DİZEL MOTORLARI YARDIMCI EKİPMANLARINDAKİ GELİŞMELER

Mustafa ÇANAKÇI,
A. Necati ÖZSEZEN*

Dizel motorlarından kaynaklanan partikül emisyonları (PM) ve azot oksitler (NOx) insan sağlığı ve çevremiz için ciddi bir problemdir. Dizel motorlarındaki gelişmelerin başlıca konusu bu iki emisyonun belirli sınırlar dahilinde olmasını sağlamaktır. 2005 yılında geçilmesi planlanan Euro 4 emisyon standartları ultra düşük emisyon oranlarını getirmektedir. Motor firmalarının sürekli olarak dizaynı üzerine çalışması, motor emisyonlarının çevresel etkisini minimize etmek içindir. Yüksek basınçlı enjeksiyon teknolojisi, egzoz gaz resürkilasyonu, değişken geometrili turboşarj, partikül filtresi, katalitik konvertör vb. gibi gelişmeler ile emisyon oranlarının düşürülmesi, bunun yanında dizel motor performansının artırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmada, dizel motorları yardımcı ekipmanlarındaki gelişmeler incelenmektedir.

***Anahtar sözcükler** : Dizel motor, yardımcı ekipmanlar, dizel emisyonları, performans*

Particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NOx) emissions from diesel engines are a serious problem for human health and environment. Fundamental topic of the developments in diesel engines is to provide these two emissions within specific limits. Euro 4 exhaust emission standards planned to use in 2005 demand ultra low emissions in the vehicles. Engine companies have continuously worked on engine design in order to minimize the environmental influence of exhaust emissions. Reduced diesel exhaust emissions and improved engine power output are the targets of the developments such as high pressure injection technology, exhaust gas recirculation, variable geometry turbo charge, particulate filter and catalytic converter in diesel engines. In this paper, developments in auxiliary equipments of diesel engines are investigated.

***Keywords** : Diesel engine, auxiliary equipments, diesel emissions, performance*

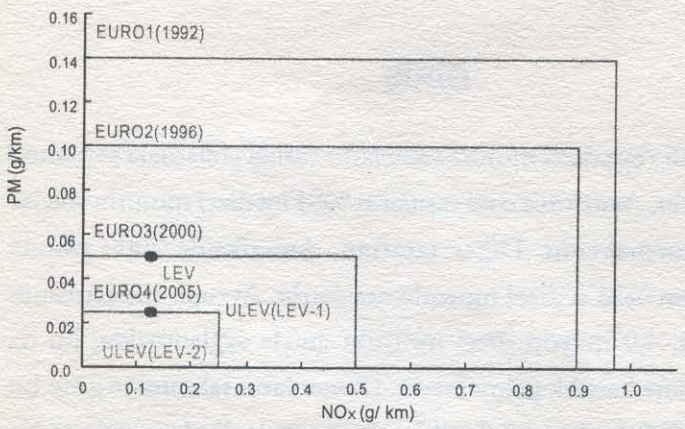
* *Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü*

GİRİŞ

Benzinli veya dizel motorlu araçların varlığı yollardaki sayılarına bağlıdır. Avusturya'daki taşıtların %61'ini dizel motorlu araçlar oluşturmaktadır. Diğer taraftan, Amerika'da 2000 yılında satılan araçların %26'sı dizel motorlu araçlardır. Avrupa endüstrisinin enerji ihtiyacı, 4,9 milyon dizel motorlu araçla sağlanmakta, bu da pazarın %33'üne karşılık gelmektedir. Uzmanların tahminine göre bu enerji ihtiyacı 2006'ya kadar 7,3 milyonun üzerinde dizel motorlu araçla sağlanacaktır, bu da pazarın %47'sini oluşturmaktadır. Bu göstermektedir ki teknolojideki gelişmeler, dizel motorların pazar payını artırmaya sebep olmuştur (1). Bununla birlikte, Avrupa'da ve dünyanın birçok yerinde yapılan çevresel düzenlemeler, dizel egzoz problemlerinin bir an önce çözülmesini gerektirmektedir. Ayrıca emisyonlar sınırlandırılırken motor performansı daha iyi hale getirilmelidir. Bunların sağlanması, insanların dizel bir araca sahip olmak istemesinin nedenlerindendir. Bu hedefi sağlama yolunda ilk teknolojik yenilik Honeywell's Transportation ve Power Systems Strategic Business Unit firmasının üretmiş olduğu turboşarj ile başlamıştır.

