

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ÇEVİRİM ATLATMA YÖNTEMİNİN KİSMİ YÜKLERDE İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüz buji ateşlemeli motorlarında efektif verim tam yükte %35 civarındadır ve bu motorlar kısmi yükte ise %10 – 15 arasında bir verim sergilerler. Bu düşüşün en önemli sebebi, benzinli motorlarda yük kontrolü için kullanılan gaz kelebeğinin; kısmi yük koşulunda üretilen gücü azaltmak için emme manifold kesitini kapatması sonucu kısılma (pompalama) kayıplarının artmasıdır. Böylece pompalamaya giden iş artmakta ve motor üretilen işin yanında ek bir iş daha yapmak zorunda kalmaktadır. İçten yanmalı benzinli motorlarda düşük yüklerde ortaya çıkan verim probleminin giderilmesi, günümüzde taşıtların şehir içi ulaşımında daha yoğun kullanıldıkları ve bu süre zarfında da çoğunlukla rölanti devrinde ve düşük devirlerde çalıştıkları da dikkate alındığında değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur.

Motor sistemleri olarak; değişken subap zamanlaması, fakir karışımli kademeli dolgulu motor, aşırı doldurma, değişken sıkıştırma oranı ve değişken strok hacmi yöntemleri benzinli motorların kısmi yükteki yakıt tüketimini azaltmaya yönelik en bilindik yöntemlerdir.

Değişken strok hacmi yöntemini silindirlerden bir kısmının devre dışı bırakılması ve çevrim atlatma mekanizmasını kullanmak olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu çalışmada kullanılan “Çevrim Atlatma Yöntemi”nde motor yükü azaldığında birbirini takip eden çevrimlerde motora olan yakıt ve hava akışı kesilir. Emme ve egzoz subaplarının kontrol edilmesi suretiyle aynı gücü elde edebilmek için çevrim atlatılmayan durumda (normal çevrim) ise taze dolgu girişi artırılarak motorun efektif verimi yükseltilir.

Çevrim atlatma mekanizması da kendi içinde farklı fikirler doğurmuştur. Literatürdeki çalışmaların birçoğu atlatılan çevrimde taze dolgu girişini engellemek için subaplara müdahale etmeksizin sadece gaz kelebeği açıklığını artırarak amaca ulaşmayı ilke edinmiştir. Atlatılan çevrimde subaplara müdahale etmeksizin sadece taze dolgu akışını kesmenin ve normal çevrimde ise sadece dolgu miktarını artırmak için gaz kelebeği açıklığı artırmanın özgül yakıt tüketimini özellikle çok düşük hız ve yük koşullarında azalttığı fakat yüksek hızlarda atlatılan çevrimlere yakıt ve hava kaçması nedeniyle özgül yakıt tüketimini artırdığı belirlenmiştir. Bu durumun düzeltilmesi için subaplara müdahale edilmesinin kaçınılmaz olduğu fikri ağır basmaktadır.

Tezime konu olan bu çalışmada iki farklı çevrim atlatma mekanizması kullanılmıştır. Bunlardan birisi tez çalışmamın ilk zamanlarında imalatına başlanan “Subap Kontrolü için Değişken Profilli Kam Mili Tahrik Mekanizması”dır. Bu tasarım, kam milinin aksenal hareketi ile profil – izleyici temasının devre dışı bırakıldığı bir sistemden ibarettir. Bu şekilde orijinal emme ve egzoz profillerinde çok küçük

değişiklikler yapmak suretiyle onları istenen zamanda devreye alıp istenen zamanda devreden çıkarmak mümkün olmuştur. Kam milini eksenele yönde hareket ettiren bu mekanizma sayesinde izleyicilerin kam mili profilleri üzerinden hiç geçmemesi sağlanarak subaplar bazı çevrimlerde hareketsiz bırakılmıştır. Deneysel sonuçlar bu mekanizma üzerinde yapılan çalışmalarla elde edilmiştir.

Diğer mekanizma ise tez çalışmamın son zamanlarında tasarlanıp imalatı yapılan “Subap Kontrolü için Silindir Kafasında Pimli Kilit Tahrik Mekanizması”dır. Bu tasarımla çevrim atlatma prensibini yerine getirecek olan subabın kontrolü doğrudan sağlanmaktadır. Subap üzerine bağlanan mekanizma, külbütörün subabı itmesini ve yay tutucu gövdesi içerisinde hareket etmesine neden olur. Kilitli pozisyonda subap normal tahrikini gerçekleştirirken, kilitlemenin olmadığı pozisyonda dış gövde içerisindeki mekanizma gövde içinde boşta hareket etmektedir. Mekanizma, dışarıdan krank miline bağlı olan bir dişli mekanizması ile tahrik edilmiştir. Her iki mekanizmada da subaplara dışarıdan müdahale edilip kapatılarak silindire yakıt ve hava girişi bazı çevrimlerde engellenmiş, diğer çevrimlerde ise subaplar emme ve egzoz zamanlarında açık tutulmuş ve herhangi bir güç kaybı olmaması için de dolgu miktarları artırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaları 5 ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; çevrim atlatma sistemi için mekanizma tasarımı ve imalatı, motor ve kumanda odalarının deneylere hazır hale getirilmesi, çevrim atlatmanın tek boyutlu olarak termodinamik modellenmesi, motoru kumanda edebilecek bir elektronik kontrol ünitesinin geliştirilmesi ve deneysel çalışma aşamalarıdır.

