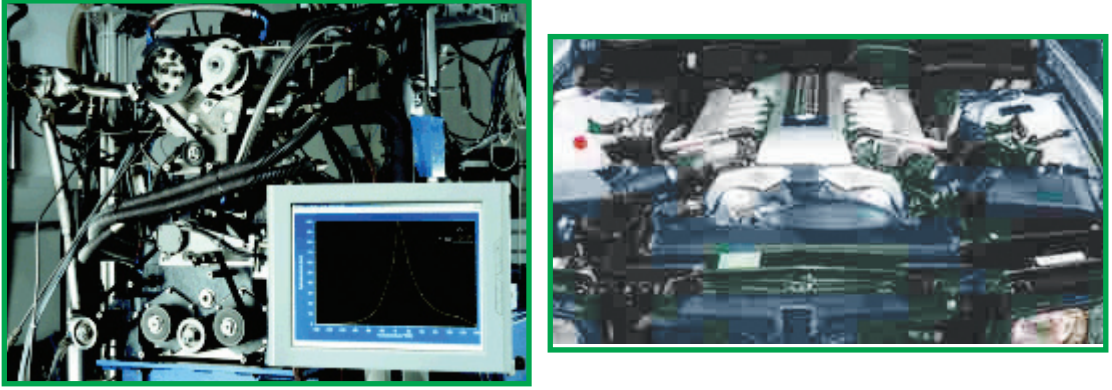


HİDROJEN MOTORU

Hidrojen; yakıt hücreleri dışında geleneksel yanmalı motorlarda da yakıt olarak kullanılabilir.

Hidrojen motoru da tıpkı Otto-motor prensibine göre dıştan bir ateşleyici ile çalışır. Dizel motorlarda yakıt hava karışımı belirli bir basınca ulaştınca ısı etkisiyle ateşlenir. Hidrojenin ateşlenme sıcaklığı dizele göre daha yüksektir 560°C olan bu değer dizel motor için 250°C dir. Bu nedenle dizel de ayrıca bir ateşlemeye ihtiyaç vardır.



Resim 5.1 : BMW Firması Tarafından Geliştirilmiş 12 silindir Hidrojen motoru ve test sistemi

Dizel motor olsun Otto motor olsun her ikisinin de prensibi yanma odalarının pistonla sıkıştırılmasına dayanır. Genelde yanma iki türlü yöntemle sağlanabilir. Bütün sıvı yakıt sistemlerinde de geçerli olan, dışta karışım oluşturma, içte karışım oluşturma prensibine dayanan bu iki yöntem hidrojen motorlarında da kullanılabilir.

5.1. Dışta Karışım Sistemi

Dışta karışımın olduğu sistemde gaz halindeki hidrojen kabarcıklar halinde çok düşük bir basınçla emme monifoltu yardımıyla yanma odasına verilir. Yakıt tankında oldukça soğuk olan sıvı hidrojen bulursa bile yanma odacığına gönderilirken dış yolu kullandığından ısınır ve hemen gaz formuna geçer.

Bu sistemde yanma odacığına girmeden önce gazın emilen hava ile karışması sağlanır. Yanma odacığına giren gaz bir çek-valf sistemi ile kapatılır ve içeride bir tutuşturucu kullanılarak yanma sağlanır. Gazın içeriye hava ile karıştırıp alınması yanma sıcaklığını daha düşük değerlere çeker, ve buna bağlı olarak alev alma riskini azaltır. Böylece oluşacak azotoksit emisyonu azaltılmış ve ısı kayıpları da daha düşük değerlere indirgenmiş olur. Ancak yanma sıcaklığının düşmesi aynı zamanda motorun gücünde de düşüşe sebep olur. Motor gücünün yükseltmek için iç basıncı daha da artırmak gerekir.

Bu nedende benzinli motorlarda azot oksitlerin ortamdan atılması için özel katalizörler kullanılır.

Dışta karışım oluşturan sisteminin en büyük avantajı kurulumunun çok kolay olması ve hidrojenin verilmesi için yüksek basınca gerek duyulmamasıdır. Benzin ve dizel motorlar ile karşılaştırıldığında en büyük dez avantajı ise; motor hacmi ile verimi kıyaslandığında aynı güce sahip daha büyük hacimli motor gerektirmesi ve yanmanın sınırlı kurallar içinde olmamasıdır.

Hidrojen yanmalı motorlar üzerine en ciddi çalışmalar ve sanayisel boyuta taşınmış en önemli proje Alman Otomotiv şirketi BMW tarafından gerçekleştirilmektedir. Ford otomotiv şirketi de bu alanda araştırma yapmasına rağmen daha çok yakıt pilleri ile ilgilenmektedir. ¹

BMW-Hidrojen Motorunda tankta soğuk bir şekilde bulunan hidrojen, veriliş dozu elektrikle kontrol edilebilen bir sübap yardımıyla sisteme alınmaktadır. Sübapların açılışı, kapanışı ve geçiş yolundaki tüm sistemler elektrik motoru tarafından düzenlenmektedir.

