

스파크 점화 기관의 녹킹과 가솔린의 옥탄가

Knock in a Spark-Ignition Engine and Octane Number of Gasoline

전 광 민*
Kwang Min Chun

1. 들어가는 글

현재 우리가 타고 다니는 승용차의 엔진은 대부분 스파크 점화 기관으로서 가솔린을 연료로 쓰고 있다. 약 100여년전 Otto 등에 실용화된 스파크 점화 기관은 효율 및 출력면에서 괄목할 만한 발전을 하였으며 이 발전은 가솔린 제조 기술의 발달에 의해 뒷받침되어졌다. 가솔린 제조기술의 발달 중 엔진의 고효율, 고출력화에 가장 큰 영향을 미친 것이 높은 옥탄가 연료를 제조하는 기술의 발달이다. 고효율, 고출력의 압축비가 높은 엔진에서는 녹킹이 일어나기 쉬우므로 이를 방지할 수 있는 높은 옥탄가 가솔린의 개발이 필수적인 것이다. 20세기 초에는 녹킹을 방지하기 위해 엔진의 압축비가 4이하였으나 가솔린 제조기술과 연료 첨가제의 발달로 연료의 옥탄가가 증가하여 현재 일부 스파크 점화기관의 압축비는 10을 넘어서고 있다. 이와 같이 스파크 점화 기관의 발달은 가솔린의 제조 기술의 발달과 병행되어져 왔다. 이 글에서는 녹킹 현상과 녹킹 발생의 결과, 그리고 녹킹과 연료와의 관계 등에 대해 개략적으로 설명하려 한다.

2. 녹킹이란 무엇인가?

차를 운전하여 경사진 길을 올라갈 때 운전

자는 가속 페달을 끝까지 밟게 되고 이때 어떤 엔진에서는 금속성의 날카로운 소리가 난다. 이럴때 운전자는 기어를 낮은 비율로 낮추어 이 소리를 없애는데 이 날카로운 소리는 망치로 쇠를 매우 빠르게 두들길 때 나는 소리와 비슷하여 이러한 현상을 녹킹(knocking)이라 부른다. 녹킹은 스토틀이 완전히 열려 실린더 내 압력이 높을 때 주로 발생하며 연소실 내부의 미연가스(unburned gas)의 일부가 자연 발화(auto-ignition or self-ignition)하면서 생긴다. 그 mechanism을 간단히 설명하면 다음과 같다.

그림 1의 a, b, c에서 보인 바와 같이 스파크 플러그에서 스파크에 의해 시작된 화염은 점차 자라면서 화염 전방에 있는 미연가스의 연료와 공기를 반응시켜 열을 발산시키고 기연가스로 만든다. 정상적인 연소의 경우 스파크 플러그에서 시작된 화염은 표면이 주글주글한 구형에 가까운 형태로 자라면서 연료를 연소시키다가 스파크 플러그 반대편 실린더 벽에 도착하여 중요 연소과정을 마치게 된다. 화염 전방의 미연가스는 압축과정 및 연소과정에서 계속 압축되어 온도가 증가하게 되나 정상 연소의 경우에는 미처 감지할 만한 자체 반응(self-ignition)이 일어나기 전에 화염이 도착하여 연소되게 된다. 그러나 화염의 속도

