

자동차용 대체연료

최근 선진 각국은 수송기기의 연료로 대체에너지의 이용에 대한 관심이 날로 높아지고 있다.

우리나라도 월드컵이 열리는 2002년까지 천연가스(CNG) 버스 5,000대를 도입, 서울등 6개 광역시에서 운행키로 했다. 오는 2000년에 발효되는 국제 자동차 배기가스 규제를 앞두고 자동차용 청정 대체연료의 이용 가능성과 문제점에 대하여 알아본다.

들어가는 말

휘발유와 디젤은 에너지 밀도가 높고 저장과 제조가 쉬울 뿐 아니라 광범위한 소비자 공급 인프라 구축 등으로 인해 수송연료로 가장 널리 이용되는 에너지이다. 그러나 최근 이러한 수송기의 화석연료 수요를 줄이고 대체연료 이용을 통한 효율향상, 환경보전 등의 목적으로 대체연료를 혼합 사용하거나 또는 완전히 대체연료만을 사용하는 사례가 늘고 있다.

또한 이러한 대체연료 사용과 관련한 기술의 발달에 따라 대중교통 수단과 승용차의 대체연료 사용 사례의 증가에 함께 연료 충전 시스템과 같은 사회적 인프라 체계의 확산으로 대체 연료이용에 대한 관심 역시 날로 확대되고 있다.

그러나 모든 대체연료로 적합한 것은 아니다. 즉, 연료 충전소간의 주행거리 문제, 연료저장 탱크 설치에 필요한 공간 확보 및 제한된 공간에서

연료 저장능력 등에 대한 종합적 검토와 함께 환경편의 잠재성 즉, 대체연료 사용에 따른 각종 공해물질 배출저감 뿐만이 아니라 연료의 제조, 유통, 저장 등 전 과정에 대한 환경 친화적 효과 검토가 필수적이다. 이 자료는 수송연료용 대체연료를 결정할 때, 의사결정 과정에 대한 도움과 정보를 제공하기 위한 것으로 특히, 다양한 대체연료들의 이용에 대한 대표적인 장점과 단점, 최근의 엔진 연소기술에 대한 설명과 엔진 개조 변경에 따른 조건, 특정 대체연료에 적합한 엔진의 디자인과 차량의 구매결정 등에 대한 내용과 함께 환경 편익성 및 대체연료 충전에 필요한 Infrastructure 등에 대한 내용 등을 수록하고 있다.

이용 가능한 대체연료의 종류가 날로 다양해짐에 따라 모든 대체 연료에 대한 완벽한 검토를 할 수 없으므로 에탄올, 메탄올, 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG)와 식물성 기름을 이

용한 바이오 디젤 등 가장 일반적으로 사용하고 있는 대체연료에 대해 검토하였다.

대체연료 종류

다음에서 소개하는 대체연료는 현재 가장 일반적으로 이용되고 있는 대체연료 들이다. 알콜류와 유채유(Rapeseed Methyl Ester : RME)와 같은 식물성 기름 즉, 바이오 디젤 등은 그 자체로 또는 기존의 연료와 혼합하여 사용할 수 있다. 실제 이러한 혼합연료는 전세계적으로 기존 차량에 널리 이용되고 있다. 또한 대체연료는 바이오매스와 같은 재생자원이나 합성방법을 통해 생산할 수 있으며 이와 관련한 내용 검토는 별도 언급할 것이다.

알콜 에탄올

가장 경제적인 에탄올 생산 방법은 사탕수수, 사탕무, 곡류나 감자, 고구마 등 당분질이냐 전분질을 원료로 하여 발효 과정을 통해 에탄올을 생산하는 것이다. 따라서 에탄올의 연료적 효용성은 경작지 확보와 식량생산 감소회피라는 요인에 따라 제약을 받는다. 나무나 풀과 같은 셀룰로오스계 원료 또한 에탄올 생산에 이용될 수 있으며 이를 이용할 경우 기존의 수송연료를 완전히 에탄올로 대체할 수 있을 정도의 이용 잠재성을 가지고 있다. 그러나 이러한 셀룰로오스는 에탄올로 직접 발효될 수 없고 가수분해 과정과 같은 공정을 거쳐 당분질로 일단 분해된 뒤 알콜 발효에 이용될 수 있다.