Deneysel çalışma için üzerine çevrim atlatma mekanizması adapte edilen motor, yerel piyasadan seçilen tek silindirli bir dizel motoru olan Lombardini firmasının 3LD450 motorudur. Bu motor, otomotive uygunluğu ve parça temininin kolaylığı açısından akademik çalışmalara oldukça elverişlidir. Aynı zamanda göreceli olarak çok ucuz ve esnek bir yapıya sahiptir. Üzerinde gerekli modifikasyonlar yapılarak benzin motoru haline getirilmiştir.

Tek silindirli araştırma motorunun püskürtme ve ateşleme zamanlamaları ile püskürtme süresi ve bobin primer sargısının açık kalma süresi (dwell süresi) bilgisayar destekli bir elektronik ünitelerden kontrol edilmiştir. Böylece hem mekanizma, hem de motor performansı açısından en uygun çalışma koşullarını tespit etmek çok kolaylaşmıştır. Doğru zamanlama ve süre için motor krank milinin sıkıştırma üst ölü noktası, artımsal enkoderin tetikleyici sinyaline denk getirilmiştir. Kontrol sistemi, yük ve motor hızındaki değişimlere uyum sağlayacak şekilde hazırlanmıştır. Kontrol sisteminin kullanımı ile çevrim atlatma mekanizmalı bir benzin motorunda gerçek zamanlı deneyler, bazı değişkenleri sabit tutup diğerlerini değiştirmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarının doğruluğunun artırılması ve tekrar edilebilirliğinin sağlanması için motor ve kumanda odaları deneylere hazırlanmıştır. “Motor Deney Odası Otomasyon Sistemi” kapsamında dinamometrelerin modernizasyonu, motor şartlandırma, deney kontrol ve veri toplama sistemi üzerinde kapsamlı piyasa araştırması yapıldıktan sonra tüm sistemler deney odasına adapte edilerek otomatik hale getirilmiştir. “Test Yazılımı” programı ile motorun devir sayısı, atmosfer şartları, motor hava tüketimi, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, emme&egzoz manifold sıcaklık ve basınçları, motor yağı giriş basıncı, egzoz sıcaklığı ve karşı basıncı, yakıt giriş sıcaklığı ve ortalama yakıt tüketimi gibi veriler raporlanarak değerlendirilmiştir.

Egzoz emisyonlarının ölçülmesi aşamasında Horiba firmasının bir gaz analizörü kullanılmıştır. Ham egzoz gazı numunesi katalizör öncesi hatta gönderilerek cihazın yazılımı üzerinden; λ (hava fazlalık katsayısı), CO (karbonmonoksit), CO₂ (karbondioksit), O₂ (oksijen), THC (toplam hidrokarbon), CH₄ (metan) ve NO_x (azotoksit) verilerine ulaşılmıştır.

Bir çeşit analog/dijital çevirici olan Combi (Yanma İndikatörü) cihazı sayesinde toplanan silindir içi basınç verileri ile çevrim içi yanmaya ilişkin açığa çıkan ısı yüzdesi, ortalama pompalama basıncı, ortalama indike iş üretim basıncı, ortalama net indike basınç, indike güç, ortalama basınç ile en yüksek ve en düşük basınç değerlerine ulaşılmıştır. Aynı zamanda bu değerlerin zamana ya da krank mili açısına göre değişimleri grafikler halinde elde edilmiştir. Çevrimden çevrime olan farklılıklar da detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca püskürtme zamanlaması ve süresi ile dwell zamanlaması ve süresi ile ilgili veriler de aynı program üzerinden kontrol toplanmıştır.

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında motor, normal olarak çalıştırılmış ve referans sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra ise çevrim atlatma mekanizması motora monte edilmiş ve elde edilen sonuçlar motor performansı, egzoz emisyonları ve silindir içi basınç verileri açısından karşılaştırılmıştır. Deneyle ilgili eşdeğer performans ve çevre koşullarında yürütülmesine dikkat edilmiştir. Ayrıca tüm yakıt püskürtmesinin emme subabı açılmadan tamamlanması için püskürtme zamanlaması belli bir noktada yapılmış, dwell süresi her ölçüm noktasında sabit tutulmuş, yakıt besleme basıncının eşdeğer olduğu ölçüm noktalarında karşılaştırma yapılmış, yakıt debisi sabit bir kütle için tükenmesi için geçen süreye göre ölçülmüş ve yakıtın hidrojen/karbon oranı sabit tutulmuştur.