* 정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

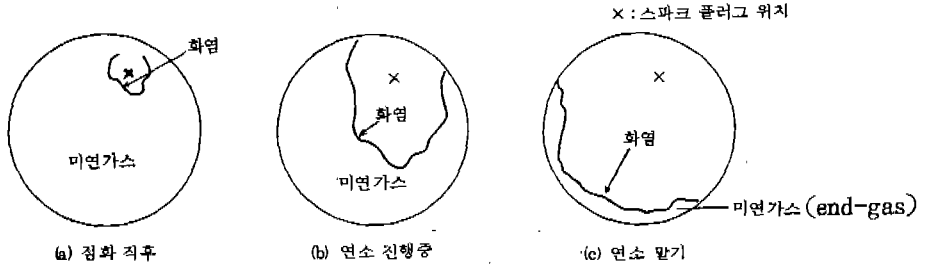


그림 1 화염의 전파와 end-gas의 형상

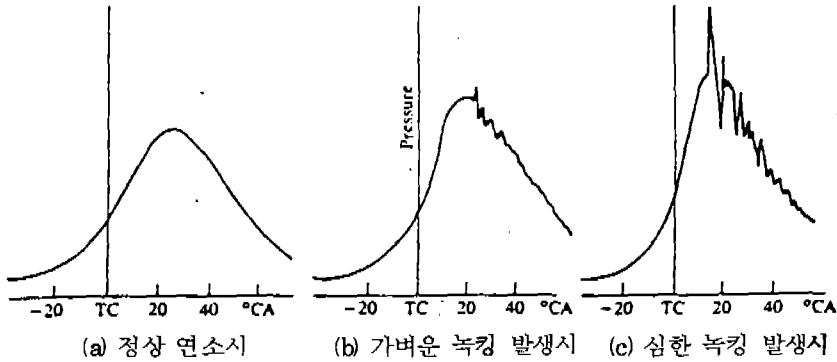


그림 2 녹킹 발생시의 실린더내 압력 변화

가 느리거나(저속운전에서의 경우), 또는 스파크 플러그에서 반대편 실린더 벽까지의 거리가 너무 긴 경우에는 화염이 도착하기 전에 스파크 플러그 반대편에 있는 미연가스(이를 end-gas라 함)의 온도가 충분히 높아지면서(약 1,000k 정도) 연료와 공기의 반응이 급격해진다. 이와 같이 순식간에 일어나는 자연발화로 인해 end-gas의 압력이 급격히 증가하고 연소실 내부에서 압력의 불균형이 생기며 그 결과로 발생한 압력파가 연소실 내부에서 움직이게 된다. 그림 2에 정상적인 경우(그림 2.a)와 녹킹이 일어나는 경우(그림 2.b, c)의 연소실 내부의 압력을 크랭크 각의 함수로 보였다. 이 압력은 연소실의 한 지점에서 측정된 것이며 녹킹 발생 후 압력파의 움직임에 따라 압력이 높아지고 낮아짐을 알 수 있다.

3. 녹킹의 영향

먼저 녹킹의 결과를 살펴 본다. 그림 2에서

보여진 바와 같은 end-gas의 자연발화로 인해 발생한 압력파는 소음 및 진동 발생의 원인이 되고 또한 연소실 벽면의 경계층을 파괴함으로써 벽면으로의 열전달을 촉진시켜 열손실을 증가시킨다. 녹킹의 강도가 심한 경우에는 엔진 부품(예를 들면 실린더 개스킷, 피스톤, 피스톤링, 스파크 플러그 등)의 손상을 가져온다. 저속에서 발생하는 녹킹은 운전자가 감지하여 기어를 변화시켜 피할 수 있으므로 크게 문제되지 않으나 고속에서 발생하는 녹킹은 운전자가 듣기 어려우므로 수 분간 녹킹이 계속될 경우 엔진 부품 손상을 가져올 수 있다. 이와 같은 녹킹을 방지하기 위하여 엔진 운행시 스파크 점화 시기를 적절한 값보다 늦추게 되어(특히 저속에서) 엔진 효율 및 출력이 감소하게 된다. 현재 생산되는 일부 엔진에는 녹킹 센서와 스파크 점화 시기 제어 장치를 이용하여 녹킹을 발생시키지 않는 한

도에서 점화시기를 최적화하고 있다.

