

보조기구의 형상 변경에 따른 배기계에서의 압력 변동 분석 The Analysis of the Pressure Fluctuation in the Exhaust System According to the Assistant Device Configuration

정 성 원*, 심 국 상**
Sung-Won Chung*, Kook-Sang Sim**

Abstract

This paper described the characteristics of the exhaust pressure and proposed the assistant device for detection of misfired cylinder. Misfire, one of abnormal combustion, affects a bad influence of the 3-way catalyst and emits unburned hydrocarbon. Therefore, to prevent these unusual phenomena and eliminate the factor of the environmental pollution, early detection and correction of the misfired cylinder play a very important role. The configuration of assistant device was changed by length and diameter of pipe and analyzed with the install position on the exhaust system. Experimental results showed that the configuration of assistant device is not affected more than length and diameter of pipe and the assistant device is be effective in the detection of misfired cylinder on the gasoline engine.

Key Words : EPAR(배기압력 상승률), BBC(하사점), BBDC(하사점 전), ABDC(하사점 후)

1. 서 론

자동차의 급격한 증대는 대기오염의 주범을 산업 현장에서 자동차로 전환시키는 주 요인이 되었으며, 이에 따른 환경오염의 문제도 지역적인 문제를 벗어나 이제 전 세계적인 문제로 바뀐에 따라 환경 오염에 영향을 미칠 수 있는 모든 제품에 대해 규제를 가하고 있다. 그러나, 3원 촉매 등과 같은 유해 배출물을 정화할 수 있는 장비를 갖춘 자동차 기관에서는 산화와 환원 반응에 의해 유해물질을 무해물질로

정화를 시키고 있으나, 이와 같은 장치들도 제 작동을 수행하기 위해서는 적절한 온도유지 및 기관의 이론 공연비 영역 운전 및 실화 등에 의한 손상이 없어야 한다.

따라서, 탄화수소와 일산화탄소 등의 유해 배기 배출물의 증가뿐만 아니라, 3원 촉매의 손상, 동력 손실, 연료 소비증가, 토크 불균일에 의한 기관 진동 등의 악 영향을 초래하는 자동차 기관에서의 실화 실린더를 조기에 검출하는 것은 대기오염을 줄이는 한 방안이라 할 수 있다.

* 정희원 : 밀양대학교 기계공학과 부교수
** 금오공과대학교 기계공학부 강사

* Mechanical Engineering, Miryang national university
** Lecturer, School of Mechanical Engineering, KNUT

실화 검출에 대한 연구는 대기 오염 규제에 대응하기 위해 많은 방법들이 연구되어 왔으며, 연소실에서 직접 검출하는 방법과 크랭크축 각속도 변동, 산소 센서의 출력 전압 변동 등을 이용한 기타 간접적인 방법으로 진행되어 왔다.

본 연구는 이들 실화 검출 방법 중에서 배기 다기관 및 배기계에서의 압력 파형을 비교하여 실화를 검출하는 방법⁽¹⁻⁵⁾을 보다 명확하게 하기 위하여 배기계를 구성하고 있는 배기계 구성품 전후에서 배기 압력 파형을 비교해 보았으며, 또한 실화를 검출하기 위하여 사용된 보조기구의 길이와 직경 변화 등의 변경에 따라 배기계 내에서의 압력 파형이 어떠한 영향을 받는가에 대해 알아보고자 하였다.

또한, 보조 기구의 실제 차량에 대한 장착성을 평가하기 위하여 보조기구의 기하학적 형상도 변화시켜 배기계 내에서의 압력 파형 변화를 분석하여 보았다.

보조기구의 다양한 형상 변경에 따른 배기계 내에서의 압력 파형을 비교하기 위하여 본 연구에서 4행정 4사이클 가솔린 기관을 대상으로 정상적인 연소를 행하는 경우와 실화가 발생된 비정상적으로 연소하는 경우의 배기가스 압력 파형을 비교, 분석하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 주요 실험 장치

2.1.1 실험 장치

배기계 내에서 배기가스 압력 변동 특성을 측정하고, 분석하기 위한 실험 장치로는 4행정 4실린더 DOHC 전기 점화 가솔린 기관, 기관 동력계, 동력계 제어기, 배기 압력 취득 장치 및 해석 장치 등으로 구성되어 있으며 전체 개략도와 기관의 주요 제원을 Fig.2.1과 Table 2.1에 나타내었다.

기관의 회전속도와 토크를 제어하기 위해 사용된 기관 동력계는 속도를 측정할 수 있는 magnetic pick-up과, 부하를 측정할 수 있는 load cell이 장착되어 일정 속도 및 일정 부하의 제어가 가능하며, 최대 회전수 10000 rpm, 최대 흡수 동력 130 kW의 와전류 동력계이다.

기관에서 배출되는 배기 가스의 압력 특성을 분석하기 위해 Kistler사의 piezoresistive absolute pressure transducer를 설치하여 배기 가스의 압력을 측정하였으며, 센서에서 변환된 신호는 증폭기를 사용하여 증폭시킨 다음 기관의 상사점 신호와 동기 시켜 자료 취득 장치로 자료를 취득하였다.

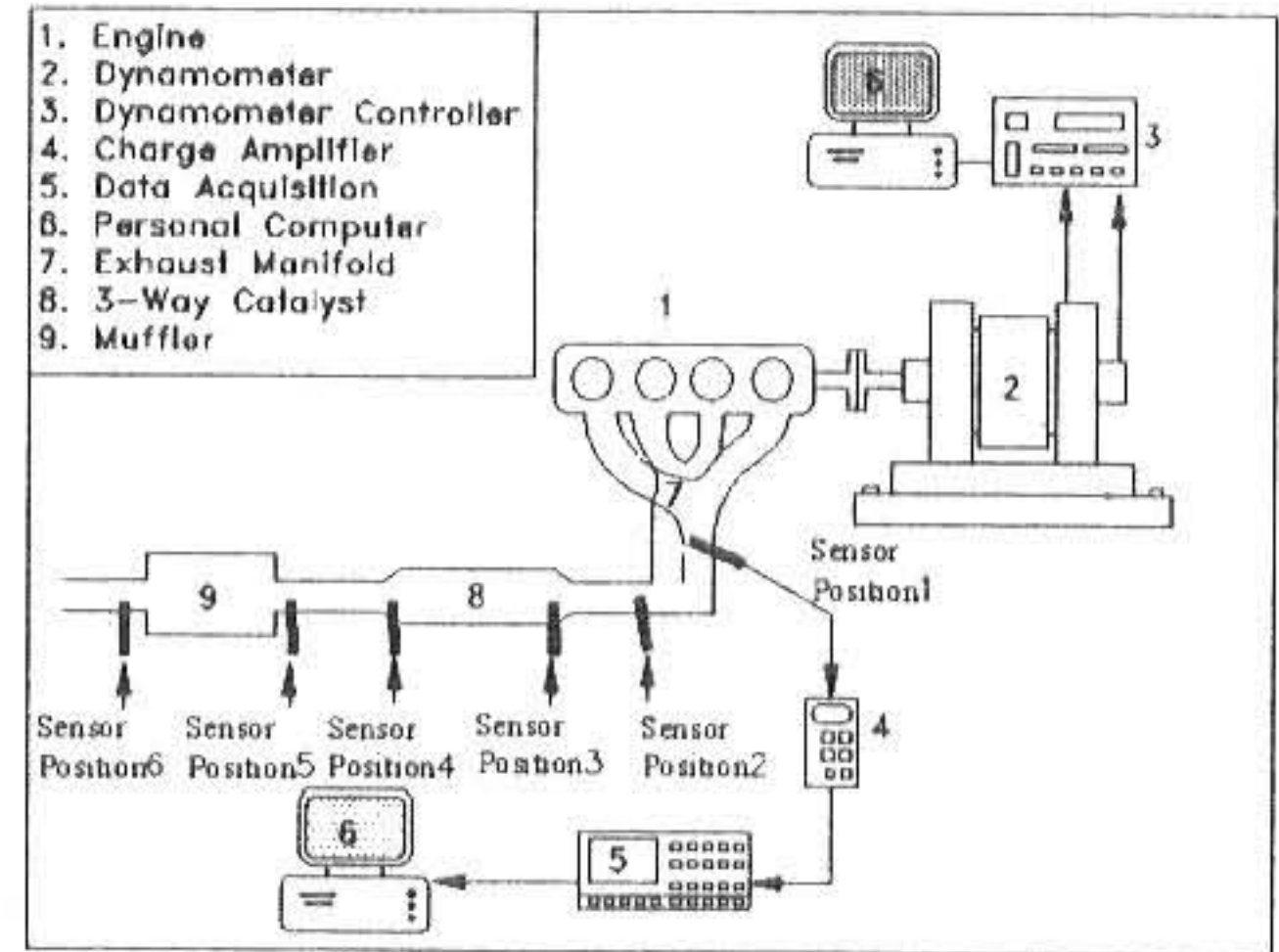


Fig.2.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

2.1.2 보조기구

기관의 배기계에서 형성되는 배기 압력파형은 배기 다기관의 기하학적 형상과 길이, 배기계를 구성하고 있는 구성품의 종류와 수량, 센서의 설치 위치에 따라 배기 압력 파형이 달라지게 된다.

따라서, 이러한 차이에 기인한 압력 파형의 변화를 최소로 줄이고, 고온의 배기 가스에 노출되는 배기 가스를 보호하기 위한 최적의 보조기구를 선정하기 위하여 다양한 형태의 보조 기구를 제작하였다.