Deneysel sonuçlarına göre; özellikle rölantide, çok düşük yük ve hız bölgelerinde normal çalışmaya göre yakıt tüketiminde önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, piyasaki kısmi yük verimi artırma teknolojilerinden çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, gaz keleşliği açıklığı ile HC ve NO_x emisyonlarının arttığı, optimum ateşleme avansının ise azaldığı görülmüştür.

Son yıllarda yapılan çalışmalar buji ateşlemeli motorların kısmi yükte verim artırma potansiyelinin var olduğunu göstermektedir. Bu tezden elde edilen sonuçlar çerçevesinde diğer verim artırma sistemleri ile birlikte karma yöntemler geliştirilmesi muhtemeldir. Özellikle çevrim atlatma mekanizma tahrikli ve kademeli dolgu yanma prensibiyle çalışan bir benzin motorunun kısmi yük şartlarındaki en üst efektif verime çıkabileceği düşünülmektedir.

SKIP CYCLE METHOD INVESTIGATION AT PART LOAD CONDITIONS OF SPARK IGNITION ENGINES

SUMMARY

Environment pollution has become one of the most significant phenomenon with global warming due to growing of industry. Internal combustion engines have been used for energy conversion in various areas particularly in transportation. This usage effects the atmospheric pollution by exhaust emissions and energy sources by increasing of fossil fuel consumption. Carbondioxide (CO₂) emissions are composed by complete combustion of fossil fuels involving carbon molecules. They have great impacts on formation of greenhouse effect. Nowadays there are some several limitations for CO₂ emissions and other pollutants (HC, CO and NO_x). One of the main solution method to decrease CO₂ emissions is to improve the energy conversion efficiency and also decrease the fuel consumption.

To reduce the fuel consumption, several researches have been made as engine systems, vehicle systems and driving systems. The maximum effective efficiency of today's SI (spark ignition) engines is about 35% at full load. If there is no improvement about the topics of knock resistance of fuel, heating value of fuel and flame velocity etc, this efficiency won't be able to increase. SI engines perform about 10 – 15% efficiency at part load conditions. The main reason of this deteriorating is increasing of pumping losses due to the restriction of the cross sectional area of the intake air by throttle valve used for the load control. At part load conditions, to decrease the engine power and the amount of fuel–air charge into the cylinder, throttle valve has to be more closed. Because of this reason, the pumping work increases and the engine has to work in addition to the power production. . The low efficiency problem is an important topic nowadays considering the usage of cars in urban traffic and also at part load conditions or idling.

Well-known methods to increase the efficiency at part load are; variable valve timing, stratified charged lean mixture combustion, supercharging, variable compression ratio and variable displacement. Variable valve timing and stratified charged lean mixture combustion methods have reached their top potentials. Supercharging and variable compression ratio methods are restricted for practical usage due to the knock probability of a structural problem in SI engines. So the variable displacement is the least investigated method aiming to improve the fuel consumption at part load. There are two sub-types in this method : “Skip Cycle Method” (cut off the fuel and air into cylinder and then enabling them in order with respect to decrease the work cycle frequency) and “Cylinder Deactivation” (cut off the fuel and air into a cylinder or a group of cylinder all the time)

The working principle of skip cycle method used in this study can be expressed as following descriptions : When the load of engine reduces, the fuel and air supply are disabled in sequential cycles and the amount of fuel–air charge is increased in normal

cycles. (except for skipped cycles) to get the equivalent effective engine power. Cylinder deactivation causes vibrations due to sudden moment fluctuations. In contrary skip cycle method provide a soft transient regime.

Many investigations on skip cycle system are only focused on interrupting the fuel supply into cylinder for some cycles. Kutlar et al. presented a new strategy for skip cycle system and valve control necessity to get expected results. They aimed to reduce the effective stroke volume of an engine at part load to skip some of the four stroke cycles by cutting off fuel injection and to decrease pumping losses when a cycle was skipped by using rotary valves in the inlet and exhaust ports. The experiment results showed BSFC (brake specific fuel consumption) was increased due to air leakage through the rotary valve at high speeds and loads. They proved that if the fuel and air leakage could be eliminated, it was possible to decrease the fuel consumption significantly at part load conditions of SI engines. To improve this case, valve controlling has been admitted as an inevitable method.