알콜 메탄올

수소와 일산화탄소 합성가스로 전환될 수 있는 임의의 물질을 이용하여 메탄올을 생산할 수 있다. 메탄이 주요 성분인 천연가스는 가장 일반적

인 메탄올 생산 기초원료이다. 메탄은 일단 합성가스로 전환된 후 적정 비율의 수소와 일산화탄소가 촉매반응을 거쳐 메탄올로 전환된다. 기타 석탄과 바이오매스류가 메탄올 생산 기초원료로 이용될 수 있으며 이러한 기초원료들은 일차적으로 가스화 반응을 거쳐 합성가스로 전환된 후 복잡한 공정을 거쳐 메탄올을 생산하게 된다.

천연가스

확인된 천연가스(Natural Gas) 매장량은 원유에 버금하며 지난 1994년 기준으로 원유의 경우 137.3×10^{12} 톤 천연가스의 경우 원유환산으로 125×10^{12} 톤에 달한다. 이중 1/4 정도의 천연가스는 원유가 매장된 유전층에 존재하여 원유와 함께 채굴된다. 그외 유전층과 독립적으로 존재하는 천연가스의 경우 수송연료로서 큰 가치를 가지고 있다.

액화 석유가스

액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas)는 보통 석유나 천연가스의 정제과정에서 부산물로 생산된다. 이중 대략5% 정도가 수송 연료용으로 이용되고 있으며 향후 이러한 LPG의 수송 연료용으로 사용량 확대는 큰 잠재성을 가지고 있다. 이미 호주나 네덜란드에서는 LPG 이용한 매우 활발하며 네덜란드의 경우, 지난 1990년을 기준으로 908,000톤 정도의 LPG를 수송용 연료로 이용하여 수송분야의 총 에너지 소비량의 12.5%를 대체한 것으로 알려져 있다.

식물성 유지

식물성 기름(Vegetable Oils)은 연료적 특성상 그 이용범위가 디젤 엔진에 한정되어 있다. 비록 순수한 식물성 유지나 일반적인 디젤 환합사용 방식이 흔히 바이오 디젤이라고 알려진 메틸에스터 반응 유채유(rapeseed methyl ester)에 대해 상

대적으로 그 이용범위가 넓지는 않다. 그러나 모든 식물성 유지는 디젤과 거의 유사한 연료적 특성을 가지고 있어서 기본적으로 재생자원으로부터 생산된 대체연료의 여러 가지 장점을 가지고 있다고 할 수 있다. 바이오 디젤의 이용방법과 범위는 날로 확대되고 있으며 일부 유럽국가에서는 버스나 택시 등의 대중교통 수단을 대상으로 바이오 디젤을 이용 잠재성을 연구하고 있다.

대체연료 적용 차량

화석연료와 대체연료를 모두 사용할 수 있거나 혼합하여 사용할 수 있는 차량과 엔진에 대한 개발과 함께 연료 탱크 용량증가와 관련한 차체 중량문제 등에 대한 연구도 병행되고 있다.

대체연료 이용차량이 소비자들에게 인정받기 위해서는 기존의 가솔린, 디젤차량에 비해 성능면에서 차이가 없어야 하며 구입비용과 차량유지비용이 더욱 낮아져야 한다.

대체연료를 사용하기 위해서는 기존의 차량을 새로운 연료에 맞게 개조할 것인가. 아니면 처음부터 대체연료를 사용하기 위해 제작된 차량을 구입할 것인가를 결정하여야 한다. 물론, 기존의 차량을 약간 개조하여 대체연료를 혼합하여 사용할 수도 있다. 여기에서는 최근의 연료연소기술을 살펴보고 이러한 대체연료 사용에 따른 엔진 성능에 대해 기술하고자 한다.

디젤과 오토엔진을 현재까지 가장 널리 이용되는 차량엔진이다.

디젤엔진의 경우 엔진 실린더 내부에 공기를 불어넣고 피스톤으로 압축하고 연료분사기를 이용하여 실린더 내부로 연료를 분사한다. 이때 공기 압축에 따른 발생열은 공기와 연료 혼합체를 점화할 수 있는 충분한 온도를 보장해야 하며 혼합연료의 폭발로 인한 배기가스의 팽창으로 피스톤을 움직여서 이를 바퀴의 회전 동력원으로 이용하고 있다.