먼저, 보조기구의 직경을 2mm에서 16mm까지 변경하여 압력 파형을 비교, 분석하였으며, 분석한 결과를 토대로 최적의 직경을 가진 보조 기구를 길이에 따른 압력 파형을 비교하기 위하여 길이를 100mm에서 1500mm까지 제작하였다.

또한, 이와 같은 보조기구의 차량 장착성을 시험하기 위하여 보조기구의 중간을 절곡과 같은 기하학적 형상을 변경하여 제작하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에서 사용된 4행정 4실린더 기관은 MPI 방식의 기관을 사용하였기 때문에 초기 운전 조건을 동일하게 만들어 주기 위하여 기관을 충분히 예열시켜 냉각수 온도를 $85 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하였으며, 공연비 제어는 산소센서의 feedback control에 의해 기관의 운전 조건과 부하에 따라 ECU에서 조정되도록 하였다.

본 실험의 압력 측정을 위한 기관 운전은 동력계의 일정속도 운전 모드에 의해 1000 rpm에서 2500 rpm 까지 500 rpm 간격으로 일정하게 유지하였으며, 부하는 흡기관 내 부압을 이용하여 무부하에서 고부하까지 여러 단계로 나누어 실험을 행하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 보조기구의 직경에 따른 배기 압력 특성

Fig.3.1은 기관의 회전수가 2000 rpm일 때 3원 축 매 직후에서 보조기구의 직경을 변경함에 따른 배기 압력 파형을 비교한 것이다.

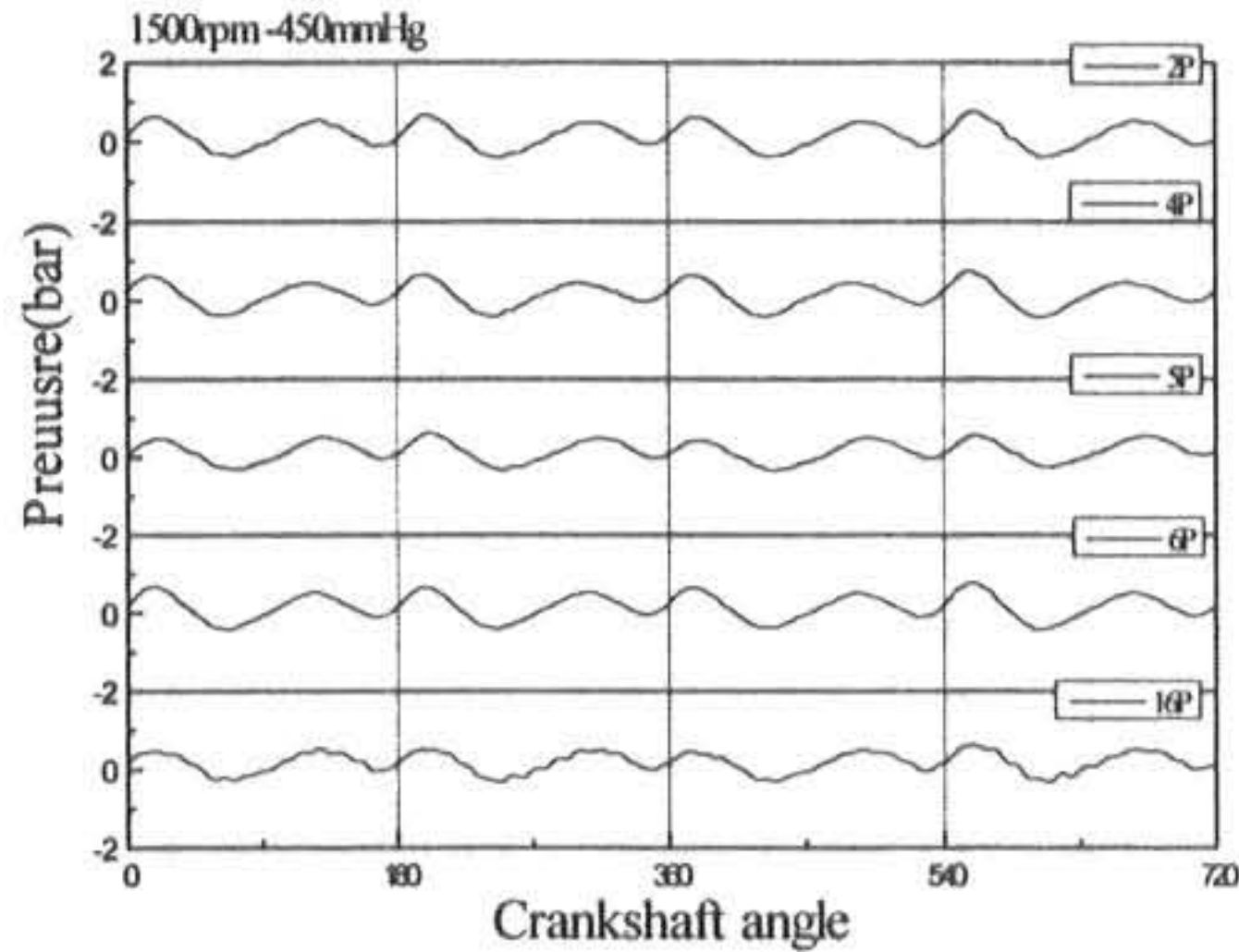


Fig.3.1 Pressure fluctuations according to the diameter of assistant device at the 1500 rpm

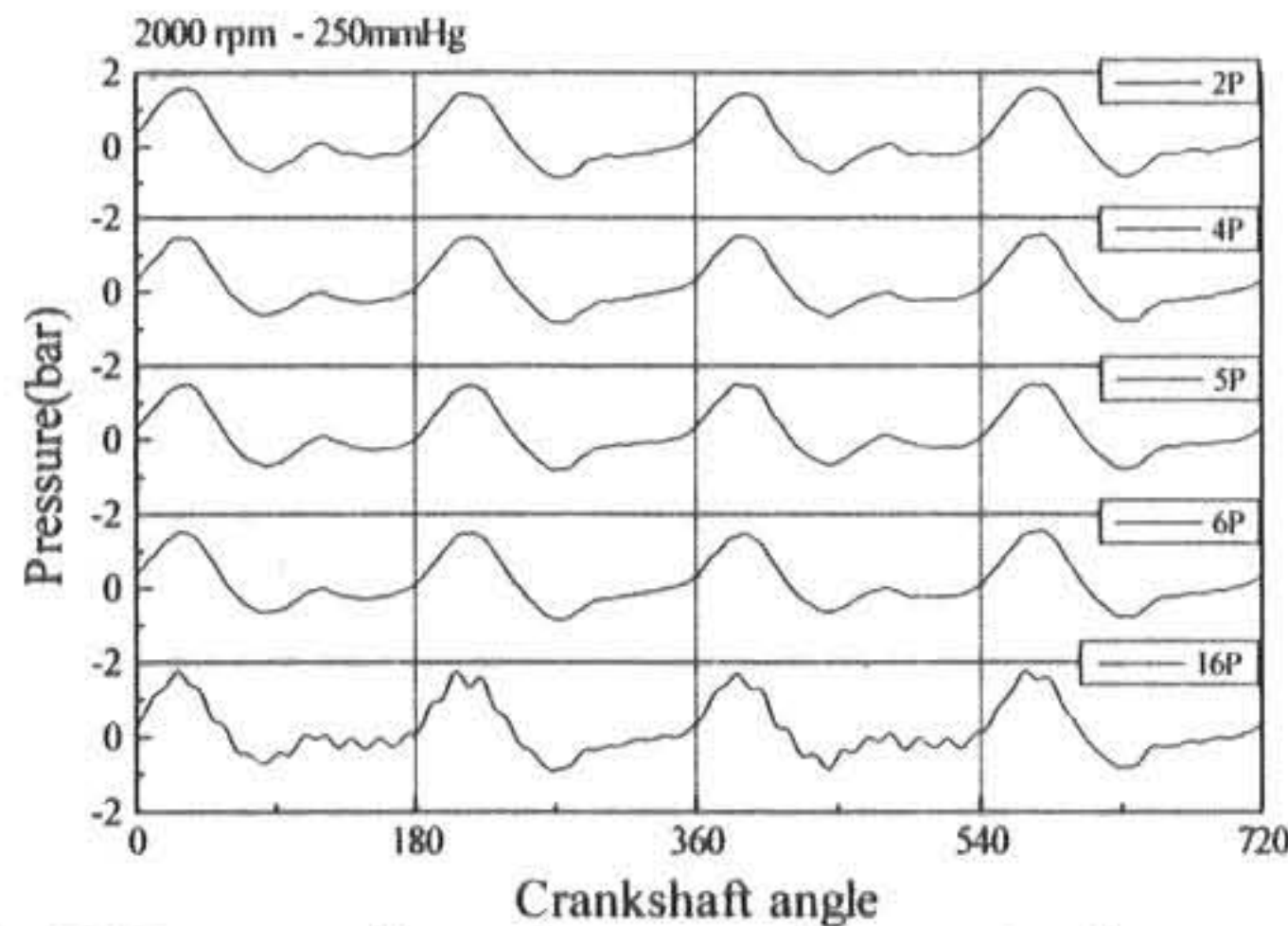


Fig.3.2 Pressure fluctuations according to the diameter of assistant device at the 2000 rpm

배기계에서의 압력을 센서에 직접적으로 노출시켜 측정하는 방법이 가장 정확하게 압력을 측정할 수 있지만 고온의 배기가스에 의해 센서가 손상될 우려가 많기 때문에 센서 앞부분에 직경이 다양한 보조기구를 장착하여 비교한 결과 직경이 작은 경우에는 그 차이가 미미하지만 16mm와 같은 큰 경우에는 반사파 등의 영향을 많이 받는 것으로 나타나고 있다.

