

압축기-연소실 일체형인 리니어엔진의 스프링 강성에 따른 연소 및 동적 특성 연구

이재원¹ · 오용일¹ · 김강출² · 임옥택^{3†}

¹울산대학교 기계자동차공학과 대학원, ²한국에너지기술연구원, ³울산대학교 기계자동차공학부

The Experimental Research for the Combustion and Dynamic Characteristics of the Linear Engine on the Variable Spring Stiffness

JAEWAN LEE¹, YONGIL OH¹, GANGCHUL KIM², OCKTAECK LIM^{3†}

¹Graduate of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan University, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan 680-749, Korea

²Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-343, Korea

³Department of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan University, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan 680-749, Korea

Abstract >> This study was experimentally investigated on the effects of spring stiffness applied to linear compressor chambers. The springs prevented piston head from colliding with engine cover, stored the kinetic energy and regenerated the kinetic energy. The linear engine has two combustion chambers and four compressor chamber. The combustion chamber bore size was 30 mm, maximum stroke was 31 mm and effective stroke volume was 25.45 cc respectively. The spring stiffness was varied such as 0, 0.5, 1.00, 2.9 and 14.7 N/mm. The linear engine was fueled with premixed LPG (propane 99%) and air by pre-mixture device. As an experimental result, The stroke, piston velocity and the piston frequency were increased by high spring stiffness. Also, thermal efficiency was grown because the increased stroke made the higher compression ratio. In conclusion, electric power and efficiency were improved.

Key words : Linear engine(리니어 엔진), Linear generator(리니어 발전기), Spring stiffness(스프링 강성), Combustion(연소), Dynamic characteristics(동적 특성)

Nomenclature

V_p : Piston velocity, m/s
 P_c : In-cylinder gas pressure, MPa
 V_{pmav} : Piston maximum average velocity, m/s
 V_{pav} : Piston average velocity, m/s

Subscripts

TDC : Top dead center
BDC : Bottom dead center
COV : Coefficient of variation
LPG : Liquefied petroleum gas
IMEP : Indicated mean effective pressure
ECU : Electric control unit
DC : Direct current

[†]Corresponding author :

[접수일 : 2012.09.18 수정일 : 2012.10.17 게재확정일 : 2012.12.31]

Copyright © 2012 KHNES

1. 서 론

리니어 엔진은 1928년 R.P Pescara에 의해 싱글 피스톤 공기압축기용 엔진으로 처음 제안되었다.¹⁾ 이후 1959년 S.N Baruch에 의해 전기발전을 위한 리니어엔진이 제안되었다²⁾. 리니어엔진은 크랭크샤프트 플라이휠을 비롯한 회전하는 부품이 없는데 그로 인한 불필요한 마찰손실을 줄일 수 있어 더욱 효율적인 일로 전환할 수 있고, 간단한 구조를 통하여 부피 및 무게 감소와 제작비용의 절감이 가능하다. 그러나 각 사이클 마다 TDC가 유동적으로 변하기 때문에 제어가 어렵고³⁾, 차량에 주로 이용되는 왕복동식 내연기관의 특성으로 인하여 회전운동을 하지 않아 상대적으로 리니어엔진은 연구가 많이 이루어지지 않았다.

하지만 최근 들어서 배터리의 에너지 밀도 및 출력밀도를 보완하기 위하여 리니어 엔진을 채용하는 파워팩 연구와 리니어엔진의 컨셉⁴⁾, 리니어엔진의 기초적인 시뮬레이션^{5,6)}, 리니어 엔진 제어방법⁷⁾, 출력향상을 위한 연구⁸⁾ 등이 활발하게 연구가 진행되고 있다.

리니어엔진은 링크구조를 가지지 않고, 플라이휠 또한 없기 때문에 피스톤헤드가 실린더 커버와 충돌할 가능성이 크고, 오직연소의 힘으로만 엔진이 작동한다.

이를 극복하기 위하여 스프링을 장착하여 피스톤이 헤드커버와 충돌할 때 충격을 줄이고 스프링이 가지는 복원력으로 플라의 휠의 역할을 하게하는 연구가 있다^{8,9)}.

리니어엔진은 스프링이 없을 때에는 피스톤이 오직 연소의 힘으로만 움직이나 스프링이 장착되면 피스톤이 압축을 할 때, 스프링강성에 의해 저장된 에너지가 연소시에 연소압력과 함께 피스톤의 움직임을 도와 스프링이 없을 때 보다 속도나 프리퀀시가 빨라지게 되고, 그 결과 연소특성과 동적특성에 영향을 미친다. 그러나 지금까지의 연구에서는 다양한 스프링의 강성에 따른 리니어엔진의 연소특성과 동적특성에 대한 연구가 활발히 진행되지 않았다.

