흡입공기량 및 유효압축비 보상시 흡입밸브닫힘시기 변화에 의한 고팽창효과

정양주†·김윤영*·이종태**

A High Expansion Effects of Atkinson Cycle by adopting Variable Intake Valve Closing Timing with Compensated Intake Air-mass and Effective Compression Ratio.

Yangjoo Jeong, Yunyoung Kim, Jongtai Lee

Key Words: Atkinson cycle(아트킨슨사이클), LIVC(Late intake valve closing timing : 늦은흡입밸브닫힘시기), EIVC(early intake valve closing timing : 빠른흡입밸브닫힘시기), Expansion-compression ratio(팽창압축비), Effective work(유효일), RICEM(급속흡입압축팽창기),

Abstract

To understand the high expansion effects by adopting intake closing time in the cases of compensating intake air-mass and effective compression ratio simultaneously, fundamental study was carried out by using RICEM realizing Atkinson cycle. Intake air-mass and effective compression ratio were compensated by increasing supercharged pressure and geometric compression ratio. The results showed that the increasing rates of expansion ratio and expansion-compression ratio were increased by compensating both a intake air-mass and effective compression ratio. the same tendencies were obtained with the increases of compression ratio and cut off ratio. It was also found that LIVC has more advantages in expansion ratio and effective work than those of EIVC under above conditions.

1. 서 론

흡입밸브를 일찍닫고 늦게닫는 방식의 고팽창화 방식은 유효압축비 감소에 의한 고팽창실현에 동일한 효과가 있지만 디젤기관에 적합한 고팽창법이 있을 것으로 생각된다. 이를 밝히기 위해 먼저 저자들은 단순히 흡입밸브닫힘시기를 진각 및 지각시킨 경우와 감소된 유효압축비만을 보상한 경우에 대하여 실린더내 가스압력, 팽창압축비, 유효일 등을 검토한 바 있다.

주지의 사실과 같이 디젤기관을 흡입밸브닫힘시기 변화에 의한 아트킨슨 사이클화 할 경우 흡입공기량 감소에 의한 출력감소가 야기된다. 이를 해결하기 위해서는 유효압축비뿐 아니라 흡입공기량도 동시에 보상하여야 한다[1-5]. 감소된 흡입공기량 및 유효압축비 보상책은 과급 및 겉보기 압축비를 증가시킴으로 가능하다.

본 연구에서는 흡입밸브닫힘시기 변화에 의해 감소된 흡입공기량 및 유효압축비를 과급과 겉보기압축비 증가에 의해 보상시킨 경우의 실린더내 가스압력, 팽창압축비, 유효일 등을 디젤-아트킨슨사이클 연구용 단발구동 RICEM로 평가하여 디젤-아트킨슨 사이클기관의 고팽창효과를 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치구성

Fig. 1은 디젤-아트킨슨 사이클의 고팽창효과를 파악하기 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 아트킨슨 사이클을 실현한 연구용 단발구동 RICEM, 흡입공기량의 보상이 가능한 흡기계통, 제어장치 및 데이터 취득장치로 구성된다. 아트킨슨 사이클 연구용 RICEM의 실린더헤

†:성균관대학교 대학원
E-mail :yjjeong@skku.edu
TEL : (031)290-7484 FAX : (031)295-1937
* 성균관대학교 대학원
** 성균관대학교 기계공학과

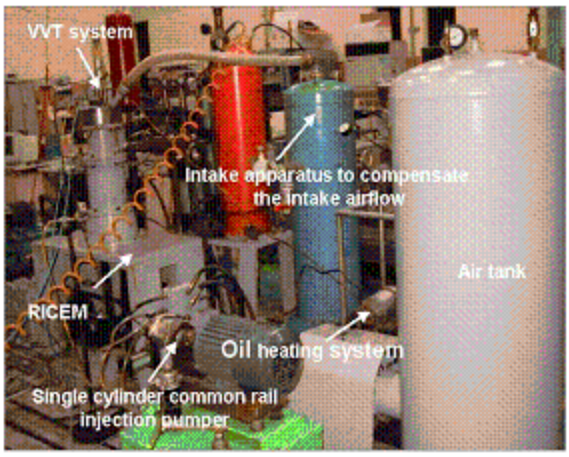

Fig.1 Photorgraph of RICEM with Atkinson cycle.