Endüstri uzmanlarının açıklamalarına göre geçmiş 10 yılda, dizel kaynaklı azot oksitler (NO_X) ve partikül (PM) emisyonları %85 kadar azalmıştır. Dizel motorlu araçlar benzinli araçlara nazaran karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve karbondioksit (CO_2) egzoz emisyonlarını daha az üretir iken partikül (PM) ve azot oksit (NO_X) emisyonlarını daha fazla üretmektedir. Dizel motorlarında sıkıştırmalı yanma prosesi ile termal verimi daha yüksek bir motor elde edilir. Fakat sıkıştırmalı yanma prosesi sonucu oluşan yüksek sıcaklık ile NO_X emisyon seviyesi artmaktadır. Partikül emisyonu seviyesinin azaltılabilmesi için yanmanın tam gerçekleşmesi gerekir. PM emisyonları, başlıca yakıt dağıtım sistemlerindeki gelişmeler, yanma odası dizaynının tekrar ele alınması ve turboşarj gibi yenilikler ile 1990'dan 1994'e kadar %83 oranında azaltılmıştır. Aynı zaman zarfında elektronik yakıt enjeksiyon, değişebilen enjeksiyon süresi ve silindire giren havanın soğutulması gibi yenilikler ile de NO_X emisyonları düşürülmüştür. Günümüzde PM emisyonlarını azaltmak için kullanılan partikül filtreleri

ile Euro 3 egzoz emisyon standartları yakalanmıştır (2). Şekil 1'de binek tipi dizel araçlar için Euro emisyon standartlarının gelişimi gösterilmektedir.



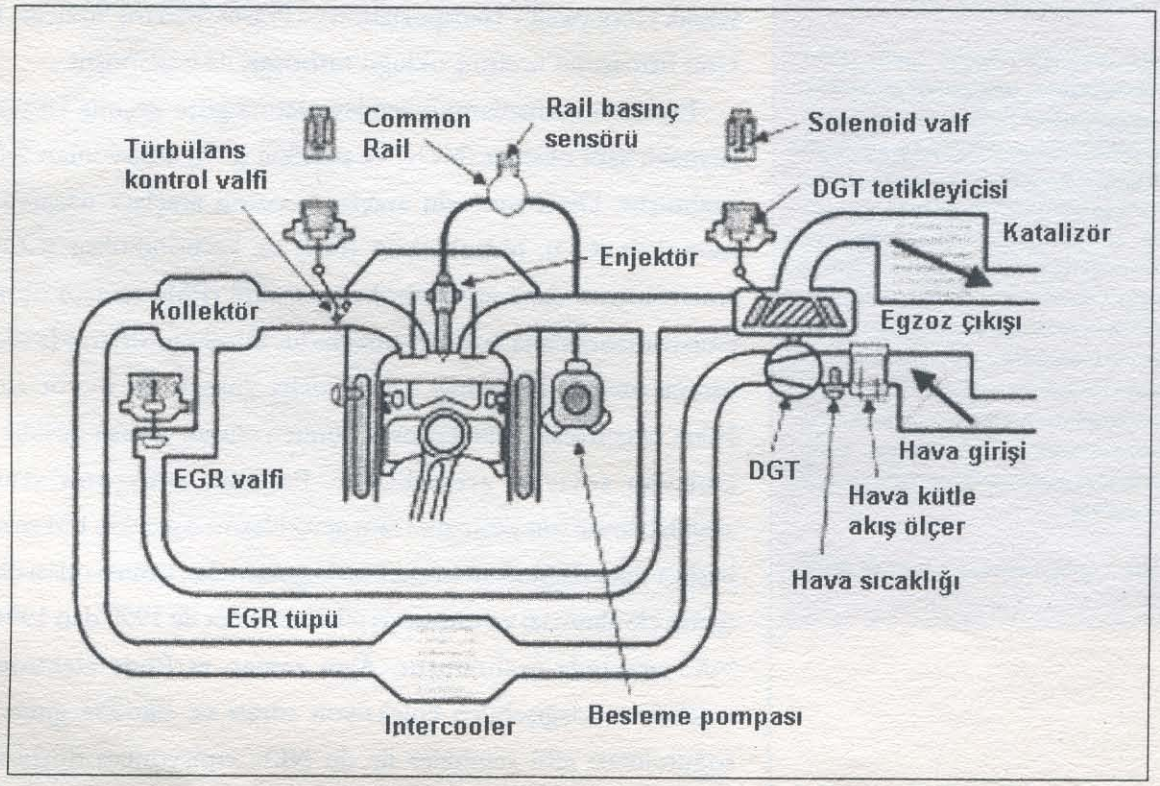
Şekil 1. Binek Tipi Dizel Araçlar İçin Euro Emisyon Standartlarının Gelişimi