기관의 부하 및 회전수가 증가한 Fig.3.2의 경우에서도 전반적인 압력 파형의 증가는 볼 수 있지만 반사파 등의 영향도 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 반사파 등의 영향을 받지 않은 최대 직경이 6mm의 경우를 보조기구에

장착하여 그 길이 변화에 따른 압력 파형을 비교하여 보았다.

3.2 보조기구의 길이에 따른 배기 압력 특성

Fig.3.3에서는 직경이 6mm인 보조 기구의 길이 변화에 따른 배기 압력 파형을 비교하여 나타내었다.

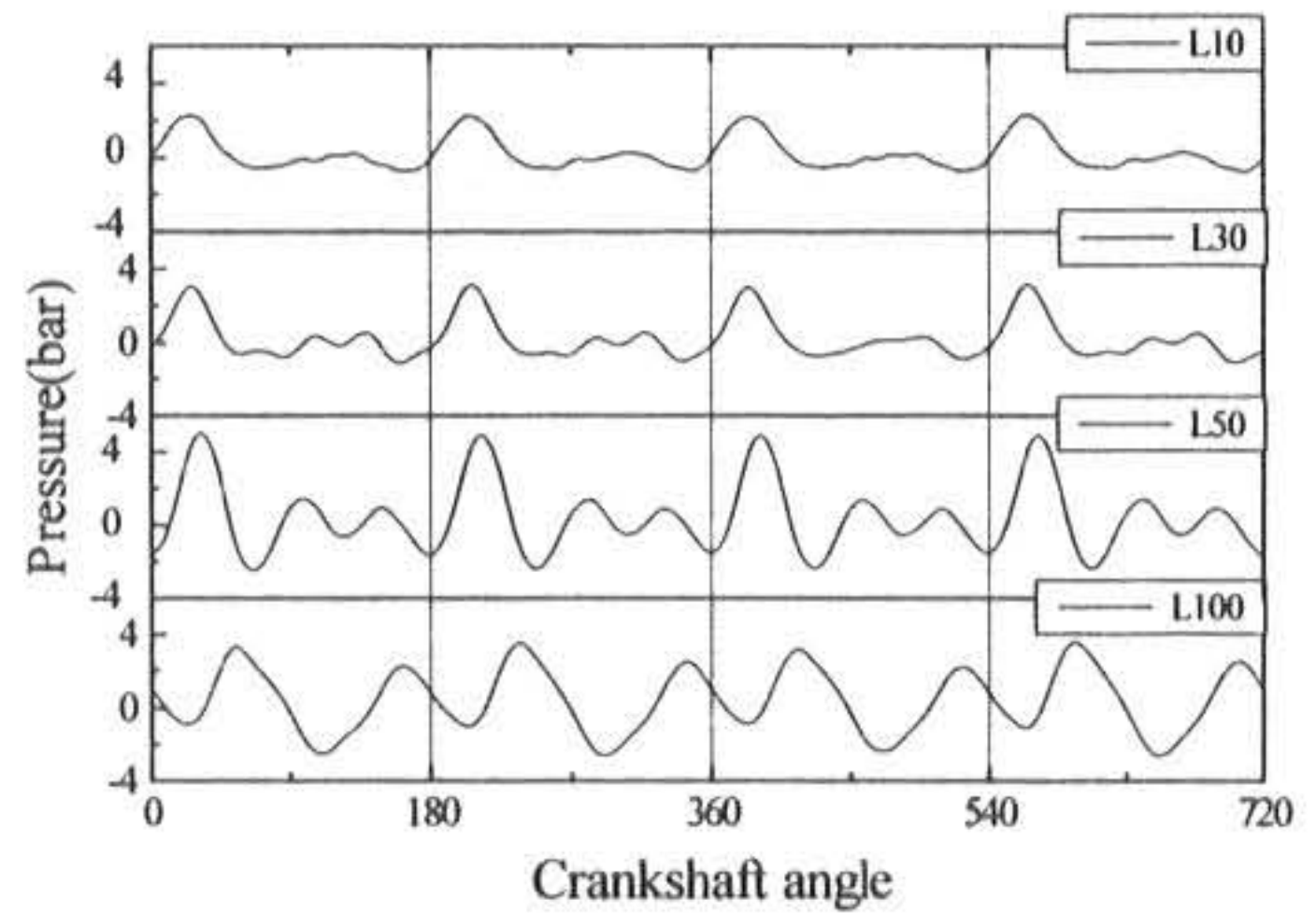


Fig.3.3 Pressure fluctuations according to the length of assistant device at the 1500 rpm

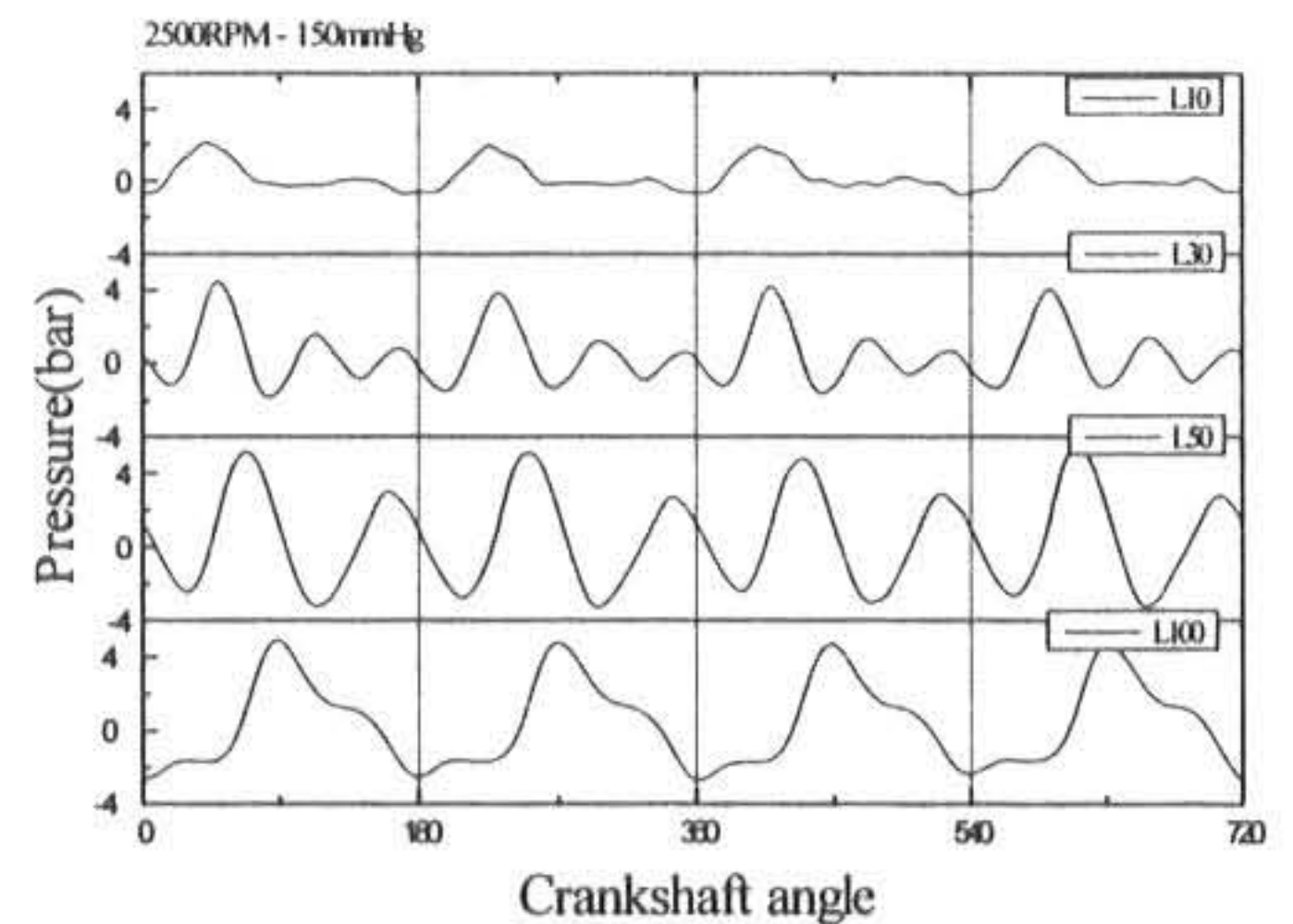


Fig.3.4 Pressure fluctuations according to the length of assistant device at the 2500 rpm

직경 6mm의 동일한 내경을 가진 보조기구의 길이를 100mm에서 1000mm까지 변경하여 실험한 결과 500mm의 경우가 가장 우수한 결과를 나타내고 있다. 이와 같은 이유는 보조기구의 기하학적 형상과 보조기구 내에서의 압력이 서로 공진을 일으킴에 따른 결과로 사료된다. 기관의 부하 및 회전수가 증가한 경우에도 유사한 경향을 나타내고 있다.

그러나 Fig.3.3과 Fig.3.4에서는 나타내지 않았지만 보조기구의 길이가 1000mm 이상 길어지게 되면 보조기구와 배기 압력이 서로 상쇄됨에 따라 약화되는 경향을 보였다.

3.3 보조기구의 기하학적 형상에 따른 배기 압력 특성

Fig.3.5와 Fig.3.6은 보조기구를 실제 차량에 장착하기 위한 예비 실험의 결과로서 보조기구의 중간부분을 한번 또는 두번 절곡을 행하여 절곡에 따른 압력 파형의 차이를 나타냈다.