Table 1 Specification of linear engine

Number of cylinder	2
Bore [mm]	30
Maximum stroke [mm]	31
Maximum effective stroke [mm]	18
Reciprocating mass [kg]	0.8
Maximum effective compression ratio	23.59
Clearance height(at max. TDC)	0

이에 따라서 본 연구에서는 병렬형으로 압축기를 가지는 리니어엔진¹⁰⁾을 이용하여 압축기 내에 장착할 수 있는 스프링의 강성의 변화가 피스톤의 행정거리, 속도, 주파수와 같은 동적특성 및 연소효율, 압력이력과 같은 연소특성에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 조사했다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 리니어엔진

Fig. 1은 리니어엔진 및 실험구성요소에 대한 개략도이며 리니어엔진은 그림중앙에 단면으로 나타내었다. 실험에 사용된 엔진은 피스톤 양쪽에 연소실을 가지고 있으며 연소실과 병렬형으로 압축기를 가지고 있다.

압축기 피스톤은 연소실피스톤과 연결되어 있고, 압축기에는 스프링이 장착이 가능하다 압축기 흡기부에 리드밸브를 장착하여 피스톤의 움직일 때, 연소실로 공기를 원활히 공급할 수 있는 구조이다. 그러나 이번실험에서는 압축기를 이용한 공기공급은 하지 않았다.

양쪽 연소실은 각각 25.45cc의 최대유효행정체적을 가지며, 상세제원은 Table 1에 나타냈었다. Fig. 3에 연소실 실린더의 한쪽 단면을 상세히 도시하였다. 피스톤 위치의 기준점은 피스톤이 압축시에 도달할 수 있는 최대거리인 헤드커버의 하부를 기준점(0)으로 정하였고, 이를 최대 TDC으로 정했다. 최대 하사점은 반대편 피스톤이 최대 BDC인 위치로 되었다. 흡기포

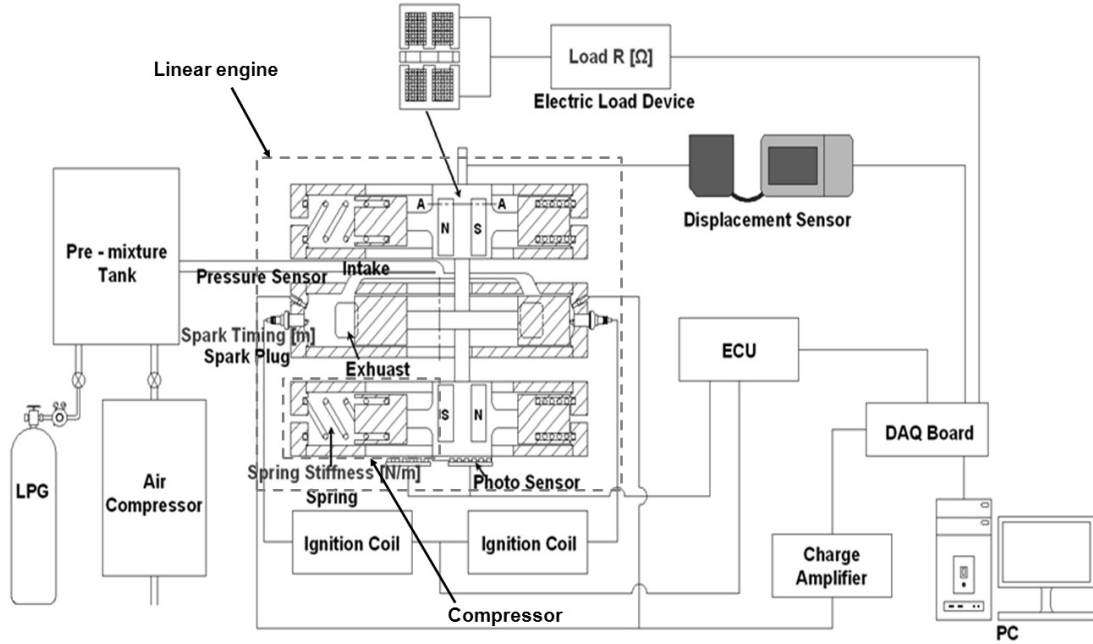


Fig. 1 A schematic diagram of the experimental apparatus

트는 연소실의 양쪽 측면에 13×15mm의 크기를 가지고 있으며, 배기포트는 연소실의 상단부에 15×20mm 크기로 위치해 있다. 공기 압축기는 직경이 30mm로 연소실과 병렬로 배치되어 있고, 연소실피스톤과 공기압축기 피스톤이 연결되어 있다. 연소실에 스프링이 있는 경우 연소실의 체적을 감소시켜 출력의 감소를 가져오고 내열 내압성을 갖는 재료를 구하기 어렵기 때문에 연소실과 병렬로 있는 압축기에 스프링을 적용하였다.