Euro 4 egzoz emisyon düzenlemeleri Euro 3'e göre %50 daha az partikül oluşmasını istemektedir. Geleceğin emisyon standardı olarak tanımlanan Euro 4 CO / NO_X / PM = 0.5 / 0.25 / 0.025 g/km oranında sınırlamalar getirmektedir (3).

DİZEL MOTORLARIN YARDIMCI EKİPMANLARINDAKİ GELİŞMELER

Günümüz dizel motorlu araçları geçmiş altı yıla göre daha yüksek yakıt verimi gerçekleştirirken, egzoz emisyonlarında da azalma göstermektedir. Bu teknoloji, turboşarj, değişken geometrili turboşarj (DGT), egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemleri, her silindire çoklu supap, hava akış olayları, oksidasyon ve NO_X katalizörleri, partikül filtresi vb. gibi, yardımcı ekipmanlardaki gelişmeler ile mümkün olmaktadır. Bu sistemlerin araç üzerindeki genel dizaynı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu sistemler tam olarak elektronik kontrol ünitesindeki (ECU) yazılım ile kontrol edilmektedir. Ayrıca bu teknolojik gelişmeler, sistemi daha kompleks hale getirmiş, ve bunun sonucu olarak motorun maliyetinde ve kontrol sistemlerinde önemli bir artış olmuştur (4).

Turboşarj ile, doğal emişli bir motora göre çok daha fazla hava silindir içerisine alınabilmektedir. Yanma odasına daha fazla havanın alınması sonucu yakıtın tamamen