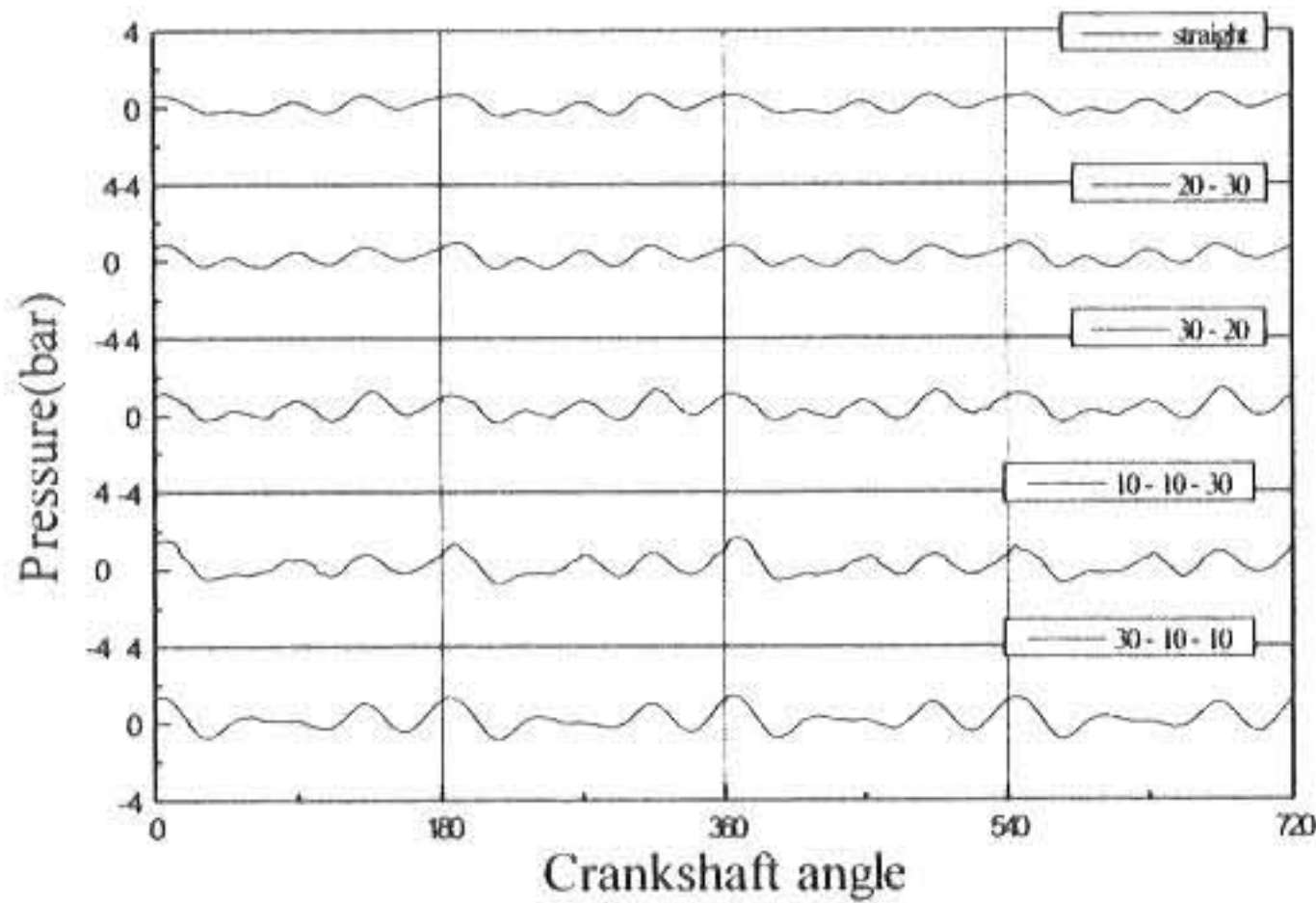


Fig.3.5 Pressure fluctuations according to the configuration of assistant device at the 1000 rpm, - 450mmHg

Fig.3.5의 straight는 보조 기구를 절곡하지 않고 직선적으로 500mm의 경우이며, 20-30 과 30-20은 한번 절곡한 경우에서 앞쪽의 치수가 배기계에서 절곡된 부분까지의 길이이다.

또한 10-10-30과 30-10-10의 경우는 두 번 절곡하여 배기계에서 그리고 두 번째 절곡까지의 치수를 나타낸 것으로서 전체 길이는 모두 500mm의 보조기구를 사용하였다.

보조기구의 기하학적 형상이 변하더라도 배기 압력 파형의 차이는 크게 나타나지 않고 있으며 Fig.3.5에서와 같은 저속 저부하의 경우는 오히려 절곡한 경우가 더 크게 나타나고 있다. 그러나 기관의 회전수와 부하가 증가한 Fig.3.6과 같은 경우에는 직선적인 형상의 보조기구가 가장 좋은 압력 파형을 나타내고 있다.

그러나 전반적으로 보조기구의 형상변화가 압력 파형에 미치는 영향은 미소하며, Fig.3.3과 Fig.3.4와 같은 전체적인 길이가 변하게 될 경우가 더 많은 영향을 나타내고 있다.

본 연구에서는 실제 기관보다는 정지된 기관에 보조 기구를 장착하여 배기계에서의 압력 파형을 비교하였기 때문에 직선적인 형태의 보조기구를 사용하여 실험을 행하였다.

보조기구의 직경 및 길이 변경에 의한 실험과 기

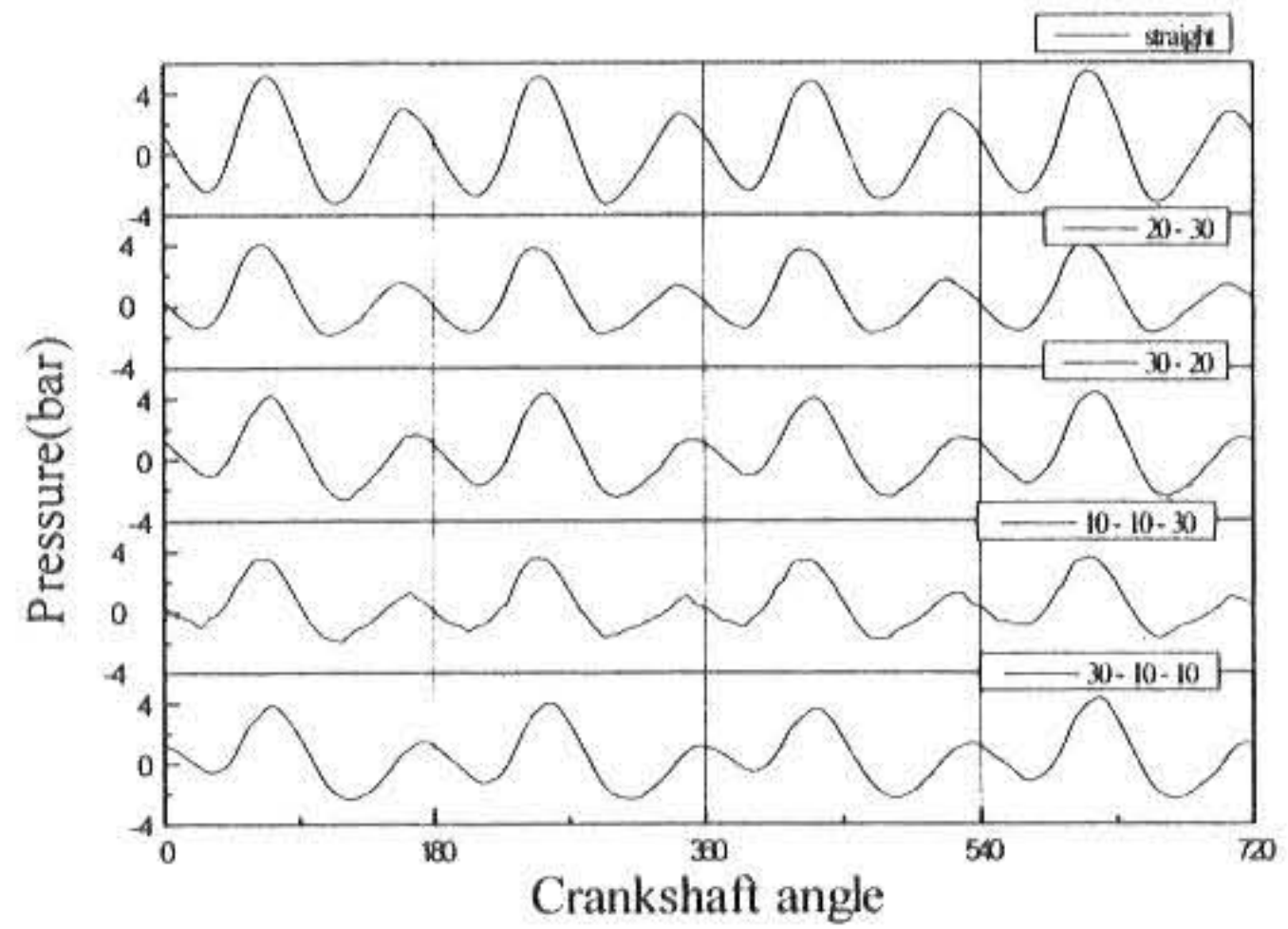


Fig.3.6 Pressure fluctuations according to the configuration of assistant device at the 2500 rpm, - 150mmHg

하학적 형상 변경에 의한 실험을 통하여 최종적으로 내경 6mm, 길이 500mm, 직선형태의 보조기구가 가장 적절하다고 판정하였다. 따라서 이와 같은 보조기구를 사용하여 기관이 정상적인 연소를 행하는 경우와 기관의 이상연소의 하나인 실화가 발생한 경우에서의 압력 파형을 비교하여 보았다.