Two different skip cycle mechanism are used on the subject of this thesis. One of them is called “Variable Profiled Camshaft Driving Mechanism for Poppet Valve Controlling” which has been started to manufactured at the first stage of this study. In this system, camshaft profile – follower contact can be deactivated by the axial motion of camshaft. Thus, the inlet and exhaust poppet valves have been operated work online or offline optionally. The experimental results have been obtained via the studies on this mechanism.

The other mechanism is called “Pinned Lock Driving Mechanism on the Cylinder Head for Poppet Valve Controlling” which has been designed and produced at the last stage of this study. To achieve a complete air leakage prevention at high loads and speeds, the mechanism was mounted on the poppet valves directly. The mechanism has been driven by an external camshaft coupled to the engine crankshaft and operates in valve disabled and valve enabled modes. This can be provided by a locking system actuated by the driving mechanism. When the poppet valves are locked by control mechanism, the air–fuel charge is carried out in normal cycle. Skip cycle is work online while the control mechanism moves freely instead of locking the poppet valves.

This thesis study could be gathered five main titles. These are; designing and manufacturing of skip cycle mechanisms, making ready engine and control room for experiments, setting up one dimensional thermodynamic model of skip cycle strategy, developing a flexible electronic control unit and engine test stages.

Considering our constraints, a single cylinder compression ignition (CI) engine was chosen from the domestic market. Agreed that Lombardini LD450 engine was a valid option because of its specifications such as water cooled, direct injected and enough stroke volume. Besides, this engine was very suitable for academic research by means of adaptability to automotive applications and convenience of spare part supply. Also, comparing other options, it is much more cheaper and flexible. It was decided to convert to a spark ignition (SI) engine subject to necessary physical modifications.

Timing of injection and ignition also duration of injection and dwell time of the research engine were controlled with a computer based electronic unit. To determine the valid timing and duration, the compression top dead center of engine crankshaft was become equivalent to the trigger signal of incremental encoder and the control system was able to design for adapting the conversions at load and engine speed. By

using the control system, the real time tests were carried out in a gasoline engine with skip cycle mechanism depending upon permitted certain parameters constant and others changed.

Engine and control rooms got ready to enhance the accuracy of experimental results also to be provided the repeatability of them. Within the “Engine Test Room Automation System”; after a detailed research on the modernisation of dynamometer, engine conditioning and data acquisition system, all the systems were adapted to the test room and automated. The engine speed, atmospheric conditions, consumption of inlet air, inlet and outlet temperatures of cooling water, inlet&exhaust manifold temperatures and pressures, lubrication oil inlet pressure, exhaust temperature and back pressure, fuel inlet temperature and average fuel consumption data could be reported by a software programme.

A gas analyser of Horiba Company was used to measure the exhaust emissions. The exhaust sample is transmitted to the before catalyst line and then λ (excess air coefficient), CO (carbon monoxide), CO₂ (carbon dioxide), O₂ (oxygen), THC (total hydrocarbon), CH₄ (methane) ve NO_x (nitrogen oxides) can be measured through the software of the analyzer.

The cylinder pressure data have been measured by Combi (Combustion Indicator) device using as an analog/digital converter. Thus; heat release rates (HR), pumping mean effective pressure (IMEP–IG) , gross indicated mean effective pressure (IMEP–P), indicated mean effective pressure (IMEP), indicated power (PI), mean cycle pressure, maximum and minimum pressure (P_{max}, P_{min}) values can be reached in reference to cycle combustion. At the same time, the variations of these values as far as crankshaft angle or time and also cycle to cycle variations were presented on graphs. Injection timing and duration also dwell timing and duration can be followed on the same programme.

At the first stage of experimental study; the research engine always operated at normal cycle mode to obtain the reference results for comparing with skipped cycle. Then related skip cycle mechanism was mounted to the engine and the results were compared with the previous results according to the engine performance, exhaust emissions and cylinder pressure data. Considering the equivalent performance and environment conditions, engine room automation was used. To complete total injection before inlet poppet valve opens, the fuel was injected at a specific crankshaft angle. The dwell duration fixed constant at every measuring point. The measurements were carried out at the measurement points with equivalent fuel supply pressure. Fuel flow rate could be measured with regards to a constant mass fuel consumption and also the hydrogen/carbon ratio of used fuel fixed at a constant value.

According to the test results; the fuel consumption in skipped cycle has decreased as far as normal operating mode particularly at idling also low load and engine speed regions. Acquired results have showed a higher performance than the technologies used to increase the efficiency of gasoline engines at part load conditions. Besides, throttle valve of the engine opened wider, optimum ignition advance decreased also HC and NO_x emissions increased. The recent studies show that the potential of increasing the efficiency of spark ignition engines at part load conditions has been existed. Due to the results of this study, it is possible to use the combination of different systems to run the gasoline engines with higher efficiencies. It is thought

that especially a gasoline engine running with skip cycle mechanism and fuel stratified principle will have the highest efficiency at part load conditions.