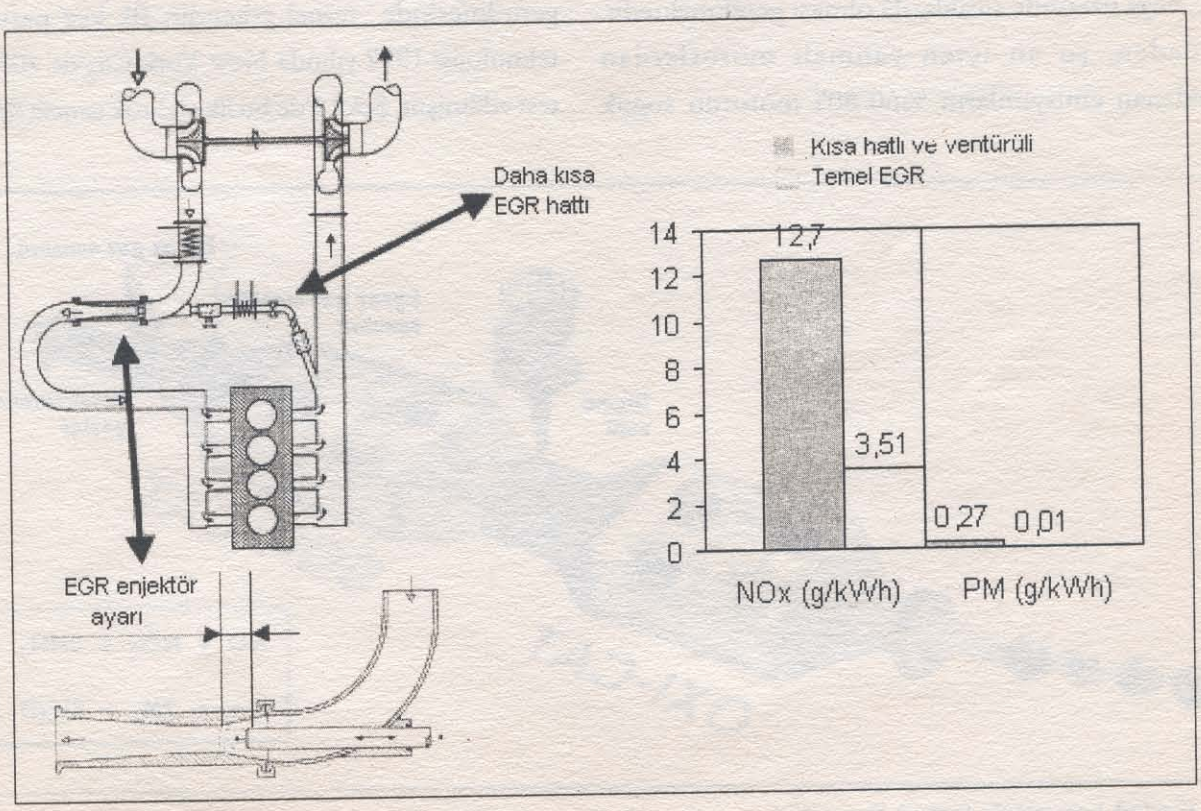


Şekil 2. Yardımcı Ekipmanlı Dizel Motor Dizaynı (5)

yanması mümkün hale gelmekte, böylece PM emisyonları azalmaktadır. Aslında turboşarj'ın temel prensibi çok basittir. Uygulamada ise turboşarj çok kompleks bir makinadır. Sadece turboşarj'ın parçalarının tam olarak koordine edilmesi yetmez, aynı zamanda motor ile turboşarj'ın uyum içerisinde çalışabilmesi için iyi bir tasarım gereklidir. Düşük güç yoğunluğunu karşılamak için dizel motorları turboşarj ile donatılmaktadır. Turboşarjın hava giriş kısmı, kompresöre bir basınç sensörü veya motor yönetim sistemine (the engine-management system) bir vakum sensörü takmak suretiyle ahenkli bir şekilde değiştirilebilmektedir.

Son yıllarda, motorun tüm hız-yük şartlarında ve geçici rejimde herhangi bir kayıp olmaksızın iyi bir performans elde etmek için DGT kullanılmaya başlanmıştır. DGT sisteminde, giren egzoz gazını sınırlandırmak için türbin tekerleği üzerinde bulunan kanatçıkların yönü bir tetikleyici ile ayarlanmaktadır. Bu değişken akış oranları, istenen basınç ve sıcaklık şartlarının oluşmasına izin verir. Düşük motor hızlarında yani yakıt akışının az olduğu durumlarda DGT türbin çarklarına giren havayı azaltır, böylece istenen yüklere göre turbo gücünü optimize eder (6). Motorun yüksek basınç üretimini sürdürmesi gerektiği durumlarda, hız/yük veya yüksek yakıt akışına göre, DGT hava giriş kısmını iyice açar bunun yanında turboşarjın aşırı hızlı dönüşüne de izin vermez.