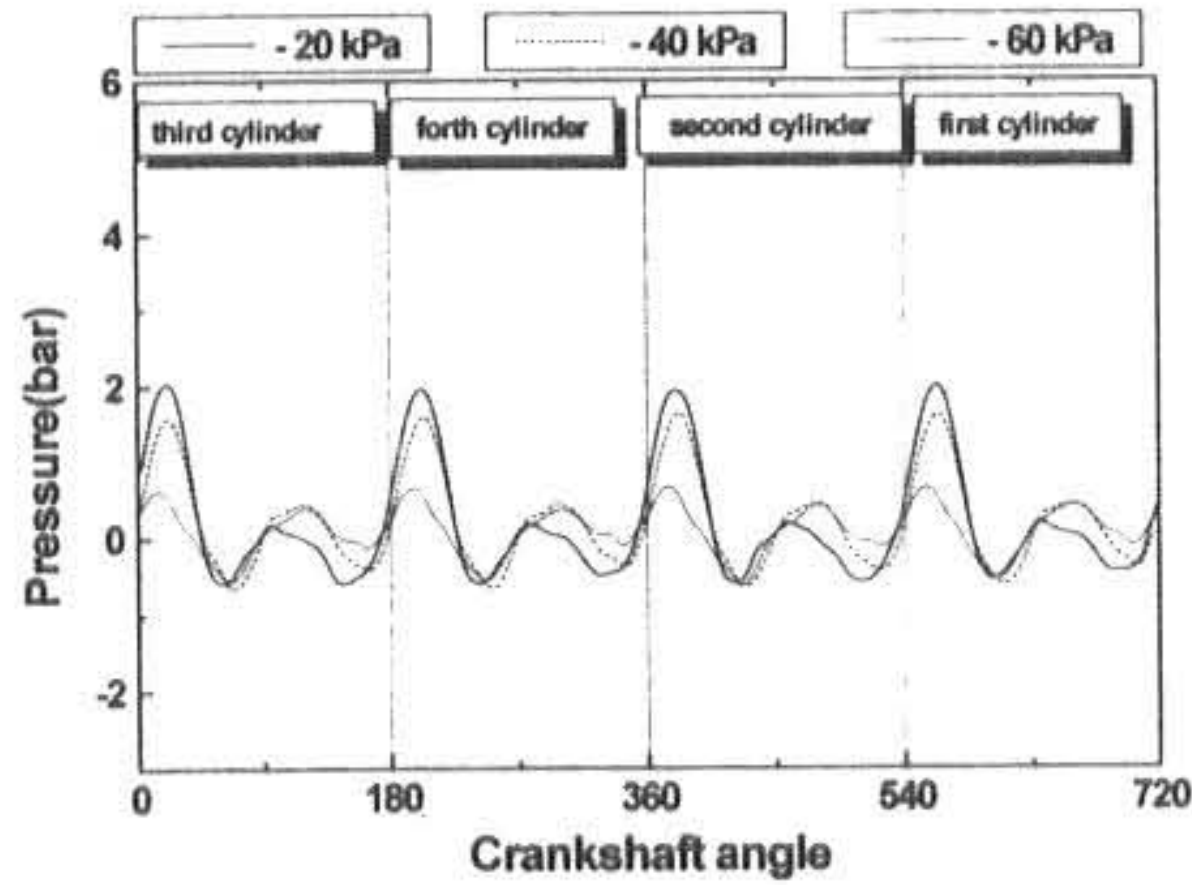
3.4 정상적인 연소를 행하는 기관에서의 압력 파형

Fig.3.7은 기관의 회전수가 1500 rpm일 때 3원 축매 직후에서 길이가 500mm인 보조기구를 장착했을 때와 장착하지 않았을 경우를 비교한 압력 파형으로 (a)는 보조기구를 장착하지 않았을 때, (b)는 보조기구를 장착한 경우에서 부하 변동에 따른 배기 압력 파형을 나타낸 것이다.

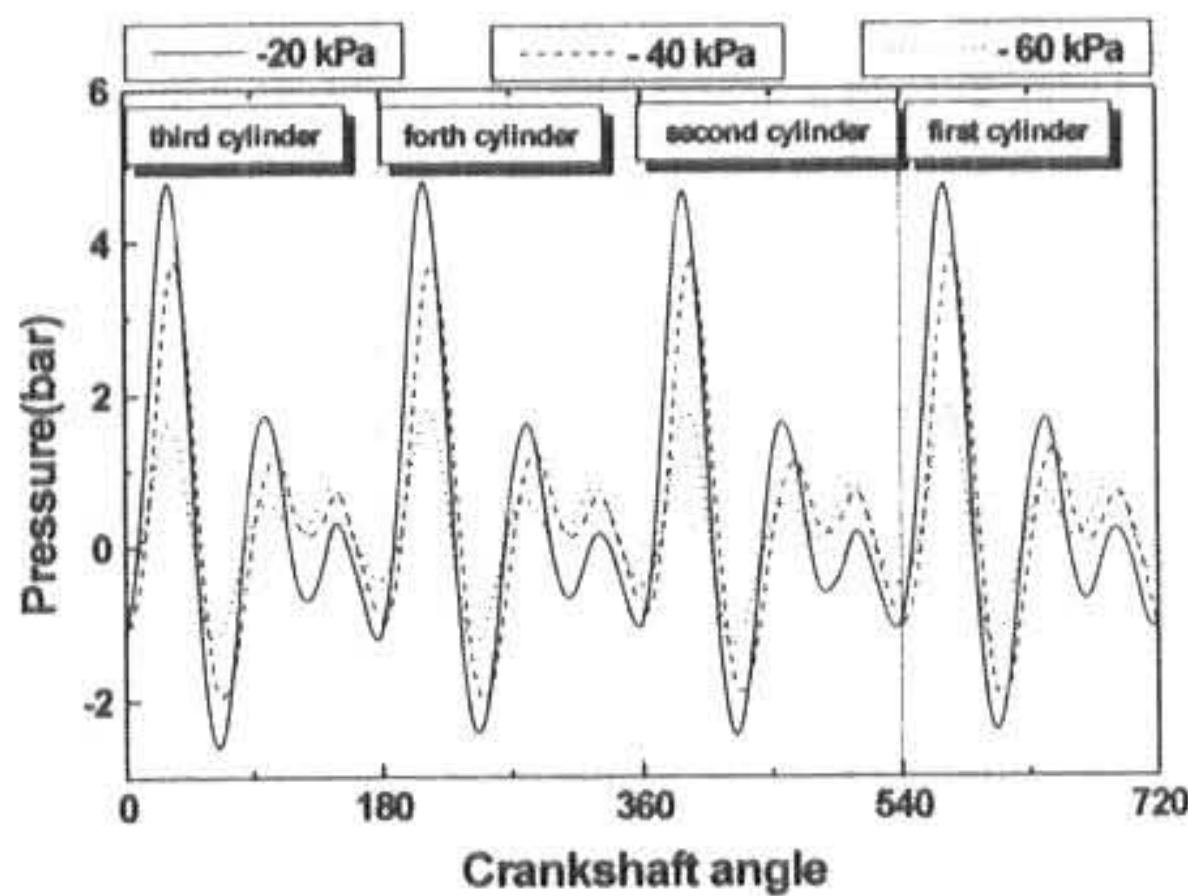
Fig 3.1에서 기관의 부하가 작은 - 60 kPa의 경우는 드로틀 밸브의 개도량이 작기 때문에 흡기 다기관에 압력이 낮아 각각의 실린더 내로 유입되는 공기-연료 혼합기량도 적기 때문에 연소가 일어나게 되더라도 발생하는 배기 가스의 양은 그렇게 많지 않기 때문에 배기 밸브 개방 직후의 블루다운에 의한 1차 압력 파형도 약하게 나타나게 된다.

그러나 기관의 부하가 증가하게 되면 실린더 내로 유입되는 혼합기량이 많아지기 때문에 연소에 의한 압력과 배기 가스의 양이 많아지기 때문에 블루다운에 의한 1차 압력 파형이 크게 증가된다.

일반적인 가솔린 기관의 경우 블루다운은 배기 과정 중 피스톤이 하사점에 도달하기 전인 하사점 전 40-50° 개방되어 각 실린더에서 배출되는 배출가스의 70%정도가 배출되며, 압력 파형을 형성하게 되는데, 블루다운에 의한 1차 압력 파형이 각 실린더의



(a) without the assist device



(b) with the assist device

Fig.3.7 Pressure fluctuations of the healthy combustion at the 1500 rpm of engine speed

배기 밸브가 개방되는 시점에서 최고 압력이 형성되지 않고 약간 뒤에서 형성되는 것은 기관의 부하와 회전수 증가에 의한 배기 가스의 속도 증가보다는 크랭크축의 회전속도 증가가 더 크기 때문에 압력 파형이 형성되는 시점이 지연되는 것으로 사료된다.

Fig 3.7의 보조기구를 장착한 (b)의 경우가 (a)보다 높은 배기 압력 파형이 형성됨을 볼 수가 있는데 이는 보조기구를 설치함에 따른 반사파 등에 의해 압력 파형이 기존의 배기 압력 파형보다 높게 나타나는 것으로 사료된다.