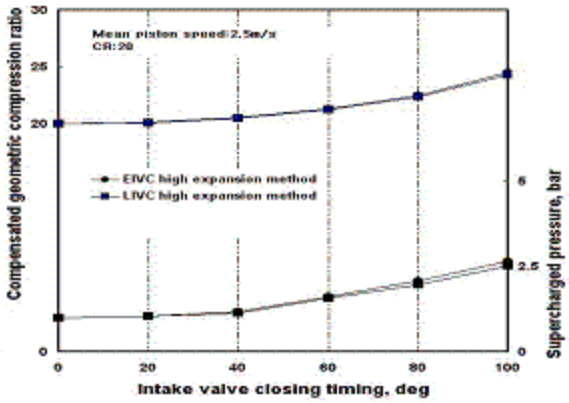

Fig.2 Compensated geometric compression ratio and supercharged pressure versus intake valve closing timing with compensating intake air mass and effective compression ratio.

드는 내경 86mm인 flat형이며, 흡입포트 각도가 25°인 흡입밸브, 배기구, 압력변환기, 인젝터 삽입 통로가 설치되었다. 흡입밸브 닫힘시기의 가변화는 솔레노이드 제어방식을 채택하였다. 가변흡입밸브(VVT)시스템은 흡입밸브 구동공압실린더, 솔레노이드 밸브 및 제어부로 구분된다. 흡입밸브의 양정은 흡입밸브 구동실린더 내부에 양정 조절링을 삽입하여 4mm로 하였다. 고압분사시스템은 단발구동 커먼레일 분사시스템 사용하였다. 인젝터는 RICEM의 작동시 요구되는 압축말기의 분사시점의 신호를 광센서로 감지하여 구동된다. 연료분사량은 피크-홀드파형 구동회로 방식의 펄스신호의 두께에 따라 변화되는 분사기간으로 변화시킨다. 흡입공기량 보상장치는 공기압축기, 과급압 조절용 압력조절기와 서지탱크로 구성된다. 흡입서지탱크는 급속한 흡입에 의한 탱크내의 압력감소를 최소화하기 위하여 행정체적보다 충분히 큰 200ℓ의 용량을 사용하였다. 서지탱크와 흡기포트로의 연결은 유동저항이 최소화되도록 직결하였다. 제어장치는 아트킨슨 사이클 연구용 RICEM의 작동 및 흡입밸브의 개폐를 제어하는 시스템이다. 먼저 start 신호에 의해 RICEM의 걸림쇠 장치가 열리고 피스톤 구동부가 작동한다. 이때 피스톤 가이드의 외측에 설치된 흡입밸브 닫힘시기 검출 광센서가 닫힘시기를 감지하고 이 신호에 의해 흡입밸브 구동 공압실린더가 작동하여 상시 열림상태의 흡입밸브가 닫히게 된다. 상기를 연속적으로 작동시키기 위하여 RICEM 및 VVT시스템을 PC로 제어하였고 I/O interface에 각종 입력센서를 연결하였다.

2.1 실험방법

흡입밸브 닫힘시기변화 : 흡입밸브 닫힘시기는 흡입과정이 끝나는 BDC를 기준으로 20°씩 100°까지 단계적으로 진각 및 지각시켰다. BDC를 기준으로 진각시킨 경우를 빠른 흡입밸브 닫힘시기(EIVC), 지각시킨 경우를 늦은 흡입밸브 닫힘시기(LIVC)라 칭한다. 이 경우 피스톤 속도는 2.5m/s, 상당 기관 회전수 1250rpm로 고정한다.