오토엔진에서는 공기와 연료의 혼합체를 엔진에 주입하고 피스톤으로 압축한다. 이때 공기 압축온도는 연료를 점화시킬 수 있을 정도가 되지 못하므로 전기 스파크를 이용한다. 즉, 연료는 압축에 의해 점화되는 것이 아니므로 디젤 엔진 방식에 비하여 오토엔진의 경우 압축비가 상대적으로 낮다. 자동차 연료는 적절한 세탄가를 가지고 있다. 세탄가가 높을수록 연료주입에서 점화까지 걸리는 시간이 짧으며 그 결과 점화시기를 보다 쉽게 제어할 수 있다. 오토엔진에서는 전기 스파크를 이용하여 점화시기를 조절하며 오토엔진에 이용되는 연료 특성 중 옥탄가란 연료 압축시의 점화 저항 정도를 의미한다.

노킹이란 공기와 연료 혼합체의 조기점화 현상을 말하며 옥탄가가 높을수록 높은 압축비를 얻을 수 있어 엔진 효율을 보다 향상시킬 수 있다.

알콜류

요즘 대부분의 차량들이 휘발유에 저농도의 알콜을 혼합하여 사용할 수 있다.

알콜연료를 사용하기 위해 개발된 자동차에는 알콜과 가솔린을 임의로 혼합하여 사용할 수 있는 가변연료용 차량이다.(Flexible Fuel Vehicles : FFV) 즉 이러한 차량의 엔진은 순수 알콜에서 순수 가솔린 뿐만 아니라 두가지 연료로 임의의 농도로 혼합하여 사용할 수도 있다. 이들 차량에서는 광학센서 등을 이용하여 혼합연료의 조성비를 인식하여 자동적으로 공기와 연료의 흐름과 점화시기 등을 조절한다.

메탄올, 에탄올의 경우 모두가 가솔린에 비해 옥탄가가 높아서 불꽃점화 방식의 엔진에 적합한 연료이다. 즉, 높은 옥탄가로 인하여 압축비를 높일 수 있어서 엔진효율이 향상되는 효과가 있다.

그러나 이에 반해 이들 알콜의 경우에 세탄가가 너무 낮아서 디젤엔진의 연료로서는 적합치가

않다. 이들 알콜류를 디젤엔진에 이용하기 위하여 글로우 플러그, 스파크 플러그, 점화 촉진 장치와 디젤연료의 파일럿 자져 등에 대한 개발이 진행되고 있다.

또한 알콜의 경우에는 낮은 증기압으로 인해 저온에서 시동성이 저하된다. 연구결과에 의하면 첨가제와 함께 가솔린 15%, 알콜 85% 혼합연료의 경우 시동성이 가장 우수하였으며 이 경우 영하 30°C에서도 엔진시동이 가능하였다.

알콜연료 충전소가 널리 보급 되기까지는 가변연료 차량이 알콜 전용차에 비해 보다 많은 장점을 가진다. 이러한 가변연료 자동차의 알콜이나 가솔린 어느 것도 연료로 이용할 수 있기 때문이다. 앞으로 알콜연료 충전소가 늘어나면 이러한 가변연료 자동차는 점차 알콜연료에 적합함 보다 엔진효율이 높은 차량으로 대체될 것이다. 즉, 메탄올이나 에탄올 전용 자동차는 높은 옥탄가에 따른 높은 압축비를 얻을 수 있으므로 엔진효율을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 연료 혼합비 감지센서 등이 필요없게 되어 엔진 시스템을 보다 단순화 할 수 있다.

액화 석유가스

LPG는 가스상태의 연료이므로 공기와 연료 혼합체는 저온 시동 보조제가 필요치 않다. 불꽃 점화 방식의 엔진의 경우에 LPG를 대체 연료로 이용하면 LPG가 증기화 상태이므로 엔진으로의 공기흐름을 감소시키기 때문에 약간의 에너지 손실이 있다. 그러나 가솔린에 비하여 LPG가 5~10% 정도 옥탄가가 높으므로 고압축비를 얻을 수 있어서 LPG 사용에 따른 다소의 에너지 손실을 충분히 보상할 수 있다.

그러나 LPG의 경우 세탄가가 너무 낮아 디젤엔진과 같은 자기점화 방식에 적합치 않으므로 불꽃점화 방식의 엔진 연료로 이용하는 것이 일반적이다. LPG를 디젤엔진에 이용할 경우에는

파일럿 차져 디젤연료 장치를 활용하여 높은 압축비를 실현할 수 있다.

천연가스

주성분이 메탄인 천연가스는 생성연대와 장소에 따라 다양한 조성비를 가진다. 따라서 이를 자동차 연료로 사용하기 위해서는 옥탄가 등 최소한의 기준을 충족하여야 한다.

전형적으로 천연가스는 높은 옥탄가를 가지고 있어서 액화석유가스에 경우 적절한 연소를 위하여 엔진의 개조가 필요하다.