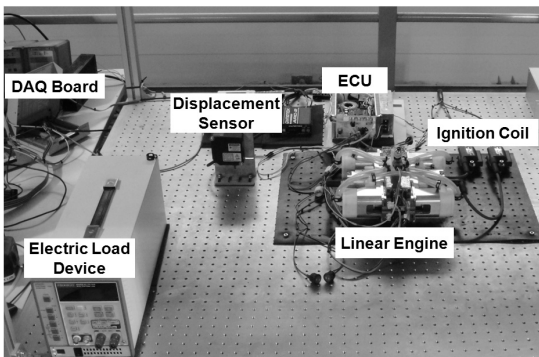


Fig. 2 Experimental system

Fig. 2는 실제실험 시스템의 모습이며 크게 리니어엔진부와 점화시스템, ECU, 부하기, DAQ보드로 구성된다.

2.2 리니어엔진 구동 및 데이터 취득

리니어엔진의 제어는 모터링 제어와 연소시의 점

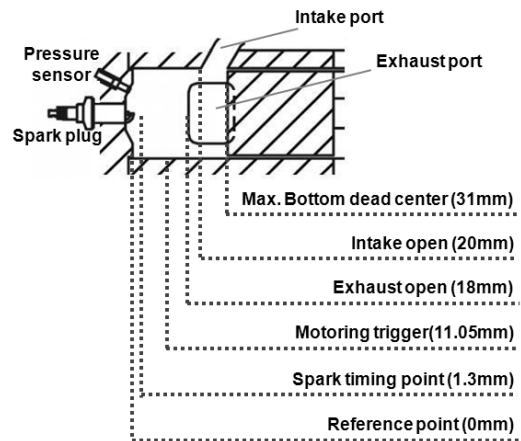


Fig. 3 A cross section of the combustion chamber

화제어로 나뉜다. 모터링은 DC 24V 외부전원을 이용하여 발전기에 전원을 공급하면 피스톤이 플레밍의 왼손 법칙에 의해 한쪽 방향으로 움직이게 된다. 이때 반대쪽 실린더에서 Fig. 3에서 나타낸 모터링 트리거지점(11.05mm)에서 피스톤의 위치를 광투과센서(SHARP GP1S092HCPIF)로 피스톤위치정보를 취득하였고, 이 정보를 이용하여 24V 외부전원을 역극으로 공급하여 피스톤이 반대쪽으로 움직이게 되었다.

점화 시기는 광투과센서로부터 취득된 피스톤의 위치정보(1.3mm)를 ECU가 받아 연소실에 점화를 한다. 연소실에 연소가 발생하는 것을 피스톤속도로 확인하고 기전력을 발생시키는 외부전원의 공급을 중단 시킨다.

리니어엔진에서 피스톤의 위치 측정은 광투과센서와 광학변위센서(KAIS사의 CD5-W350)를 이용하여 측정되었다. 광투과센서는 특정 피스톤 위치만 측정이 가능하여 모터링 및 점화시기 제어에 활용하였고, 광학변위센서는 연속적으로 피스톤의 변위 측정이 가능하여 실험 후 분석을 위한 피스톤의 체적을 계산하는데 활용되었다.

엔진 연소실의 압력은 압전효과를 이용하는 압력센서(KISTLER사의 Pressure Sensor 6052C)에서 측정 후 증폭기(KISTLER사의 Charge amplifier 5018A)에서 증폭시켜 데이터로거를 활용하여 PC에 저장되었다.

제너레이터부에서 발생하는 전류는 직류변환기(PRODIGIT사의 Electric load 3260A)를 통해 정류하여 측정을 되었다.

2.3 실험조건

연료는 가정용LPG(프로판 98%)를 공기와 예혼합

Table 2 The kind of spring stiffness

No.	d [mm]	Min Length [mm]	Stiffness [N/mm]
1	-	-	0
2	1.6	17.6	0.5
3	1.9	21.4	1
4	2.3	19.0	2.9
5	3.2	25.5	14.7

시키기 위하여 자체 제작한 예혼합기가 사용되었다. 투입열량은 각각 5.03kJ/s, 5.74kJ/s, 6.46kJ/s, 7.17kJ/s로 변화시켰고, 예혼합기에서 공기와 연료 흡입압력을 변화시켜 투입열량과 당량비를 1.1로 일정하게 공급하였다. 투입열량이 5.03kJ/s이하에서는 원활한 작동이 되지 않았다.