흡입공기량 및 유효압축비 보상 : 흡입공기량의 보상은 흡입밸브닫힘시기가 변화하더라도 흡기밸브닫힘시기 0° C의 흡기관내 압력과 동일하게 과급에 의해 보상한다. 유효압축비는 IVC 0° C의 압축끝 압력과 동일하게 되도록 틈새체적을 감소시켜 압축비를 보상하였다.

차단비변화 : 단발구동 commom-rail 고압분사장치의 피크-홀드 파형 구동회로 방식의 펄스신호의 두께에 따라 변화되는 분사기간을 변화시킨다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 흡입밸브닫힘시기 변화에 대한 흡입공기량 및 유효압축비 보상

Fig. 2는 흡입밸브닫힘시기의 변화에 따른 압축비 및 흡입공기량 감소를 흡기밸브닫힘시기가 0° C인 BDC의 경우와 동일하게 보상하기 위한 과급압과 겉보기압축비를 나타낸다.

설계압축비가 ε=20일 때 보상해야 할 과급압은

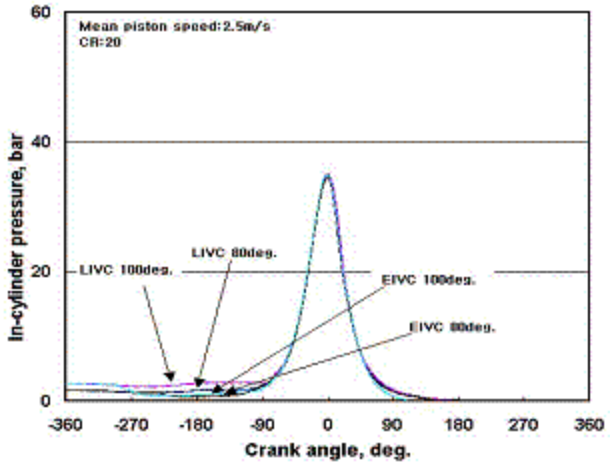

Fig.3 In-cylinder pressure versus crank angle in case of compensated intake air mass and effective compression ratio.

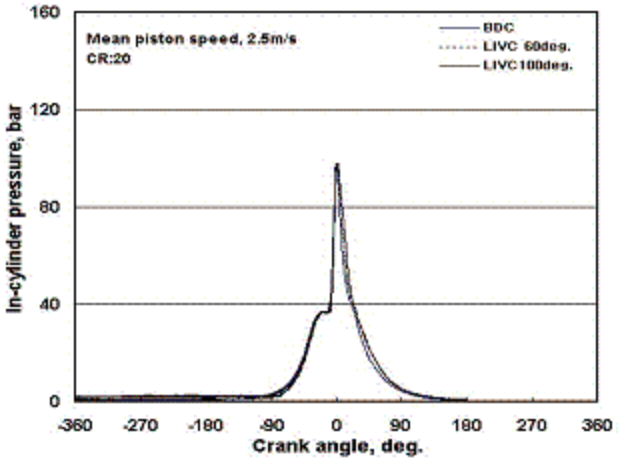

Fig.4 In-cylinder combustion pressure versus crank angle in case of compensated intake air mass and effective compression ratio.

LIVC 100° 의 경우 2.52bar정도이고, EIVC 100° 의 경우 2.65bar 정도임을 보인다. EIVC의 보상 과급압이 LIVC경우 보다 높은 것은 흡입행정 기간이 상대적으로 긴 것에 따른 관성력 증가로 인하여 충전효율에 차이가 나는 것으로 판단된다. 이와같은 충전효율의 차이로 인하여 보상해야 할 겉보기압축비는 LIVC 100° 의 경우는 ε=23.9정도이며 EIVC 100° 의 경우는 ε=24.7정도임을 나타낸다.