Motor; dizel motor prensibine göre çalışmaktadır. Eğer araç hızlandırılmak istenirse bu kez sıvı yakıt tankından daha fazla yakıt yanma odacığına çekilir. Sürücü gaza basmakta bu mekanizmayı çalıştırır. Motora gidecek hava miktarı hep sabit kalır. Oluşan bu fakir karışım azotoksit emisyonu açısından büyük avantaj sağlar. Ayrıca oluşan “fakir karışımın” parlamaya karşı eğiliminin düşük olması stokiyometrik olarak artakalan miktarın çok parlayıcı olarak yanmasını da önler. Bu avantajı gaz motorun benzinle çalışan partnerine göre düşük olan spesifik gücünü tolere edilebilir hale getirir.

Motorun çalışma gücü eş değeri benzinlilere oranla % 20 daha düşük olmasına rağmen kullanılan yakıt miktarının az olması bu farkı kapatır.

5.2. İçte Karışım Sistemi

Bu karışım teknolojisinde gaz halindeki hidrojen 80 ile 120 bar arasındaki yüksek bir basınçta doğrudan yanma odasına gönderilir. Yanma odasında ise havanın oksijeni ile karıştırılıp, dışkaynaklı bir tutuşturucu ile tutuşturulur. Dizel yakıt sistemi ile karşılaştırıldığında büyük farklılıklar ortaya çıkar. Bu sistemde yakıt gaz formunda olduğundan yakıt ile havanın yoğunluğu arasında büyük fark ortaya çıkar. Bu ise hidrojenin alevlenme hızını çok artırır.

Yakıtın çok kısa sürede püskürtülmesi için yüksek bir basınca ihtiyaç vardır. Hidrojen ve havadan meydana gelen karışımın Stokiyometrik oranı 1 ve daha üstündedir. ($\lambda \geq 1$)

Bu tür yanmalı karışımların hacimsel güç verimi dizel motordan daha yüksektir. Dezavantajı ise oldukça pahalı olan teknik kurulumudur.

5.3. H₂ Motorunun Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

✓ Çevre koruyucu olması

Pistonlu motorlarda hidrojenin yanmasıyla geleneksel hidrokarbon içeren yakıtlardan vazgeçilmektedir. Böylece CO ve CO₂ oluşum miktarları oldukça düşmektedir. Yanma havadan gelen oksijenle sağlandığı için de Azotoksit emisyon değerlerinde de belirgin bir artış meydana gelmemektedir.

Genelde ne kadar çok yakıt varsa (stökiyometrik olarak $\lambda \leq 1.0$ ise)

- Güç verimi o kadar çok artar
- Yanma o kadar sıcak olur
- O kadar çok azotoksit oluşur.

Bu sistemin optimize edilmesi için ulaşılmaması gereken hedeflerden en önemlileri güç yoğunluğunu yükseltmek ve Azotoksit emisyonlarını azaltmaktır.

✓ Hidrojen ile havanın “Fakir Karışım” oluşturmaları

Bir karışımda hava miktarının yakıt miktarına oranı 1 den büyükse, yani çok hava az yakıt karışmışsa bu karışım fakir karışım olarak adlandırılır.

Motor fakir karışımla çalışırsa yakıttan büyük tasarruf sağlanmış olur. Eğer yakıt çok azaltılırsa bu durumda düzensiz bir yanma meydana gelir ve elde edilen verim düşebilir.

Hidrojenin çok küçük bir yanma enerjisi, ancak çok geniş bir yanma aralığı vardır. Bu nedenle fakir karışım bir hidrojen yakıtın alevlenmesi için küçük bir kıvılcım bile yeterli olur. Karışım oranı benzilli motorlarda 1,4 doğalgazlı motorlarda 1,8 ‘e ulaşırken, hidrojen-motorda $\lambda=5,5$ kadar çıkabilmektedir. ²

Bu nedenle hidrojen fakir karışımlı yakıt teknolojisine en uygun yakıttır. Hidrojenin bir diğer avantajı da fakir karışımlı yanmalarda ($\lambda=2,6$ dan sonra) yanma sıcaklığının çok düşmesi sebebiyle NO_x emisyon değerlerinin sıfıra kadar inmesidir. Fakir karışımlı hidrojende egzoz gazının çıkış sıcaklığında hidrokarbon yakıtlara göre oldukça düşüktür. (400°C)

✓ Yüksek Verim

Hidrojenle çalışan motorun çalışma verimi benzinli motora oranla oldukça yüksektir. Bu hidrojen motorundaki yanma reaksiyonunun hızının termodinamiksel olarak benzinin yanma hızından büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca difüzyon hızında diğer geleneksel yakıtlara göre yüksek olması hidrojenle çalışan motorun veriminin % 40’ a kadar çıkmasına neden olmaktadır. Bu değer benzin-

li motorlarda hareket halinde % 23 ve sabit iken % 37 den daha büyük olamamaktadır.