3.5 실화가 발생된 기관에서의 압력 파형

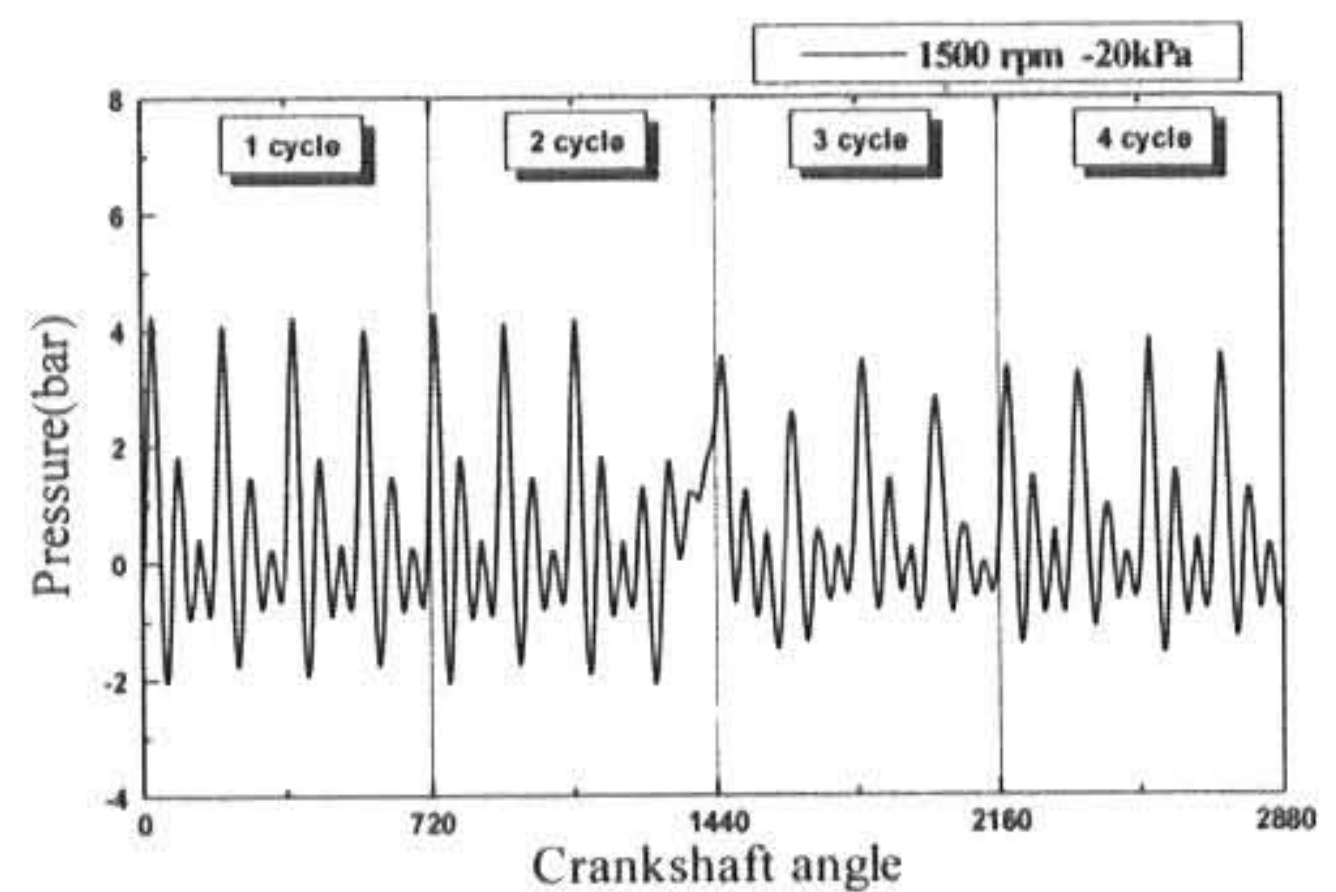
3.5.1 정상 연소 중 순간적 실화

Fig.3.8과 Fig.3.9는 정상적인 연소를 하는 기관에서 점화 계통 및 연료 공급 계통의 불량에 의해 특정 실린더가 순간적으로 실화가 일어난 경우의 배기계에서의 압력 파형을 나타냈다.

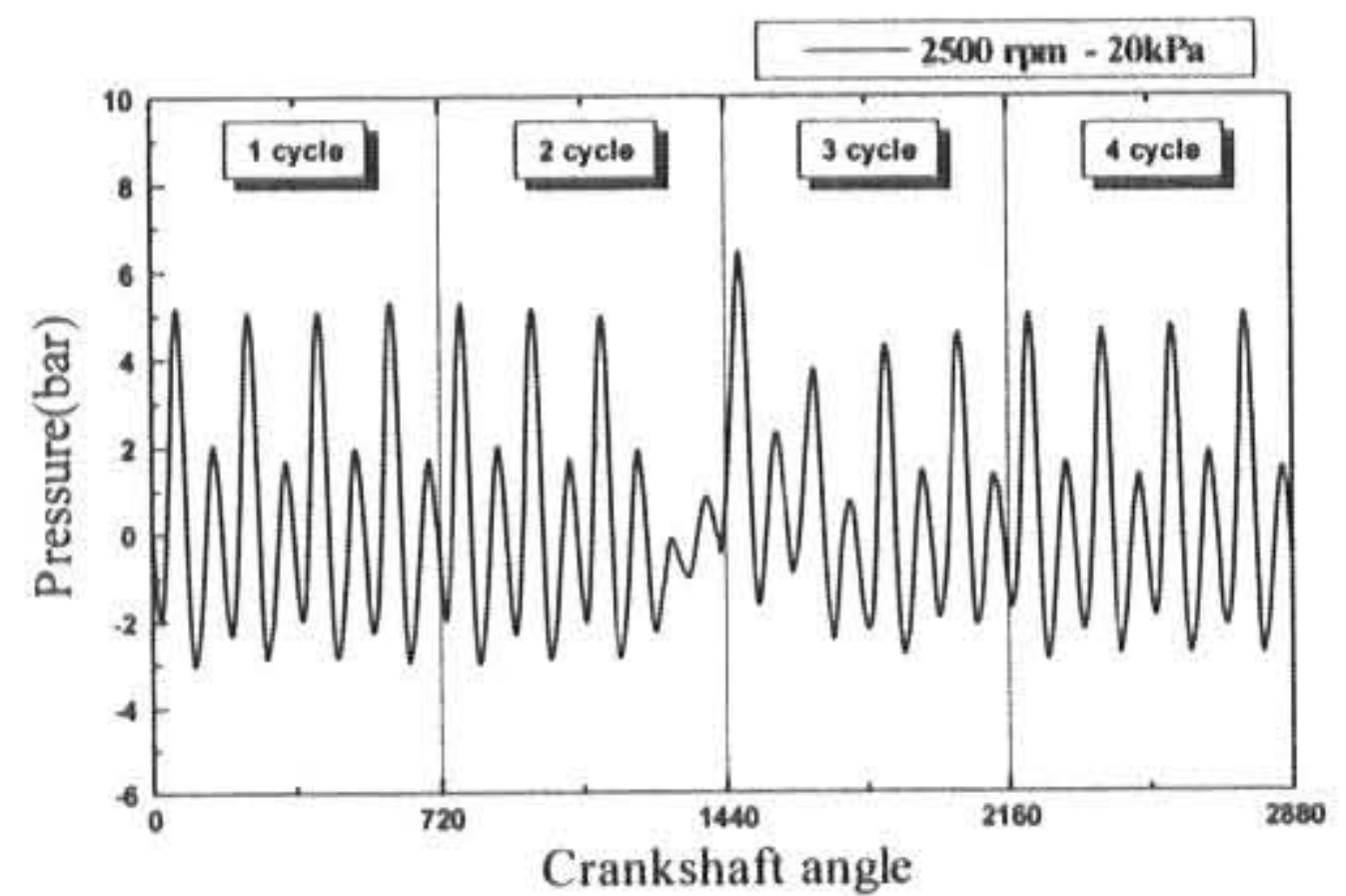
이러한 경향은 기관의 회전수가 증가하는 경우에서도 유사한 경향을 나타내고 있다.

특정 실린더에서 실화가 발생되면 연소에 의한 압력이 형성되지 못하기 때문에 배기 행정 기간에 배출되는 블루다운이 거의 없어지기 때문에 블루다운에 의한 1차 압력 파형이 형성되지 않음을 확인할 수 있다.

그러나, 기관의 실험 조건이 일정 회전수 모드로 실험을 행하고 있기 때문에 실화가 발생된 실린더에서 손실된 출력을 회복하기 위하여 다음 실린더에서 출력이 보상되고 있음을 볼 수 있다.



(a) 1500 rpm, - 20 kPa



(b) 2500 rpm, - 20 kPa

Fig.3.8 Pressure fluctuations of the first cylinder momentarily misfired as the intake boost pressure varied

3.5.2 연속 단수 실린더 실화

Fig.3.9에서는 기관의 회전수가 1500rpm에서 1번 실린더에 연속적으로 실화를 발생시켰을 때의 압력 파형을 나타낸 것이다. 순간적으로 실화가 발생한 경우와 같이 정상연소를 행하는 실린더에서는 1차

압력 파형이 형성되고 있으나 실화를 일으킨 실린더에서는 연소에 의한 압력이 형성되지 못하기 때문에 블루다운에 의한 1차 압력 파형은 형성되지 않음을 확인할 수 있다.

