명을 아래의 표로 요약하였다.

<표 6-1> EURO-5 기준의 평가(버스가격차 56,908,000원 적용)

(단위: 원)

	경제성 평가 결과	수익성 평가 결과
시외버스	4,754,586	-49,326,447
고속버스	9,944,185	-49,735,311
공항버스	1,273,296	-46,930,459

주: 환경개선편익 시나리오 2를 적용

EURO-5 기준에서 버스가격차를 약 4,596만원 적용한 경우의 경제성 평가 결과에서도 시외, 고속, 공항버스 모두 환경개선편익 시나리오에 상관없이 편익이 발생한다. 따라서 동일한 기준에서 LNG버스 보급사업 추진은 타당하며 이 사업을 추진하기 위하여 보조금 지급여부와 적정규모는 다음의 표

와 같이 요약된다.

<표 6-2> EURO-5 기준의 평가(버스가격차 45,966,000원 적용)

(단위: 원)

	경제성 평가 결과	수익성 평가 결과
시외버스	15,696,586	-37,290,247
고속버스	20,886,185	-37,699,111
공항버스	12,215,296	-34,894,259

주: 환경개선편익 시나리오 2를 적용

위의 표를 통하여 알 수 있듯이 EURO-5 기준에서 경유버스대비 LNG버스 가격차가 약 4,596만원일 때 시외버스는 약 3,729만원, 고속버스는 약 3,769만원, 공항버스는 약 3,489만원의 보조금 지원이 요구된다.

EURO-5 기준에서 버스가격별 경제성 평가 편익이 발생한 경우를 살펴보았듯이 버스가격차가 약 5,690만원과 4,596만원인 경우에 시외, 고속, 공항버스 모두 경제성 편익이 발생하였다. 경제성 평가 결과에서 편익이 발생한다는 것은 LNG 버스 보급사업이 사회적으로 유익이 된다는 의미이므로 동일한 기준하에서 LNG 버스 보급사업을 추진할 필요가 있다. 그러나 LNG 버스 보급사업을 추진하기 위해서는 LNG 충전소 설치와 같이 본 사업과 관련된 인프라 구축의 문제와 본 사업을 추진하기 위한 재정적 문제, 확보된 재정으로 인프라 설치와 LNG버스 보조금 지원의 기준확정 문제, 안전점검과 같은 규정상의 문제들이 존재한다. 따라서 시범운행과 같은 단계적 절차를 통하여 LNG 버스가 보급 되어야 하는데 본 연구에서 평가대상으로 삼았던 시외, 고속, 공항버스 중에서 인천공항에 LNG 충전소가 설치되어 있어 LNG 충전소 문제가 해결될 수 있는 공항버스를 대상으로 몇 대를 먼저 선정하여 시범운행함으로 LNG 버스 보급사업의 준비단계와 함께 더 나은 수도권 대기질 개선의 재시작을 할 수 있을 것이다.

<참고 문헌>

교통안전공단, 2009, 2008년도 자동차 주행거리 실태조사
천연가스차량협회, 2009, 강원도 친환경 저공해 자동차 구축방안
한국가스공사, 2009, LNG 혼소 화물자동차 성능기준 및 효과분석 연구
한국가스공사, 2006, LNG 차량 요소기술개발
한국교통연구원, 2009, 국가교통 DB동향정보
환경부, 2009, 천연가스자동차 보급성과 평가 및 안정적 보급을 위한 합리적 방안 연구
환경부, 2007, LNG 자동차 보급 예비타당성 조사연구 용역
환경부, 2009, 환경백서
IANGV, 2010, IANGV 컨퍼런스 발표자료
World Bank, 2010, State and Trends of the Carbon Market 2010
A. Markandya, 1998, Economics of Greenhouse Gas Limitations: The Indirect Costs and Benefits of Greenhouse Gas Limitations, UNEP
KAIST, 1998, 청정연료 사용지역 내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한 연구
Mike Holland, Paul Watkiss, 2002, BeTa Version E1.02a Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe, netcen

관련 홈페이지

Gladstein Neandross & Associates, http://www.gladstein.org
국제천연가스차량협회, http://www.iangv.org
페트로넷, http://www.petronet.co.kr
환경부, http://www.me.go.kr/
법제처, http://www.moleg.go.kr/
한국은행, http://www.bok.or.kr/
유럽천연가스차량협회, http://www.engva.or
대우버스, http://dwbus.com
현대자동차, http://www.hyundai.com/kr
디젤넷, http://www.dieselnet.com
위키피디아, http://www.wikipedia.org

<부 록>

LNG(액화천연가스) 버스 운행승차에 대한 설문조사

아래의 설문은 환경부 수탁과제로 수행중인 “LNG 차량 보급을 위한 타당성 조사 연구”의 일환으로 LNG 시범운행 설문조사를 실시하여 LNG버스에 대한 귀하의 생각과 의견을 듣고자 하오니 정성껏 답해주시기를 부탁드립니다. 귀하의 답변은 통계자료로만 이용될 것입니다. 고맙습니다.