Fig.3은 흡입공기량 및 유효압축비를 보상한 경우 흡입밸브 닫힘시기의 변화에 따른 실린더내 압축압력선도를 나타낸 것이다. 흡입과정 및 압축초기에는 흡입밸브닫힘시기의 변화에 의해 흡입공기량이 감소되는 차이를 볼 수 있다. 그러나 감소된 흡입공기량 및 유효압축비를 보상함에 따라 압축중반기부터 차이가 감소되어 LIVC 및 EIVC의 실린더내 최고압력은 모두 흡입밸브닫힘시기가 BDC 0° 인 경우와 동일한 것을 나타낸다. 흡입공기량이 동일하게 보상되었는가 확인하기 위하여 흡입밸브닫힘시기 변화에 따른 연소시의 실린더내 압력선도를 파악하였으며 그 결과를 Fig.4에 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 연소시의 실린더내 최고압력은 흡입밸브닫힘시기를 지연시켜도 IVC 0° 의 경우와 거의 동일한 것을 나타낸다. 이는 과급 및 겉보기압축비의 증가에 의해 흡입공기량 및 유효압축비 보상에 따라 동일하게 보상되었음을 의미한다.

3.2 유효압축비 및 흡입공기량 보상시의 고팽창 효과

Fig.5는 흡입공기량 및 유효압축비 보상시 흡입밸브닫힘시기의 지각에 따른 유효압축비와 팽창압축일비를 나타낸 것이다. 유효압축비는 흡입밸브닫힘시기의 지각에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 흡입밸브닫힘시기의 지각에 따라 압축행정이 현저히 감소하는데 기인하여 LIVC 100° 경우의 압축일의 감소는 BDC의 경우에 비하여 약 41% 정도임을 보인다. 팽창압축비는 흡입밸브닫힘시기의 지연에 따른 점진적으로 증가하는 경향이다. 유효압축비의 현저한 감소와 팽창비의 증대효과에 기인하여 LIVC 100° 의 경우의 팽창압축일비는 BDC의 경우에 비하여 약 22% 정도 증가함을 보인다.

Fig.6은 흡입밸브닫힘시기를 지각시킨 경우 압축비 변화에 따른 팽창압축비를 나타낸 것이다. 팽창비는 각각의 흡입밸브닫힘시기에 대해 모두 지각시킬 경우 압축비가 증가함에 따라 증가하는 경향이며, 압축비가 증가할 수록 팽창비의 증대폭이 커지는 것을 나타낸다. 팽창압축비 또한 흡입밸브닫힘시기를 지각시킬 경우 압축비가 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 가진다. 이는 압축비가 증가함에 따라 팽창비증대와 유효압축비의 감소효과의 증대에 의해 기인하는 것으로 판단된다.

Fig.7은 차단비가 변화하는 경우 흡입밸브닫힘시기의 지연에 따른 실팽창압축일비를 나타낸 것

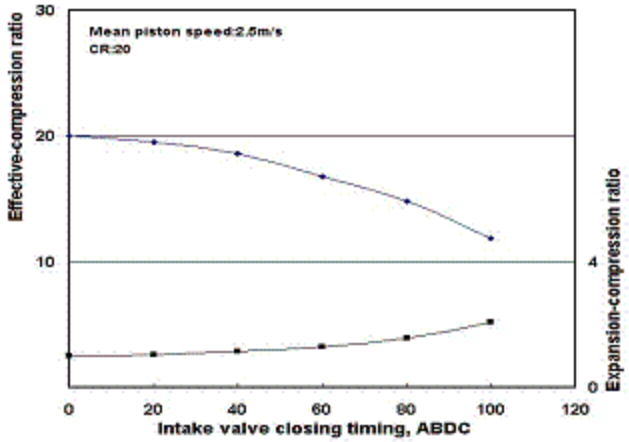

Fig.5 Effective-compression ratio and expansion-compression ratio versus late intake valve closing time.