또한 실화가 발생된 실린더의 동력을 보상하기 위하여 ECU가 다른 실린더에 더 많은 연료를 분사하도록 제어하므로 정상 연소를 행하는 기관에서의 압력 파형과 비교하여 실화가 연속적으로 발생된 기관의 정상 연소 실린더에서의 압력 파형이 더 높게 나타남을 볼 수 있다.

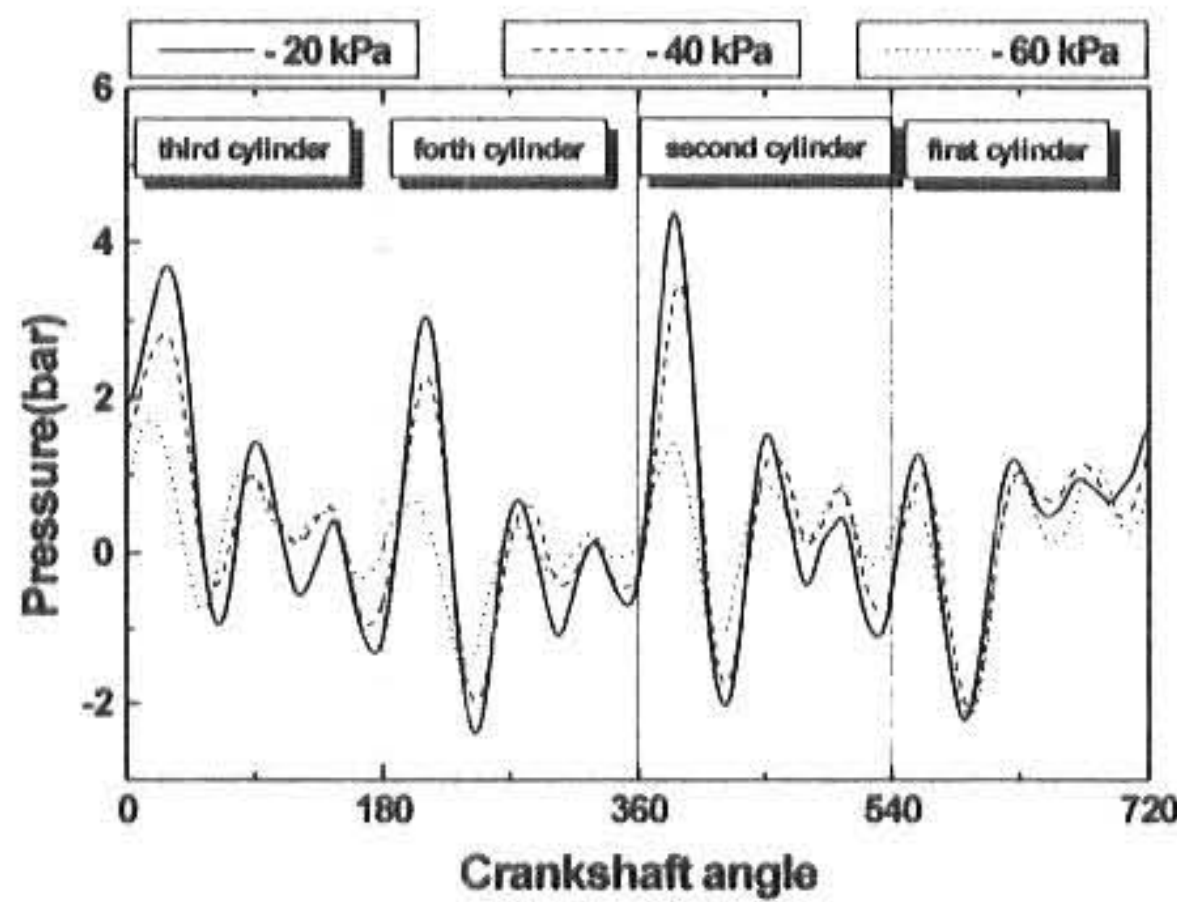


Fig.3.9 Pressure fluctuations of the first misfired cylinder in the assist device at the engine speed of 1500 rpm

이와 같은 경향은 기관의 회전수가 증가하고 부하가 증가할수록 더욱 선명하게 나타나고 있다.

3.5.3 연속 복수 실린더 실화

Fig.3.10은 1500 rpm에서 1번 실린더와 4번 실린더에 대칭적으로 실화를 일으킨 기관에 대해 배기계에서의 배기 압력 변동 특성을 나타낸 그래프이다.

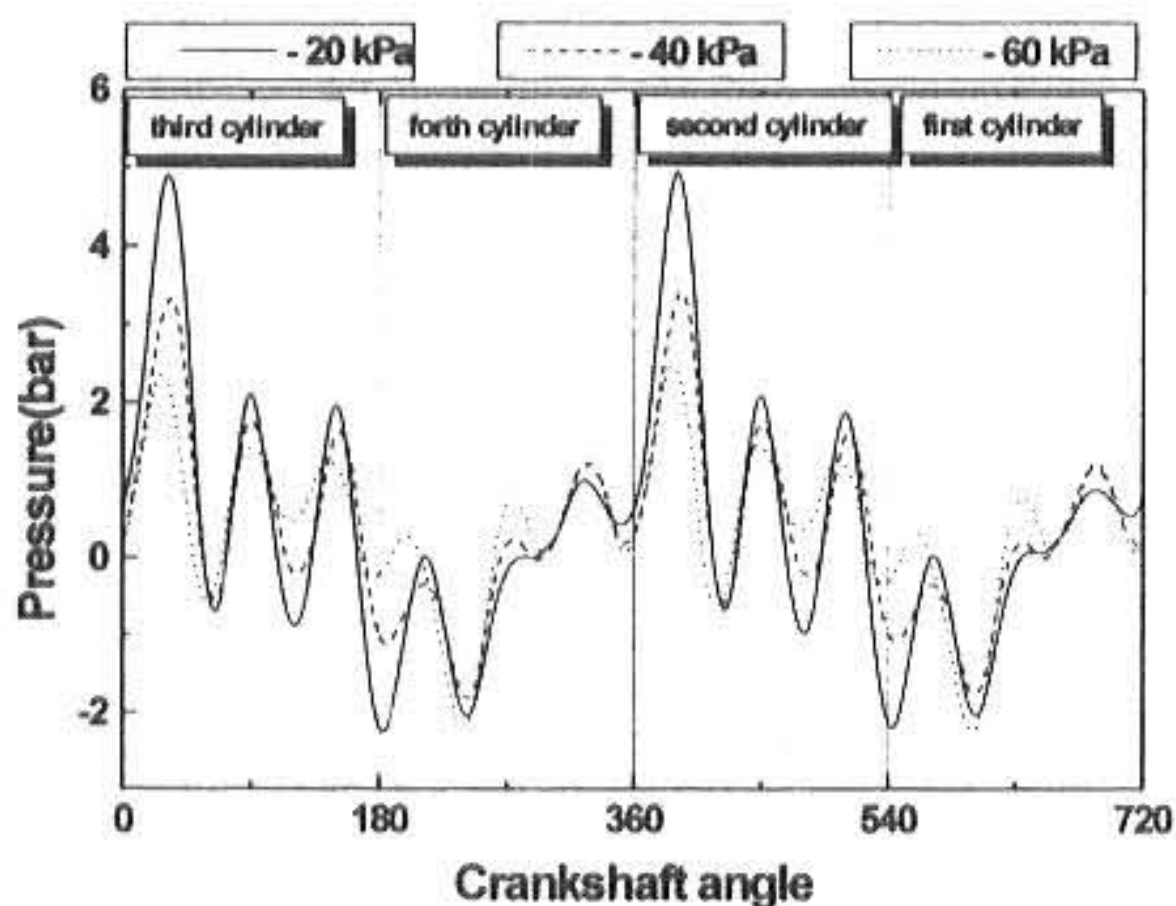


Fig.3.10 Pressure fluctuations of the first and fourth misfired cylinder in the assist device at the engine speed of 1500 rpm

4개의 실린더 중 동시에 2개의 실린더에 실화가 일어나므로 실화-정상-실화-정상 연소를 반복하는 360°를 주기로 압력 파형이 형성되고 있으며, 단수 실화의 경우와 같이 실화가 발생된 실린더에서의 블루다운에 의한 1차 압력 파형이 형성되지 않는 것을 확인할 수 있다.