본 실험에서는 압축기 내부에 넣는 스프링의 강성을 0, 0.5, 1, 2.9, 14.7N/mm로 가변 시켜 실험을 하여 스프링의 강성이 변할 때 리니어엔진에서 연소특성과 동적특성을 알아보았다. 스프링의 상세 제원은 Table 2에 나타내었고 스프링의 재질은 SWP-A이다.

2.4 영향도 인자

스프링 강성에 의해 생기는 스프링복원에너지가 리니어엔진의 동적 및 연소 특성에 미치는 영향을 영향도 차트로 Fig. 4에 표현하였다. 스프링강성이 증가하면 피스톤이 스프링에 많은 에너지가 저장되고 연소시에 저장된 에너지가 복원력으로 작용하여 피스톤의 속도가 증가하게 된다. 피스톤 속도가 빨라지면 피스톤의 프리퀀시와 스트로크가 증가한다. 스트로크의 증가는 엔진연소시 높은 압축비에서 형성시켜 연소초기압력을 증가시키고, 이에 따라 열

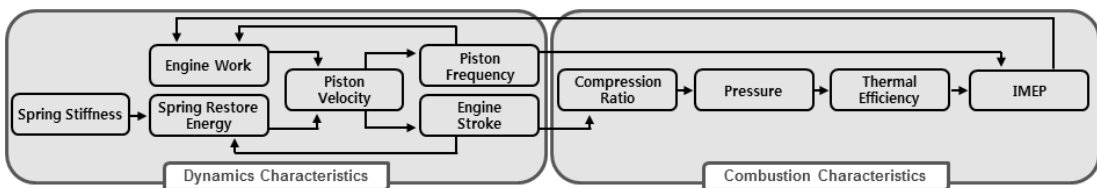


Fig. 4 Effects flow chart

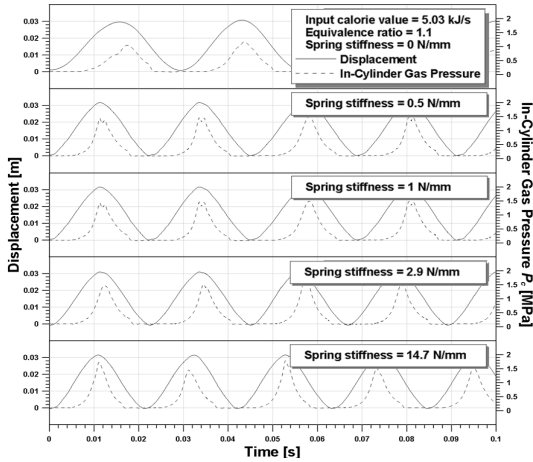


Fig. 5 The effect of spring stiffness on displacement - time

효율이 높아지고 IMEP가 증가한다.

결과적으로 엔진의 일의 양이 많아지고 많아진 일의 양은 피스톤의 속도를 증가시킨다. 피스톤의 속도가 빠르면 피스톤 프리퀀시 또한 빨라지게 되고, 제너레이터에서는 피스톤의 프리퀀시와 속도에 영향을 받기 때문에 피스톤의 프리퀀시와 속도가 빨라질수록 전기 출력이 증가한다.

3. 실험 결과

3.1 스프링 강성에 따른 사이클 특성

Fig. 5는 스프링 강성에 따른 사이클 특성을 0~0.1sec 까지 보여주고 있다. 스프링강성은 0, 0.5, 1, 2.9, 14.7N/mm 로 각각 변화시켰다. 이때, 투입열량은 5.03kJ/s로 고정 하였고 변위와 실린더 내부 압력 데이터는 2초간 취득하였다. 스프링의 강성이 0N/mm 일때 행정거리가 29.3mm이고 0.5N/mm 일때 31.6mm, 1N/mm 일때 31.6mm, 2.9N/mm 일때 31.7mm, 14.7 N/mm 일때 31.9mm 로 측정 되었다. 스프링강성이 0N/mm 에서 0.5N/mm 로 증가 될 때는 행정거리가 2.9mm 만큼 증가되지만, 스프링강성이 0.5N/mm 일 때 이미 설계상의 최대행정거리가 되기 때문에 이후 스프링강성이 증가하여도 더 이상 행정거리의 증가