이다. 여기서 실팽창압축일비는 연료분사가 끝나는 시점으로부터 팽창이 완료된 시점까지로 구한 팽창비를 압축비로 나눈 값으로 정의하였다. 그리고 차단비는 단발구동 코먼레일 분사장치의 펄스신호로 분사기간을 제어하여 변화시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 각 차단비의 경우 흡입밸브 닫힘시기를 지연됨에 따라 유효일은 모두 증가함을 알 수 있다. 통상적인 디젤기관은 차단비가 증가함에 따라 실팽창비 감소에 의한 유효일이 감소하나 흡입공기량 및 유효압축비를 보상하여 흡입밸브닫힘시기를 지각시킨 경우의 유효일은 공급열량이 동일하고 팽창비가 증대되는데 기인하여 지속적으로 증가함을 나타낸다.

3.3 각 보상 방안에 따른 고팽창효과 비교

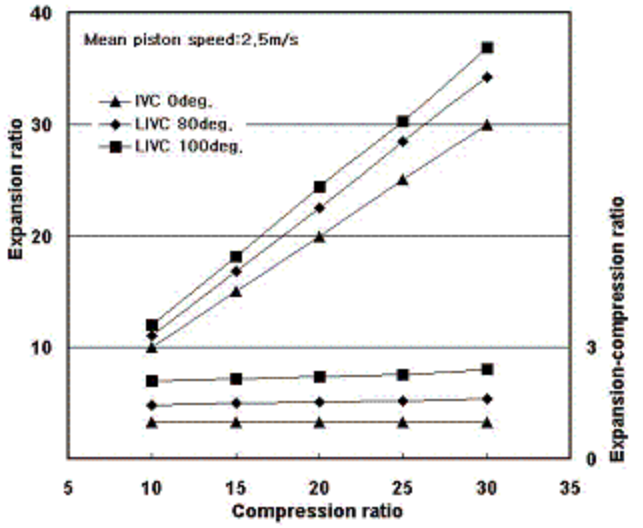

Fig.6 Expansinon ratio and expansion-compression ratio versus compression ratio at each LIVC.

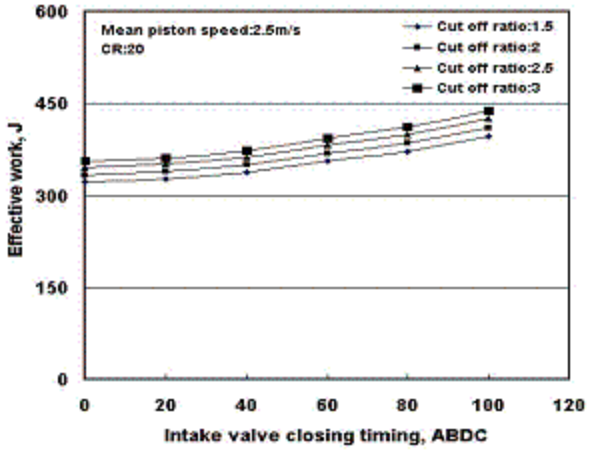

Fig.7 Effective work versus late intake valve closing timing for each cut off ratio.

Fig.8은 흡입공기량 및 유효압축비를 동시에 보상한 경우의 팽창비를 유효압축비만을 보상한 경우와 단순히 흡입밸브닫힘시기를 지연시킨 경우에 대해 비교한 것이다. 단순히 흡입밸브닫힘시기만을 지각시킨 경우는 겉보기압축비가 변화하지 않음으로 팽창비는 일정한 것을 나타낸다. 그러나 흡입공기량 및 유효압축비를 동시에 보상한 경우에 BDC에서 LIVC 100° 까지 지각시키면 팽창비가 22%로 증가하며 유효압축비만을 보상한 경우에는 약 96% 정도 나타났다.