3.5.4 가 감속 조건에서의 실화

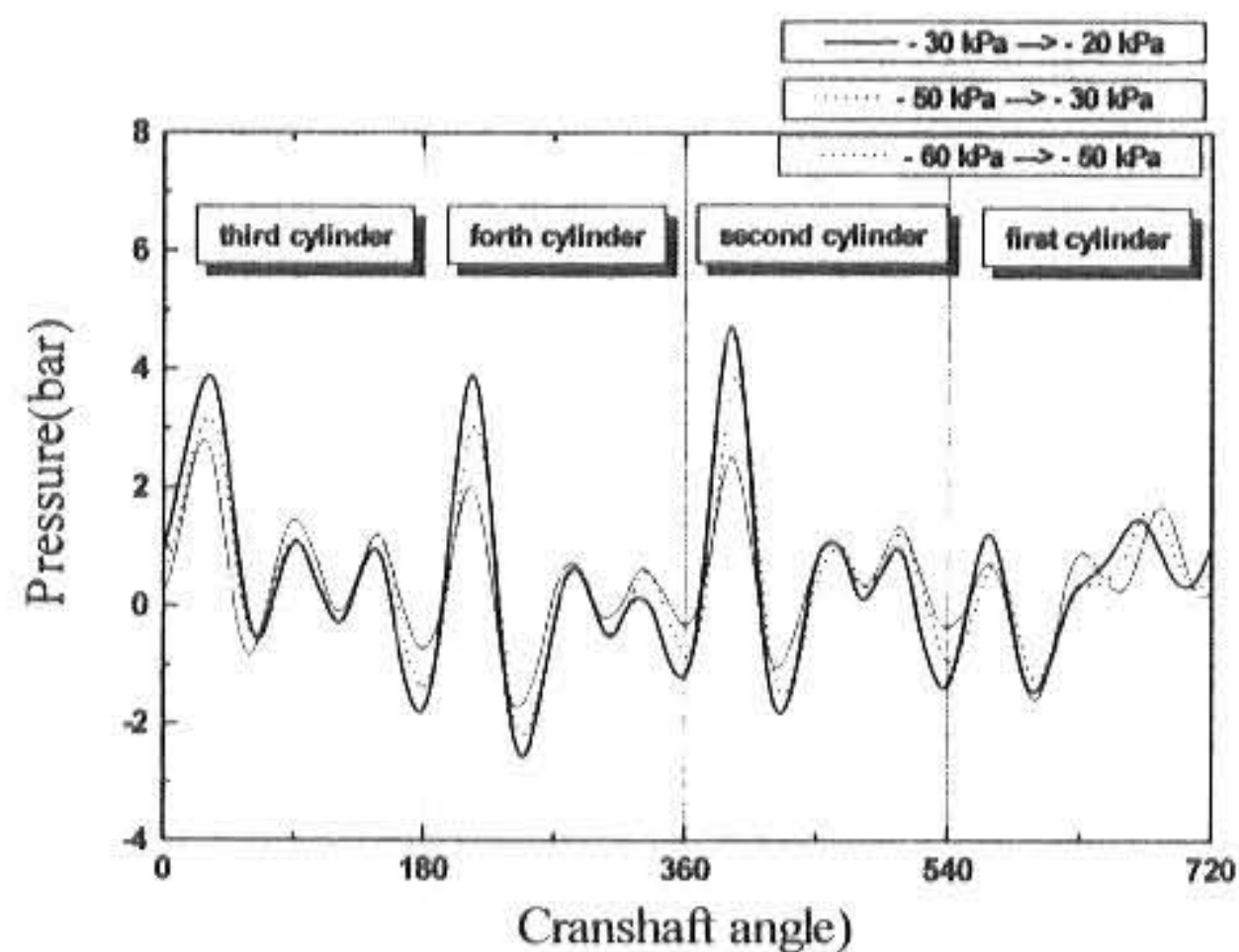
Fig.3.11은 기관의 회전수가 1500 rpm의 경우에서 1번 실린더에서 연속적으로 실화가 발생하는 조건으로서 기관의 부하가 증가하거나 감소함에 따른 배기 압력 파형의 변동을 나타낸 것이다.

기관의 부하가 증가하거나 감소하는 경우에서도 특정 실린더에서 실화가 발생되면 실린더내의 연소 압력이 형성되지 못하기 때문에 블루다운에 의한 1차 압력 파형은 형성되지 못한다.

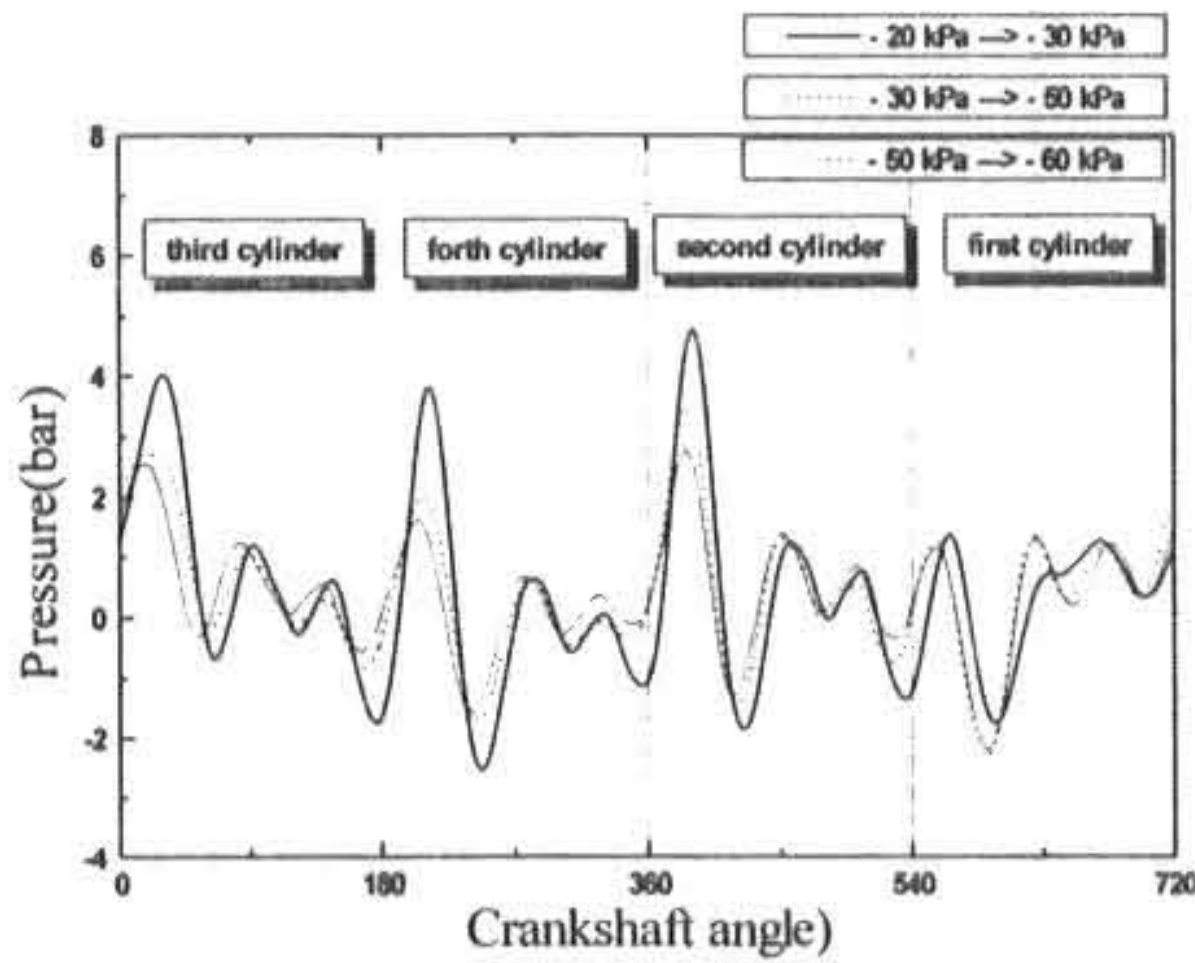
이와 같은 현상은 부하가 일정하고 회전수가 증가하거나 감소하는 경우에서도 유사한 경향을 나타내고 있다.

정상적인 연소를 하는 기관에서 여러 가지 이유에 의해 특정 실린더 내에서 실화가 발생하면 blowdown 기간중의 1차 압력 파형은 나타나지 않고 피스톤의 상승운동에 의한 압력 파형만 나타나기 때문에 1차 압력 파형을 분석하여 실화를 판정할 수 있다.

본 연구에서는 배기 압력을 이용하여 실화를 검출할 수 있는 여러 가지 방법들이 이와 같은 보조기구를 사용하면 더 명확하게 실화를 검출할 수 있을 것으로 사료된다.



(a) as the intake boost pressure decreased



(b) as the intake boost pressure increased

Fig.3.11 Pressure fluctuations as the first cylinder misfired and the transient operation condition at the engine speed of 1500 rpm

4. 결론

본 연구는 4행정 4실린더 MPI 가솔린 기관의 배기계에 다양한 형태의 보조 장치를 설치하여 보조기구의 직경과 길이 및 기하학적 형상 변경에 따른 배기 가스의 압력 파형을 분석하고 정상연소를 하는 실린더와 이상연소를 하는 실화 실린더에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 보조기구의 기하학적 형상은 직경 및 길이의 변경에 비하여 배기 압력 파형에 영향을 크게 미치지 않는다

- (2) 보조기구의 설치에 의해 기관에서 발생하는 진동 및 고온의 배기 가스에 의한 손상을 막을 수 있다.
- (3) 보조기구를 이용하면 이상 연소의 하나인 실화검출에 유용하게 사용할 수 있다.

참고 문헌

- 1) 심국상, 복중혁, 김세웅 : 배기계 압력 변동을 이용한 가솔린 기관의 실화 검출-단수 실린더 실화, 한국자동차공학회 논문집, 제6권, 제6호, pp.210-217, (1998)
- 2) 심국상, 복중혁, 김세웅 : 배기관 내 압력 변동 분석에 의한 가솔린 기관의 실화 검출, 한국자동차공학회 논문집, 제7권, 제5호, pp.1-8, (1999)
- 3) 복중혁, 심국상, 김영일, 김세웅 : 가솔린 기관의 실화 검출에 관한 연구, 대한기계학회 경북지부 춘계학술대회 논문집 KSME 98R322, (1998)
- 4) 심국상 : 가솔린 기관의 배기 압력을 이용한 실화 검출에 관한 연구, 금오공대 공학박사 학위 논문, (1999)
- 5) 최민호, 심국상, 김세웅 : 배기 압력 상승률을 이용한 실화 검출, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp. 74-80, (2001)

(2003년 6월26일 접수, 2003년 11월20일 채택)