오토엔진이나 디젤엔진 모두 압축천연가스를 연료로 이용할 수 있도록 개조할 수 있으며 오토엔진이 보다 쉽게 개조될 수 있다. 즉, 오토엔진의 연료탱크, 연료펌프, 연료호스 및 연료주입기 등과 관련한 일부 부품들은 가스연료에 사용에 적합한 부품으로 개조가 필요하며 연료점화 장치는 별도의 개조가 필요치 않다.

압축천연가스의 경우 가솔린에 비해 30~40% 정도 옥탄가가 높아 보다 높은 엔진 압축비를 얻을 수 있어 연비와 엔진효율을 향상시킬 수 있다.

디젤엔진에 압축천연가스를 이용하기 위해서는 두 가지 방법이 있다. 그 한가지로서 압축비를 낮추고 점화시스템을 설치하는 방법이 있는데 이 경우에는 단지 CNG만을 연료로 이용할 수 있으며 점화시스템은 엔진 시동에 있어 CNG점화에 이용된다.

두 번째 방법으로는 디젤과 CNG를 동시에 연소시키는 이중연료(Dual-fuel) 이용시스템으로 개조하는 방법이다. 이 경우 엔진 점화를 위해서 최소 20% 정도의 연료는 디젤을 사용함으로 100% 디젤을 사용할 경우에 비교해 압축비의 변화는 없다.

식물성 기름

식물성 기름은 특히 디젤엔진에 적합한 연료로

이미 오래전부터 디젤 엔진에 사용되어 왔다.(1900년 파리 세계박람회에서 식물성 기름을 사용하는 디젤엔진이 등장함) 연료의 점도를 낮추기 위해 순수한 상태의 식물성 기름만을 사용하거나 또는 디젤연료와 혼합 사용할 경우에는 배기가스 중에 고형물질이 증가하게 되어 결과적으로 연료 시스템 관리에 다소 어려움이 있을 수 있다.

그러나 에스테르화 반응을 거친 바이오 디젤은 연료적 특성이 일반적인 디젤 연료와 거의 비슷하다.

식물성 기름을 Trans-Ester 공정으로 처리하면 고분자의 축쇄구조가 분해되어 직쇄구조의 작은 분자구조 상태로 전환되어 에스테르화 공정 처리 전 상태의 식물성 기름의 점도를 보통의 디젤연료의 2배 수준까지 낮출 수 있다.

연료 시스템

표는 가솔린과 디젤연료에 대한 다양한 대체연료들의 부피기준 에너지 함량을 비교해 보면 이들 수치는 일정 용량에 대한 연료별 에너지 함량을 의미하며 이는 곧, 일정 용량의 연료를 사용할 경우 각각의 연료별 상대적 주행 가능거리를 나타낸 것으로 볼 수도 있다. 수치가 높을수록 보다 많은 에너지를 가지므로 동일한 연료탱크 용량에 각각의 연료를 충전하여 보다 많은 주행거리를 얻을 수 있다는 의미이다.

표 / 엔진에 따른 대체연료 적합성

	ALCOHOLS	LPG	NATURE GAS	VEGETABLE OILS AND ESTERS
OTTO ENGINE	X	X	X	-
DIESEL ENGINE	O	O	O	X

X=SUITABLE FOR USE WITH MINOR ENHANCEMENTS TO ENGINE

O=REQUIRES THE INSTALLATION OF SPARK-IGNITION SYSTEM, GLOW PLUGS, IGNITION IMPROVEMENT SYSTEM, OR PILOT CHARGE OF DIESEL FUEL.

--NOT SUITABLE.

물론 대체연료 이용에 따른 고압축비 구현과 이로인한 엔진효율을 향상과 적용 차량의 중량변화(대체 연료 이용을 위한 개조) 등은 별도로 고려되어야 할 것이다.

알콜류

에탄올과 메탄올은 가솔린에 비해 에너지 밀도가 매우 낮기 때문에 동일한 주행거리 확보를 위해서는 연료탱크가 커져야 한다.

특히 메탄올은 가솔린이나 디젤연료에 비해 금속 부식성이 높기 때문에 연료 탱크와 파이프 라인, 연료 주입장치 등의 소재로서 steel, 마그네슘, 알루미늄 재질을 사용할 수 없으므로 부식에 견딜 수 있는 스테인레스 스틸이나 니켈로 도금한 소재를 사용해야 한다.