2010. 9. 8

한국환경정책평가연구원 강광규

1. 귀하는 버스를 1주일에 몇 번 탑승 혹은 운행 하십니까?
 ①1-2번 ②3-4번 ③5-6번 ④7번 이상 ⑤없음

2. 버스 운행시 혹은 탑승시 귀하께서 가장 중요하게 생각하는 것은 무엇입니까?(3가지 선택-1,2,3으로 표시해 주시기 바랍니다.)
 승차감( ) 쾌적성( ) 견고성( ) 주행성능( )
 소 음( ) 연 비( ) 안정성( ) 친환경버스의 여부( )
 기타( )

3. 귀하께서는 연료 충전소 개수와 거리, 위치 등 충전소의 근접성에 대하여 어느 정도 중요하다고 생각하십니까?
①전혀중요치않음 ②별로중요치않음 ③보통 ④약간중요함 ⑤매우중요함

4. LNG버스의 승차감에 대한 귀하의 만족도는?
 ①매우만족 ②약간만족 ③보통 ④약간불만 ⑤매우불만

5. LNG버스의 쾌적성에 대한 귀하의 만족도는?
 ①매우만족 ②약간만족 ③보통 ④약간불만 ⑤매우불만

6. LNG버스의 소음에 대한 귀하의 만족도는?

①매우만족 ②약간만족 ③보통 ④약간불만 ⑤매우불만

7. LNG버스의 안정성에 대한 귀하의 만족도는?
①매우만족 ②약간만족 ③보통 ④약간불만 ⑤매우불만

8. LNG버스의 주행성능에 대한 귀하의 만족도는?
①매우만족 ②약간만족 ③보통 ④약간불만 ⑤매우불만

9. LNG버스와 기존 경유버스 중 어느 버스의 승차감이 더 좋았습니까?
LNG버스( ) 경유버스( )

10. LNG버스와 경유버스 중 어느 버스가 더 쾌적하게 느껴졌습니까?
LNG버스( ) 경유버스( )

11. LNG버스와 경유버스 중 어느 버스의 소음이 더 작았습니까?
LNG버스( ) 경유버스( )

12. LNG버스와 경유버스 중 어느 버스가 더 안정감 있게 느껴지셨습니까?
LNG버스( ) 경유버스( )

13. LNG버스와 경유버스 중 어느 버스의 주행성능이 더 좋게 느껴졌습니까?
LNG버스( ) 경유버스( )

14. 경유버스대비 LNG버스의 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?(다수선택 가능- 1, 2, 3으로 순위를 정해 주시기 바랍니다.)
승차감( ) 안정성( ) 충전소불편( ) 주행성능( ) 견고성( )
가 격( ) 연 비( ) 소 음( ) 없 음( )
기타( )

15. 경유버스보다 비싼 LNG버스를 구입하기 위해서 경유버스대비 LNG버스 가격의 차액에 대한 정부지원이 필요하다고 생각하십니까 ?
①예 ②아니오

16. 경유버스대비 LNG버스 구입가격 차액에 대해 어떠한 방식의 정부지원을 원하십니까?(다수선택 가능- 1, 2로 순위를 정해 주시기 바랍니다.)
①차량가격 보조 ②융자이자 감면 ③세금 감면 ④기타(　　)

17. 위 16번 질문에서 원하는 방식의 정부지원에 대해서 어느 정도의 정부지원이 적절하다고 생각하십니까?
17-1) 경유버스대비 LNG버스 구입비용 차액에 대한 차량가격보조
ⅰ)0-20% ⅱ)20-40% ⅲ)40-60% ⅳ)60-80% ⅴ)80-100%

17-2) 융자이자 감면
ⅰ)0-20% ⅱ)20-40% ⅲ)40-60% ⅳ)60-80% ⅴ)80-100%

18. 위 16번 질문에서 세금감면혜택을 선택하셨다면 어느 정도의 정부지원이 적절하다고 생각하십니까?
18-1) 취득세 감면혜택
ⅰ)0-20% ⅱ)20-40% ⅲ)40-60% ⅳ)60-80% ⅴ)80-100%

18-2) 등록세 감면혜택
ⅰ)0-20% ⅱ)20-40% ⅲ)40-60% ⅳ)60-80% ⅴ)80-100%

18-3) 부가가치세 감면혜택
ⅰ)0-20% ⅱ)20-40% ⅲ)40-60% ⅳ)60-80% ⅴ)80-100%

19. LNG버스에 대한 기타 의견을 적어주시기 바랍니다.

20. 귀하의 연령대는?
①20대 ②30대 ③40대 ④50대 ⑤60대이상

21. 회사에서 귀하의 주업무는 무엇입니까?
①운전 ②정비 ③사무 ④경영 ⑤기타(　　)