4. 엔진 녹킹과 연료의 옥탄가

앞에서 설명한 바와같이 녹킹은 end-gas의 자연발화에 기인한다. 이 자연발화 특성은 연료마다 다른데 실제 자동차 연료로 쓰이는 가솔린은 많은 탄화수소의 혼합물인 바, 같은 회사 가솔린이라 하더라도 batch마다 그 성분이 약간씩 달라진다. 이러한 가솔린의 녹킹 저항성을 나타내는 척도로서 옥탄가가 쓰이며 옥탄가가 높을수록 녹킹 저항성이 크다. 옥탄가를 결정하는 기준 연료로 이소옥탄(iso-octane, C_8H_{18})과 헵탄(heptane, C_7H_{16})이 사용된다. 이소옥탄은 2,2,4-trimethylpentane이며 이는 일렬로 늘어 있는 다섯개의 탄소 원소 중 2,2,4에 있는 탄소 원소들에 3개의 methyl(CH)기가 붙어있는 포화탄화수소이다. 헵탄은 일곱개의 탄소 원소가 일렬로 늘어 있는 포화탄화수소로써 이소옥탄에 비해 자연발화하기가 매우 쉽다. 옥탄가는 헵탄의 값을 0, 이소옥탄의 값을 100으로 정했다. 임의의 가솔린의 옥탄가는 이소옥탄과 헵탄의 혼합물과 비교하여 정한다. 예를 들면 어떤 가솔린의 옥탄가가 95 이라면 이는 이 가솔린의 녹킹 저항성이 이소옥탄 95%, 헵탄 5%(부피비)의 혼합물과 흡사한 것이다. 이러한 옥탄가는 옥탄가를 정하는 실험시의 엔진 운전조건(흡입 공기온도, 엔진 회전속도 및 스파크 점화시기등)에 따라 크게 Motor Octane Number(MON)와 Research Octane Number(RO)로 나뉜다. Motor Octane Number 결정시의 엔진 운전 조건이 녹킹이 더 일어나기 쉬운 조건이기 때문에 Motor Octane Number가 보통 Research Octane Number보다 낮은데(예: MON 80-90, RON 92-98) 국내에서는 주로 Research Octane Number를 사용하여 이를 옥탄가라 부르며 미국에서는 이 둘의 산술평균을 옥탄가라 부르므로 같은 가솔린이더라도 국내의 옥탄가가 미국의 옥탄가보다 약간 높다. 가솔린의 옥탄가를 높이기 위한 첨가제로는 1차대전 이후에 발견

된 납화합물(Tetramethyl Lead, Tetraethyl Lead 등)이 많이 쓰였으나 환경오염 문제와 배기가스 촉매 반응기 손상 문제 때문에 현재는 MMT(Methyl cyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl)와 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether) 등의 산소화합물이 많이 사용되고 있다.

5. 맺는 글

윗 글에서 간단히 살펴 보았듯이 녹킹이란 현상은 비정상 연소로서 연소실 내부의 end-gas의 자연발화에 기인하며 소음 및 진동을 수반하고 심한 경우에는 엔진 부품의 손상을 가져온다. 녹킹 발생 유무는 흡입공기상태, 스톱 열림정도, 연소실 형상(특히 스파크 플러그 위치), 스파크 점화시기, 화염 전파속도 및 연료의 자연 발화 특성에 관계되며 화염 전파속도와 end-gas에 있는 연료의 반응속도와의 경쟁이라 볼 수 있다. 연료의 녹킹 발생에 대한 저항성을 나타내는 척도가 옥탄가이며 옥탄가가 높을수록 자연 발화하기 어려우므로 녹킹이 잘 일어나지 않는다. 참고로 엔진 출력과 연료 옥탄가와와의 관계에 대해 설명한다. 만일 어떤 엔진에서 녹킹 현상이 발생하지 않는다면 그 엔진에 높은 옥탄가의 연료를 쓴다고 출력이 증가하지는 않는다. 다만 높은 옥탄가의 연료에 맞는 높은 압축비의 엔진을 사용한다든지 또는 높은 옥탄가의 연료를 사용함에 따라 기존 엔진의 스파크 점화시기를 최적화시킬 수 있을 때만 엔진의 출력이 증가할 수 있다.

6. Reference

- (1) John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, 1988.
- (2) D.H. Cuttler and N.S. Girgis, "Photography of Combustion During Knocking Cycles in Disc and Compact Chambers", SAE Paper 880195, 1988.

- (3) Kwang Min Chun and John B. Heywood, "Characterization of Knock in a Spark-Ignition Engine", SAE Paper 890156, 1989.