Fig.9는 상기조건하에서 구한 팽창일을 비교한 것이다. 단순히 흡입밸브를 지연시킨 경우와 유효압축비만을 보상한 경우의 팽창일은 흡입밸브닫힘시기가 지각됨에 따른 흡입공기량의 감소에 의해 지속적으로 감소하는 것을 나타낸다. 단지 유효압축비만을

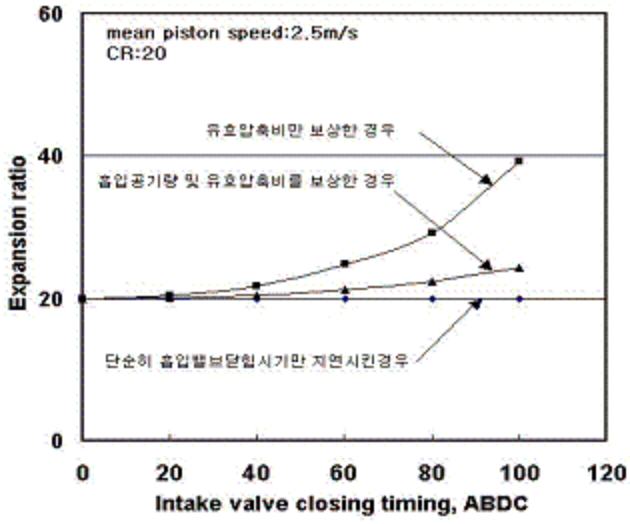

Fig.8 Expansion ratio versus late intake valve closing timing for the different compensating method and without compensating.

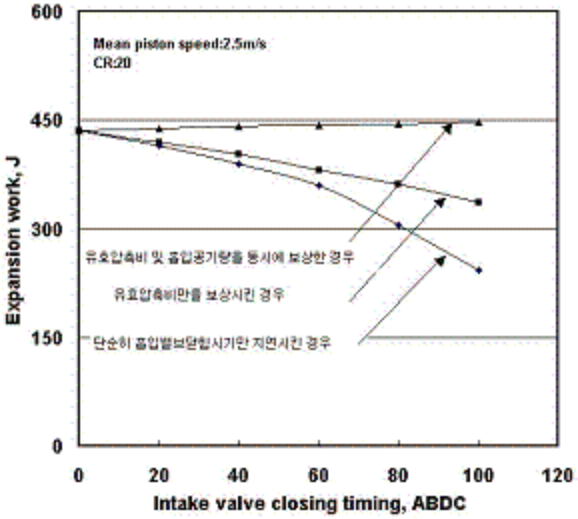

Fig.9 Expansion work versus late intake valve closing timing for the different compensating method and without compensating.

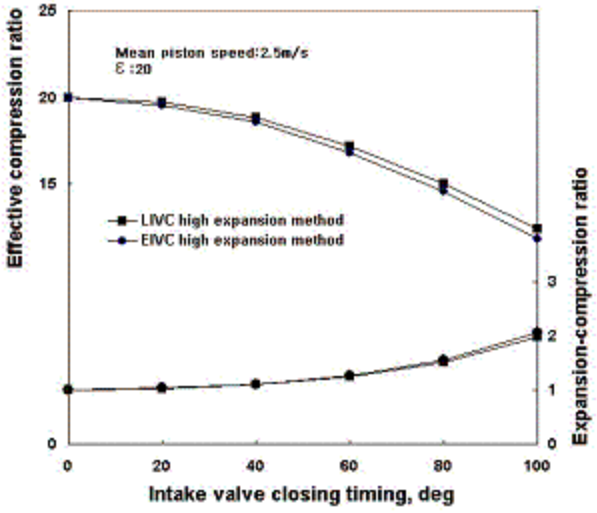

Fig.10 Effective compression ratio and expansion-compression ratio versus intake valve losing timing for EIVC and LIVC.

보상한 경우의 감소폭은 압축비 보상에 의한 열효율 향상으로 줄어드는 경향이다. 유효압축비 및 흡입공기량을 동시에 보상한 경우, 유효일은 흡입공기량이 일정하게 보상되고 팽창비 증가의 효과에 의해 단순히 흡입밸브닫힘시기를 지각시킨 경우와 유효압축비만을 보상한 경우와 달리 흡입밸브닫힘시기가 지각됨에 따라 미미한 증가를 보이나 거의 일정한 것으로 볼 수 있다. LIVC 100° 의 경우의 유효일의 증가는 BDC에 비해 약 2%정도임이 보여졌다.