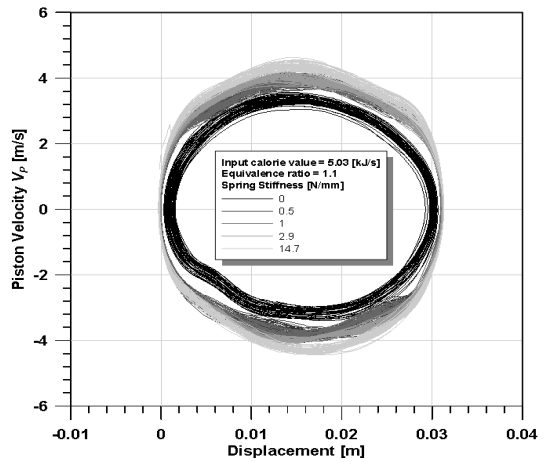


Fig. 6 The effects of spring stiffness on piston velocity - displacement

가 거의 없다. 행정거리의 변동계수를 표준편차÷평균으로 계산한 결과 스프링을 적용하지 않은 경우 0.0199 로 가장 컸고 스프링을 적용했을 때 0.001~0.002 로 나왔다.

3.2 스프링 강성에 따른 속도 - 변위 변화

Fig. 6은 스프링의 강성에 따른 피스톤 속도 및 변위의 상관관계를 보여준다. 스프링의 강성이 0, 0.5, 2.9 14.7N/mm 로 증가할수록 전체적으로 피스톤의

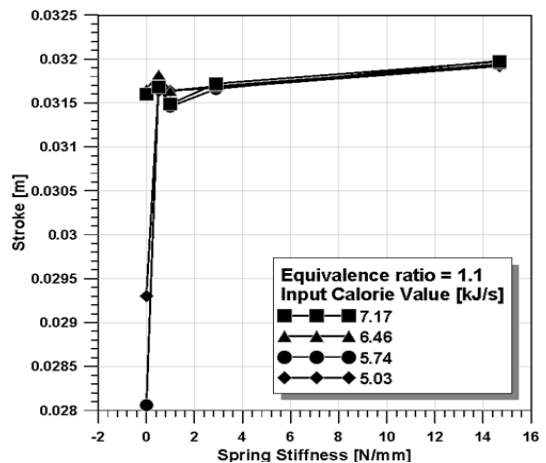


Fig. 7 The effect of spring stiffness on stroke

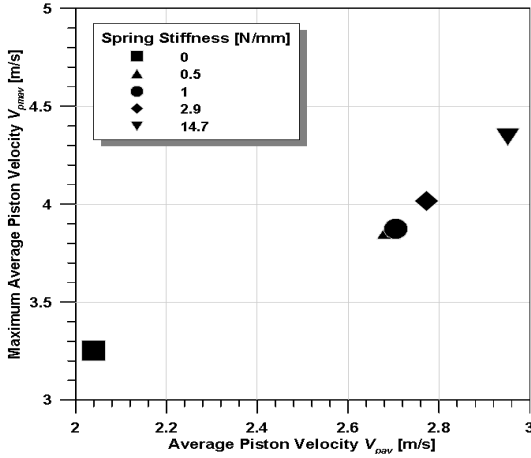


Fig. 8 The effects of spring stiffness on maximum average piston velocity - average piston velocity

속도와 최대속도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 7에서 투입열량이 낮아 스트로크가 최대 스트로크에 가깝게 나타나지 않았을 때 압축기에 장착된 스프링의 강성이 증가하면 스트로크가 증가하였다. 이 현상은 피스톤의 운동에너지를 스프링이 저장하여 피스톤이 반대편으로 운동할 때 회생작용을 하였기 때문이다. 그 결과 엔진 연소에 큰 영향을 미치는 압축비가 증가해서 엔진연소효율이 증가했을 것이다. 하지만 이후 스프링 강성과 투입열량이 증가하여도 피스톤의 최대변위는 거의 일정하다. 이러한 현상은 투입열량과 스프링강성의 회생작용에 의해 이미 설계상의 최대 행정거리가 되었기 때문이다. 그래서 이후 스프링강성이 0.5~14.7N/mm로 증가할 때 피스톤의 속도는 점차 증가되었다. Fig. 8은 스프링의 강성이 변할 때 최대평균속도와 평균속도에 대하여 나타낸 그림이다. 행정거리가 증가했던 0N/mm에서 0.5N/mm까지는 평균속도가 0.650m/s만큼 증가하였고 최고속도는 0.613m/s만큼 증가되었다. 이후 스프링강성이 증가하고 행정거리는 증가하지 않았던 0.5~14.7N/mm 구간에서는 스프링강성이 증가하여 스프링이 저장할 수 있는 에너지가 증가하고, 저장한 에너지가 증가한 만큼 최대평균속도와 평균속도가 증가되었다. 이 때는 행정거리가 거의 증가하