액화 석유가스

LPG는 프로판, 부탄 가스를 주성분으로 하며 천연가스와 석유 생산과정의 부산물로 얻어지며 이를 차량 연료로 이용하려면 6~8 기압, 상온 상태에서 액체저장이 가능해야 한다. 따라서 연료 탱크를 내압성 용기로 제작해야 함에 따라 가솔린이나 일반 디젤연료에 비해 연료 탱크의 중량이 증가한다.

천연가스

가스 상태의 연료는 에너지 밀도가 낮기 때문

에 천연가스는 보통 150~220기압 정도로 압력을 가하여 압축천연가스 상태로 저장한다.

동일한 에너지 함량을 가지기 위해서는 가솔이나 디젤연료 비하여 압축천연가스는 5배 용량의 연료 탱크가 필요하다. 이로 인해 CNG 연료의 저장을 위한 내압성 연료 탱크를 사용해야 하므로 중량이 크게 증가한다.

복합재료로 연료탱크를 만들면 CNG 사용에 따른 연료탱크의 중량증가 문제를 크게 개선할 수 있다. 강철과 플라스틱 강화 섬유 복합 재료 응용방법이 개발 중에 있으며 탄소섬유계의 복합 재료를 사용하면 철제 실린더 연료 탱크에 비해 무게를 반으로 줄일 수 있어 차체 중량 감소에 따른 연비향상과 주행거리 증대효과를 기대할 수 있다.

천연가스를 액체상태로 저장하자면 2~6기압의 압력하에서 영하 161°C의 저온이 필요하다.

액화천연가스의 연료탱크는 CNG 연료탱크에 비해 크기와 부피를 줄일 수 있기는 하나 저온유지에 따른 용기 기밀성 확보라는 문제로 경제성이 떨어지며 또한 액화가스의 대기중 기화확산으로 인하여 액화천연가스의 장기저장이 불가능하다는 문제가 있다.

식물성 기름

통상, 식물성 기름의 저장 특성은 일반적인 디젤연료와 비슷한 것으로 알려져 있다.

그러나 특히 유채유와 같은 식물성 기름은 디젤 보다 저온에서 유동성이 매우 낮다는 특징이 있다. 어떠한 식물성 기름은 디젤에 비해 점도가 10배 정도 높기 때문에 연료 이송 라인을 대형화하고 연료 주입전에 예열단계를 거침으로써 연료 흐름을 용이하게 하거나 디젤 식물성 기름을 혼합하여 사용함으로써 저온에서의 연료의 점도를 낮추어 연료 특성을 개선하기도 한다.

유채유와 같은 식물성 기름은 SBR(styrol-

butadienrubber), butadien, isoprene, silicon류, polysulphide류와 polyurethane 등과 같은 일부 코팅제나 탄성제와 반응성을 가지고 있다.

결론

현재 기술로서 대체연료를 자동차 연료로 사용하는 데는 큰 문제가 없으며 본 내용에서 언급한 바와 같이 여러 가지 연구를 통해 이를 검증하였다.

대체연료 이용에 따른 중요한 장애요인은 단지 경제성 문제이나, 경제적이며 효율적인 대체 연료 생산방법을 통하여 연료 가격을 낮춘다면 기존의 화석연료와 충분히 경쟁이 가능할 것이다. 이러한 대체연료 이용 차량이 증가하면 대체 연료 충전소 역시 보급이 확대될 것이므로 대체 연료 이용확대와 대체연료 충전소 확산은 동시에 진행되어야 할 것이다.

또한, 대체연료 이용 확산에 따라 이들 대체연료 이용차량의 대량생산이 이루어지면 차량 가격 역시 낮아져서 보급이 확대될 것이다.

최근 많은 자동차 회사에서 제한적으로 바다 효율이 높은 엔진을 장착한 대체연료 차량을 생산하고 있으나 수요가 한정되어 이러한 자동차의 생산량이 적어서 일반 차량에 비해 상대적으로 가격이 비싸다.

그러나 이러한 문제 역시, 앞서 언급한 바와 같이 대체연료 사용에 따른 여러 가지 경제적 잇점(특히 연비와 주행거리 향상)등을 고려하면 충분히 상쇄될 수 있을 것이다.

특히, 무엇보다 이러한 대체연료의 사용에 따른 중요한 잇점은 대체연료의 환경적 친화성으로 인하여 환경보호 등의 삶의 질을 보장받을 수 있다는 점이다. 대체연료는 새로운 에너지원으로 각광받고 있으며 미래에는 이러한 대체연료의 이용이 보다 확산될 것이다.