3.4 유효압축비 및 흡입공기량 보상시 EIVC와 LIVC의 고팽창효과 비교

Fig.10은 유효압축비 및 흡입공기량을 동시에 보상하는 경우 흡입밸브닫힘시기의 변화에 대한 유효압축비와 팽창압축비를 나타낸 것이다. LIVC 및 EIVC의 유효압축비는 흡입밸브닫힘시기의 변화에 의해 감소하나 LIVC의 경우는 상대적으로 EIVC에 비해 감소폭이 약간 작은 것을 나타낸다. 팽창압축비는 유효압축비의 감소효과에 의하여 두 방식 모두 증가하는 경향을 가진다. 팽창압축비의 증가율은 유효압축비 감소효과가 상대적으로 작은 LIVC가 EIVC에 비해 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig.11은 감소된 흡입공기량과 유효압축비를 동시에 보상한 경우 압축일과 팽창압축일비를 흡입밸브닫힘시기 변화에 대해 나타낸 것이다. 압축일은 흡입밸브닫힘시기가 변화됨에 따라 두 고팽창화 방식 모두 감소하지만, 압축일의 감소는 EIVC 방식이 LIVC 방식보다 약간 큰 것을 나타낸다. 압축일의 감소율은 EIVC의 경우 0° 에서 100° 까지 진각시킴에 따라 16%정도이며, LIVC의 경우 0° 에서 100° 까지 지각시킴에 따라 약 14% 정도이다. 팽창압축일비는 두 고팽창화방식 모두 점진적으로 증가하는 경향이나 전술한 바와 같이 LIVC의 경우 팽창비증가의 효과가 크므로 EIVC보다 증가율이 약간 크다. LIVC는 0° 에서 100° 까지 지각시키는 경우 팽창압축일비의 증가율은 17%이며 EIVC의 경우 15%정도임이 보여졌다.

Fig.12는 연소시 흡입공기량을 보상한 경우 팽창압축일비와 유효일에 대하여 나타낸 것이다. 팽창압축일은 미연소시와 마찬가지로 점진적으로 LIVC와 EIVC 고팽창화 방식 모두 증가하는 경향을 가진다. LIVC는 0° 에서 100° 까지 지각시키는 경우 팽창압축일비의 증가율은 18%이며 EIVC의 경우 약 16%정도로서 LIVC가 약간 큰 것을 나타낸다. 팽창압축일비의 증가율이 미연소시보다 약간 높게 나타나나 그 경향은 동일하게 나타남을 알 수 있었다.

유효일은 흡입밸브닫힘시기가 진각 및 지연될수록 증가함을 나타낸다. LIVC는 100° 의 경우 EIVC의 100° 의 경우보다 약 2%정도 증가하나 그 정도는 미미함을 알 수 있다.

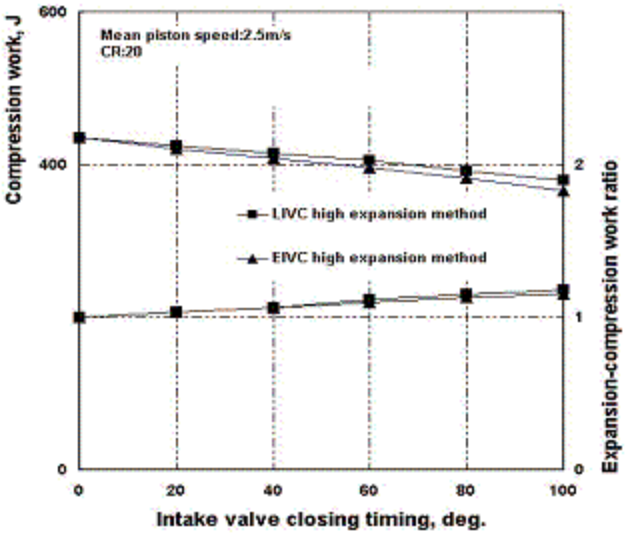

Fig.11 Compression work and expansion-compression work ratio versus intake valve closing timing for EIVC and LIVC.