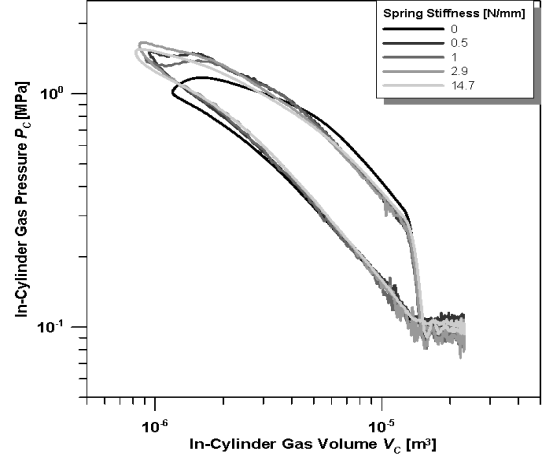


Fig. 9 The effect of spring stiffness on in-cylinder gas pressure - in-cylinder gas volume

지 않았기 때문에 압축비 상승에 따른 효율증대로 속도가 증가하지는 않았다.

3.3 스프링 강성에 따른 실린더 압력 - 실린더 체적 변화

압력과 부피 선도는 엔진 연소 특성과 엔진의 성능을 말해주는 IMEP를 계산하는데 있어 중요하다. Fig. 9는 연소시에 실린더체적에 따른 압력변화를 각 스프링 강성에 따라 나타낸 것이다. 스프링 강성이 0N/mm에서 0.5N/mm로 증가할 때에는 앞서 3.2절에서 언급한 것과 같이 행정거리가 증가하여 압축비가 상승해서 실린더내부 가스압력이 증가했다. 스프링강성이 0.5N/mm 이상일 때에는 행정거리의 증가가 없었기 때문에 최대 압력은 비슷한 값을 보여줬다.

3.4 스프링 강성에 따른 열효율, 피스톤 프리퀀시, IMEP 변화

Fig. 10에서는 스프링강성이 0~14.7N/mm로 변하고 투입열량 5.03, 5.74, 6.46, 7.17kJ/s일 때 열효율을 나타내었다. 투입열량이 5.03kJ/s와 5.74 kJ/s의 경우 0N/mm에서 0.5N/mm로 스프링강성이 증

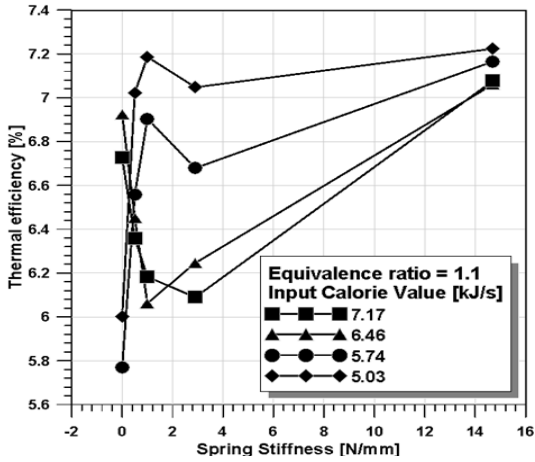


Fig. 10 The effect of spring stiffness on thermal efficiency

가되었을 때 열효율이 증가한다. 이 현상은 앞서 2.6절과 3.2절에서 설명한 것과 같이 스트로크가 증가하여 압축비가 증가하였기 때문에 열효율이 증가하였다. 행정거리의 증가에 의해 압축비가 증가된 두 가지 케이스를 제외하고는 열효율이 감소하다가 2.9N/mm에서 14.7N/mm로 증가할 때 다시 증가하였다.

피스톤 프리퀀시는 엔진일과 스프링 강성에 의해 영향을 받는데 스프링 강성이 커질수록 스프링재생 에너지가 증가해 프리퀀시가 증가 하는 것을 Fig. 11에 나타내었다. 투입열량이 5.03kJ/s와 5.74kJ/s 이고