Sabit düzenekli gaz motorun verimi % 44 e ulaşabilmektedir. Eğer motora bir de buhar türbinini kombine edilebilse bu kez verim % 50 nin üstüne çıkabilir. Bu verimi motorun gücü ile karıştırmamak gerekir. Çünkü hidrojen motor sisteminin gücü benzinli motorlara göre düşüktür.

✓ *Kütlesi - Maliyeti*

Sabit düzenekli kullanımlar için geliştirilen gaz motorunun kütlesi yakıt pilleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. Çünkü bu motorlarda yıllardır geliştirilen teknoloji kullanılmış ve zamanla hacim ve kütlede küçülme meydana gelmiştir. Ancak yakıt pilleri henüz son 10 yıldır gündemde olduğundan bu oranlarda beklenen seviyeye geline-memiştir. Örneğin UTC Fuel Cells tarafından geliştirilen 200 kW lık bir (PAFC) in kütlesi 200kW lık bir gaz motora oranla 7 kat daha büyüktür. (90 kg/kW_{e1}). Aynı şekilde fiyatları karşılaştırıldığında da PAFC in bedeli gaz motora oranla 7 kez daha pahalıdır (6.100 \$/kW_{e1}).



Resim 5.2 : UTC 'ye ait 200 kW değerindeki Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)

Araştırmalar küçük çaplı taşınabilir sistemler için henüz bu kıyasın yapılamayacağını göstermektedir.

Dezavantajları

✓ *Düzensiz Yanma*

Pistonlar gazın emilmesi sırasında aşağıya doğru hareket eder. Bu durumda dışarıdan gelen yeni oluşmuş gaz karışımı sübapların açılması ile içeride hala sıcak halde bulunan eski gaz ile karışır. Emme manifoldundan gelen gaz bitmeden içeride bulunan eski ve yeni karışan gazın tümünün yanması gerekir. Böylece sübapları geri iten gaz gelişini kısmen engelleyen bir patlamalı yanma olur buna geriye patlama denir. Geriye patlamanın en büyük sebebi hidrojenin parlama enerjisinin oldukça küçük olmasıdır.

Bir diğer sebep ise hidrojenin parlama sıcaklık aralığının geniş olmasıdır. Hidrojen için üst ve alt alevlenme sınır değerleri hacimce % 4 ile % 79 arasında kabul edilir. Alev çok çabuk oluşur ve piston tam aşağıya inmeden yanma odasında gerekli basınca ulaş-

madan geriye beslenir. Böylece yanma düzensiz hale gelir ve bu olay pistonun vurma hızı arttıkça daha belirgin hale gelir.

Sıcak bölgede meydana gelen yanma kor halinde yanma olarak tanımlanabilir. Bu sorun ancak sıcak bölgeye bir buji yerleştirilerek giderilebilir. Böylece motor düşük dönme hızlarında da sorunsuz çalışabilir.

Yanma odasında meydana gelen bu ısı artışı su soğutmalı bir sistemin yapıya montesi ile azaltılabilir. Ayrıca yanma odasının tasarımında köşeli yapılardan kaçınılmalıdır. Oval yapıda ateşleme ve enerji dağılımı daha kolay olmaktadır.

Başka bir sorunda piston içinde oluşan atık gazın sıcaklığından dolayı meydana gelen ısınmayı bertaraf etmektir.

Bu durumda oluşan gaz miktarının azalması için fakir karışım kullanmak daha avantajlıdır. Böylece hem yanma sıcaklığında hemde atık gaz oranında ve sıcaklığında bir düşme sağlanacaktır. Su ve hava ile soğutma aynı zamanda geri patlama riskini de azaltmakta olup oluşan azotoksit oranında düşme meydana getirmektedir.

✓ *Sıkıştırılma sırasında meydana gelen çarpıntılı yanma*

Yakıt daha önce bahsedildiği sisteme göre emme manifoldu ile yanma odasına çekildikten sonra piston sıkıştırmaya başladığında yakıtın tamamı yanmadan, geri patlamaya başlar. Bu ise pistonun hareketinde düzensizlik ve yanmada çarpıntı meydana getirir. Olayın oluşmasının temel sebebi ise sıkıştırılma sırasında karışımın sıcaklık ve basıncının yükselmesine bağlı olarak, yanma odasında meydana gelen artık yanmadır. Daha önce açıklandığı gibi hidrojenin her oranda kolaylıkla yanması bu olayı tetikler.