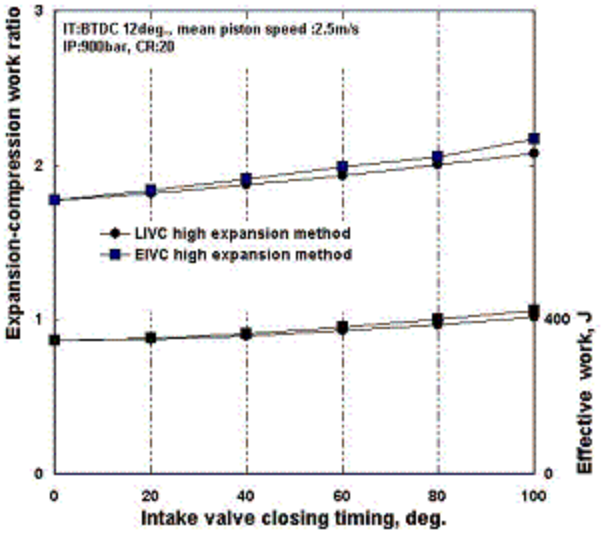

Fig. 12 Expansion-compression work ratio and effective work versus intake valve closing timing under firing condition.

4. 결 론

1. 설계압축비가 ε=20인 본 실험조건하에서 흡입밸브닫힘시기 변화에 의해 감소된 흡입공기량 및 유효압축비를 보상해야 할 과급압은 LIVC 100° 의 경우 2.52 bar이고 EIVC 100° 인 경우 과급압은 2.65bar 정도가 요구되며 겉보기압축비는 LIVC 100° 의 경우는 ε= 23.90과 EIVC 100° 인 경우 ε= 24.73정도임이 보여졌다.

2. 유효압축비 및 흡입공기량 보상시 흡입 밸브 닫힘시기의 변화에 따라 팽창비 및 팽창압축비는 증대되었다. 또한 압축비 및 차단비의 증가에도 지속적인 증가를 보였다.

3. 각 보상 방안간의 따른 고팽창효과는 팽창일 증대의 흡입공기량 및 유효압축비를 동시에 보상한 경우가 유리하였고 팽창비 증대효과는 유효압축비만을 보상한 경우가 높게 나타났다. 흡입공기량 및 유효압축비를 동시 보상시의 LIVC 100° 의 경우 팽창비는 22%, 팽창일은 2%정도 증가된 반면 유효압축비만을 보상한 경우에 팽창비는 약 96% 정도 증대되나 팽창일은 23% 감소하였다.

4. 흡입밸브닫힘시기의 변화에 의해 기관을 아트킨슨 사이클화 한 경우 고팽창효과는 LIVC가 EIVC 보다 다소 큰 것으로 나타났다. 팽창압축비는 LIVC 100° 가 EIVC 100° 의 경우보다 약 7%정도 크고 팽창압축일비의 증가율은 LIVC의 경우가 EIVC의 경우보다 약 2 %정도 높은 약 13%정도임을 확인하였다. 유효일도 팽창압축일비와 동일한 경향을 나타냈다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 지원하에 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) Y. J. Jeong, J.T.Lee, 2003,"A study on a High Expansion Method of Diesel-Atkinson Cycle(II)" KSAE spring conference proceeding, vol.I, pp. 322-328.

2) S. C Blakoy, R. J. Saunders, T.H.Ma, and A Ahopre, 1991, "A Design and Experimental study of an Otto Atkinson Cycle Engine Using Late intake Valve Clo sing ", SAE paper 910451.

3) C. M. chung, J. T. Lee, J. W. Cho, 9957, "Trends in Technical & Development of Miller Cycle for G-asoline Engine", KSAE, Vol. 17 No.1.1995/7.