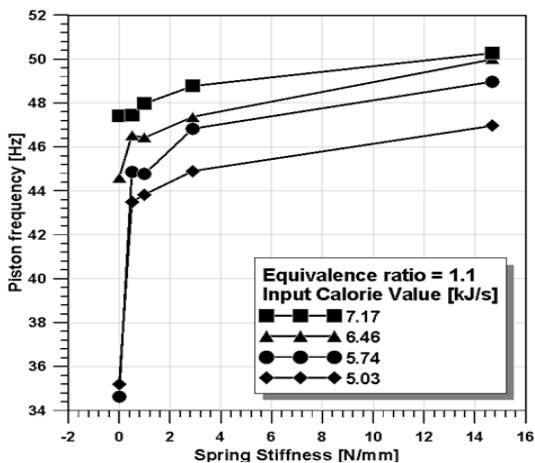


Fig. 11 The effect of spring stiffness on piston frequency

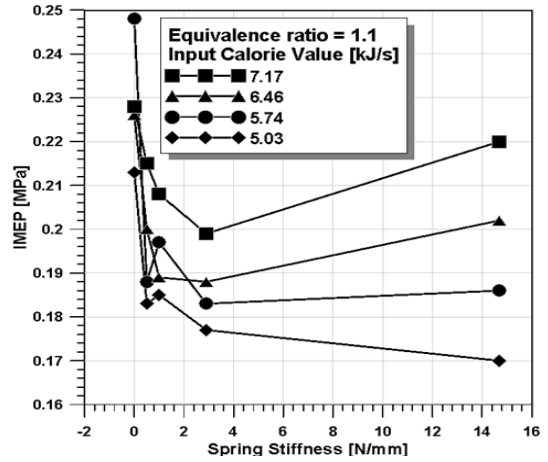


Fig. 12 The effect of spring stiffness on piston IMEP

스프링 강성이 0N/mm에서 0.5N/mm로 증가할 때는 열효율이 급격히 증가하는 것이 Fig. 10에 보여진다. 피스톤 프리퀀시는 열효율의 증가에 의해 엔진일이 많아져서 증가했다. 이후 열효율의 변화가 크지 않을 때에는 스프링강성증가에 의한 스프링재생에너지가 많아져서 피스톤 프리퀀시가 증가했다.

IMEP는 엔진의 성능을 나타내는 값으로 1cycle에서 유효한 압력 값을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 투입열량을 연료의 흡기압력을 조절하여 피스톤 프리퀀시가 바뀌더라도 시간베이스로 동일하게 열량이 투입하였다. 그래서 피스톤 프리퀀시가 빨라지게 되면 cycle당 투입되는 열량이 줄어든다. 그래서 IMEP는 피스톤 프리퀀시가 증가하면 1행정당 투입열량이 감소해서 IMEP가 점차 감소하고, 열효율이 증가하면 증가한다. Fig. 12는 스프링강성에 따른 IMEP 값이다. Fig. 11에서 보면 피스톤 프리퀀시가 점점 증가하고, 열효율은 점점 감소한다. 그래서 IMEP는 감소하는 경향을 보인다. 그리고 투입열량이 5.03kJ/s와 5.74kJ/s 이고 스프링 강성이 0N/mm에서 0.5N/mm로 증가할 때는 열효율이 크게 증가하였으나 피스톤 프리퀀시 또한 크게 증가하여 IMEP는 감소하였다. 그러나 스프링강성이 2.9N/mm에서 14.7N/mm로 증가할 때는 피스톤 프리퀀시는 약간의 증가가 있었으나 열효율은 크게 증가한다. 그래서 IMEP는 열효

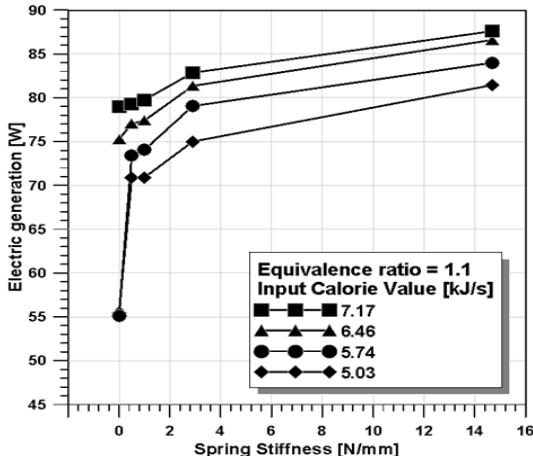


Fig. 13 The effect of spring stiffness on Electric generation

율의 영향을 많이 받아서 비슷한 값을 유지하거나 증가하였다.

3.5 스프링 강성에 따른 전기출력

Fig. 13은 전기적 출력을 스프링 강성에 대하여 나타낸 것이다. 전기적 출력은 최종적으로 Fig. 11에 나타내는 피스톤 프리퀀시와 비슷한 경향을 보인다. 피스톤 프리퀀시는 피스톤 속도에 의해 결정되는데, 피스톤 속도는 스프링재생에너지에 의해 직접적으로 증가했고 간접적으로는 스프링재생에너지가 스크로크를 증가시켜서 열효율이 높아져 엔진이 많은 일을 하게 하여 피스톤의 속도가 증가했다. 투입열량이 6.46kJ/s 이상일 때에는 스트로크 증가가 없기 때문에 의한 전기출력의 급격한 증가가 거의 없고 스프링강성이 저장 회생하는 에너지에 의해서 전기출력이 증가한다.

4. 결 론

본 연구에서는 리니어엔진 공기압축기 내부에 있는 스프링의 강성에 따른 엔진연소특성과 동적특성을 알아보기 위하여 다양한 강성의 스프링을 이용하여 엔진성능시험을 실시하였다.