Ayrıca ortamda olan serbest hidrojen atomları da “çarpıntı” meydana getirir. Serbest hidrojen atomları yeterli sıcaklık ve yeterli basınç meydana geldiğinde havanın oksijeni ile kolaylıkla reaksiyona girer. Meydana gelen bu olayı ortadan kaldırmak için sıkıştırma oranını düşürmek gerekir. Bu ise motor gücünde belirgin bir düşüş meydana getirir. İstenmeyen bu durum benzinli motorların % 25 daha avantajlı hale gelmesini sağlar. Ayrıca çarpıntı emilen karışımın sıcaklığının su kullanılarak düşürülmesiyle biraz olsun azaltılabilir.

✓ *Soğutma suyu sisteminin bujilerde meydana getirdiği “Soğukstart”*

Sistemde elektrotlar su kullanılarak soğutulduğunda ateşlemede problemler meydana gelebilir. Bu yüzden buji sistemi ilk ateşlemeyi yapacak kadar enerjiyle beslenmelidir. Tam elektronik olarak düzenlenmiş yüksek gerilim - kondansatörü - ateşleme sistemi, özel kablolar ve bujilerle donatılmış böylece bu etki azaltılmaya çalışılmıştır.

✓ *Taşınma kayıplarından kaynaklanan verim düşüşü*

Hidrojenle çalışan yanmalı motorların gücü yüksek verimli yanmaya rağmen geleneksel kullanılan Otto-Motordan daha düşüktür. Benzin yakacak şekilde düzenlenmiş bir motor, hidrojen yakıtında % 55 ile 75 arasında bir güç kaybı gösterir. Bunun en büyük sebebi motorların hidrojen yakmak için tasarlanmamış olmasıdır.

Hidrojen / hava karışımı hacimsel olarak oldukça düşük bir yanma verimi gösterir. (3,240 kJ/m³). Bu kayıp taşıma kaybı olarak adlandırılır.

✓ *Hidrojenin yeteri kadar kaygan olmaması*

Hidrojen yakıt hidrokarbon içermediğinden dolayı yeteri kadar kaygan özelliğe sahip değildir. Motor yağı kendi başına ince bir film tabakası oluşturup sürtünmeden doğan kayıpları en aza indirmektedir. Hidrojenin yakıt olduğu durumlarda piston ve diğer aksamalarda sürtünmeye karşı dayanıklı halka ve contalar, ve grafit kaplanmış sübap uçları kullanılmalıdır.

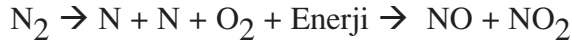
✓ *Yüksek Dayanıklı Malzemelerin Kullanım Mecburiyeti*

Sıvı hidrojenin kullanıldığı durumlarda oldukça düşük sıcaklıklarda (-253°C) çalışmak gerektiğinden bu sıcaklığa dayanıklı yüksek teknolojik malzemeler kullanmak gerekir. Hidrojenin sisteme verilmesi sırasında bile ortam sıcaklığının çok düşük olması, buradaki emme manifoldu ve sübap gibi bütün aksamalarda ısıya karşı dayanıklı malzeme kullanımını gerektirmektedir. Bu da maliyeti etkileyen en önemli parametrelerdendir.

✓ *Azot – Emisyon Değerleri*

Hidrojenin yanması sırasında ortamda hidrokarbon bulunmadığından yalnızca azot oksitler oluşur. Hidrojen yakan motorlarda iç karışım oluştuğunda karışımdaki azotoksit oranı analizle ölçülebilir.

“Zeldovich” tarafından ileri sürülen bu mekanizmaya göre havada moleküler olarak bulunan azot (N_2) önce atomik azota (N) parçalanır daha sonra oksijenle reaksiyona girerek azot oksitler oluşur.



Bu parçalanma için 2300°C gibi oldukça büyük sıcaklıklara ihtiyaç olup, reaksiyonun yürümesi de çok yavaştır. Hem reaksiyon sıcaklığını hemde oluşacak NO_x miktarını azaltmak için yakıtça “fakir karışım” kullanmak gerekir. ³

BÖLÜM 5

Kaynakça

- 1. www.energieportal24.de/wasserstoffmotor/gry-wasserstoffmotor.html*
- 2. Herdin, G., "Wasserstoff als Antriebsenergie für konventionelle Ottomotoren", Wasserstoff Expo, Jenbacher AG, 2001, Hamburg*
- 3. Scheuerer, K., "Energitragender Wasserstoff", Wasserstoffmotor und Brennstoffzellen, BMW Group, 2004*