- (1) 본 연구에서는 리니어엔진의 공기압축기 내부에 있는 스프링의 강성에 따른 엔진연소특성과 동적특성을 알아보기 위하여 다양한 강성의 스프링을 이용하여 엔진성능시험을 실시되었다.
- (2) 스프링강성의 증가는 행정거리 증가 시켰고 행정거리는 압축비를 증가시킨다. 높은 압축비에서 연소는 최대압력과 열효율을 증가시켜 엔진이 더 많은 일을 하였다. 엔진일은 피스톤 속도와 프리퀀시를 증가 시켰고 최종적으로 전기출력이 상대적으로 많이 증가되었다.
- (3) 스프링강성이 증가할 때 스트로크의 증가가 거의 없을 때에도 스프링은 압축시에 운동에너지를 저장하여 회생에 사용한다. 스프링의 강성이 증가하면 저장, 회생에 사용할 수 있는 에너지가 많아져서 속도가 증가한다. 그러므로 전기출력이 상대적으로 작지만 증가하는 것을 보여주었다.
- (4) IMEP는 열효율에 영향을 받기 때문에 비슷한 경향을 보여야 한다. 그러나 연료의 압력을 조절하여 피스톤 프리퀀시가 변하여도 시간베이스로 동일한 열량을 투입하였기 때문에 피스톤 프리퀀시의 증가로 인하여 사이클당 투입열량이 감소해서 IMEP는 열효율과 피스톤 프리퀀시에 모두 영향을 받았다.
- (5) 투입열량이 적어서 최대 스트로크에 미치지 못했을 경우에 스프링을 적용하면 스트로크의 증가와 압축비의 증가로 더욱 높은 출력 향상을 얻을 수 있다.
- (6) 리니어엔진에서 스프링 강성이 너무 높으면 모터링 시에 많은 전압과 전류가 필요하다. 또한 스트로크의 증가로 엔진커버와 피스톤의 충돌할 수 있다. 그러므로 최적의 스프링 강성은 스트로크가 설계 스트로크에 가깝게 나오고, 엔진커버와 피스톤이 충돌하지 않는 스프링을 선정해야 한다.

이와 같이 리니어엔진에서 스프링강성이 증가할 때 행정거리, 속도, 피스톤 프리퀀시, 열효율이 증가하여 최종적으로 전기출력의 증가를 가져왔다. 또한

스프링의 효과로 행정거리를 변화시켜 투입되는 연료에 알맞은 압축비를 형성할 수 있고, 리니어엔진에서 높은 강성을 가지는 스프링을 사용해서 같은 투입열량으로 보다 많은 출력을 얻어 효율을 높일 수 있다.

후 기

본 연구는 울산과학연구단지조성사업에서 지원을 받아 수행되었습니다. 관계자분들께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Pescara R.P., Motor compressor apparatus, USA, 1928, US Patent 1,657,641.
2. Baruch S.N. Power sources., USA, 1959, US Patent 2,900,592.
3. Mikalsen R and Roskilly AP., “A review of free-piston engine history and applications”, Applied Thermal Engineering, 2007, Vol. 27, pp. 2339-2352.
4. Douglas Carter and Edward Wechner, “The Free Piston Power Pack: Sustainable Power for Hybrid Electric Vehicles”, SAE paper, 2003, 2003-01-3277.
5. Mikalsen R and Roskilly AP., “The control of a free-piston engine generator. Part 1: fundamental analyses”, Applied Energy, April 2010, Vol. 87, Issue 4, pp. 1273-1280.
6. Mikalsen R and Roskilly AP., “The control of a free-piston engine generator. Part 2: Engine dynamics and piston motion control”, Applied Energy, 2010, Vol. 87, Issue 4, pp. 1281-1287.
7. Jaeheun Kim, Gangchul Kim and Choongsik Bae, “The Effects of Spark Timing and Equivalence Ratio on Spark-Ignition Linear Engine Operation with Liquefied Petroleum Gas”, SAE paper, 2012, 2012-01-0424.
8. Yongil Oh, Gangchul Kim and Ocktaeck Lim, “A Study for Generating Power on Operating Parameters of Powerpack utilizng Linear Engine”, KHNES, 2012, Vol. 23, No. 2-10.
9. Jin Xiao, Oingfeng Li, and Zhen Huang, “Motion characteristic of a free piston linear engine”, Applied Energy, 2010, Vol. 87.
10. Namyuer Kim, Gangchul Kim and Ocktaeck Lim, “A Study for Development of Compact Powerpack used Hydrogen”, KHNES, 2010, Vol. 21, No. 4-11.