EGR sistemi, yanma odası içerisindeki hava-yakıt karışımını egzoz gazları ile seyrelterek yanma sonu sıcaklıklarını, dolayısıyla üretilen NO_x miktarını azaltmaktadır (7). Hem EGR hem de türbin çalışması egzoz gazları tarafından sağlanmaktadır. Bu durum EGR ve Türbin arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Geleneksel kontroller bu bağlantıyı ihmal ederken, DGT'yi artan basıncı kontrol etmek için EGR valfini de havanın kütlesel debisini kontrol etmek için kullanır. Son zamanlarda yüksek hızlı dizel motorlarında EGR ve DGT kontrolü koordineli olarak sağlanmaktadır (8). EGR sisteminin kısa yoldan emme manifolduna bağlanması ve emme manifolduna ventüri konulması, uzun yollu bağlantılardan çok daha fazla NO_x emisyonlarını azaltmıştır (9). Şekil 3'de ventürili tip EGR sistemi ve emisyon iyileştirmeleri gösterilmiştir. Bu

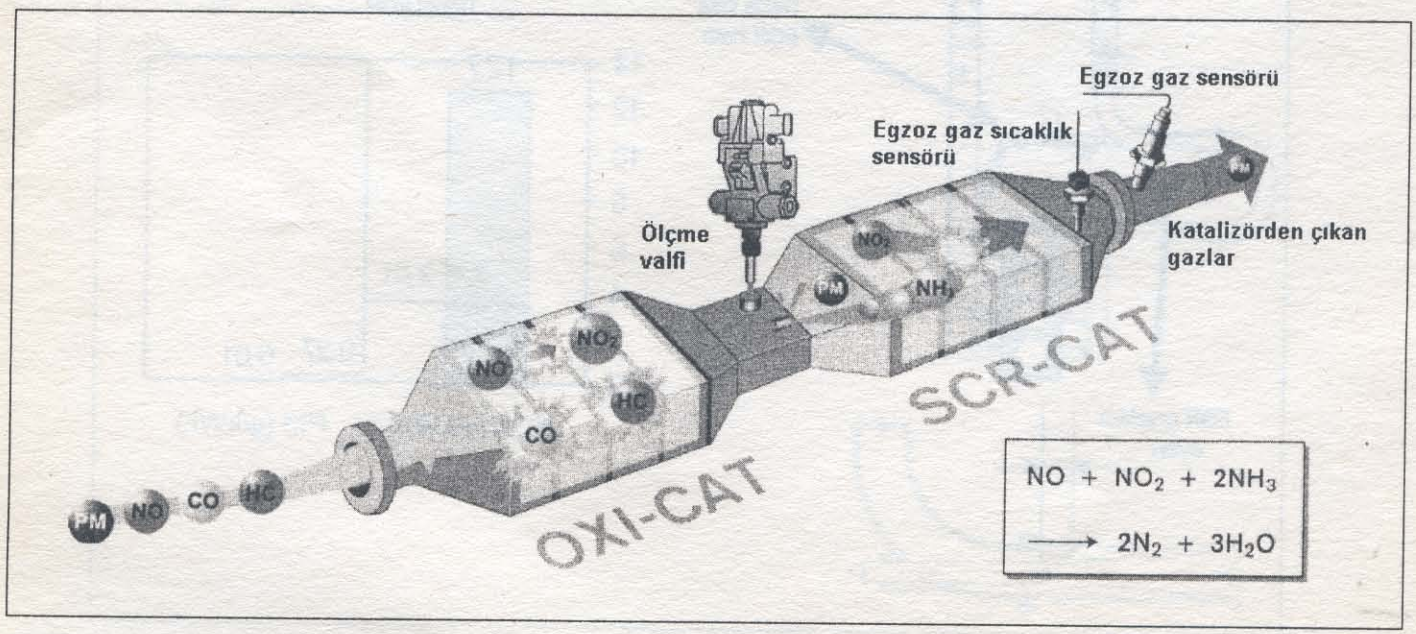


Şekil 3. *Ventürili Tip EGR Sistemi ve Emisyon İyileştirmeleri*

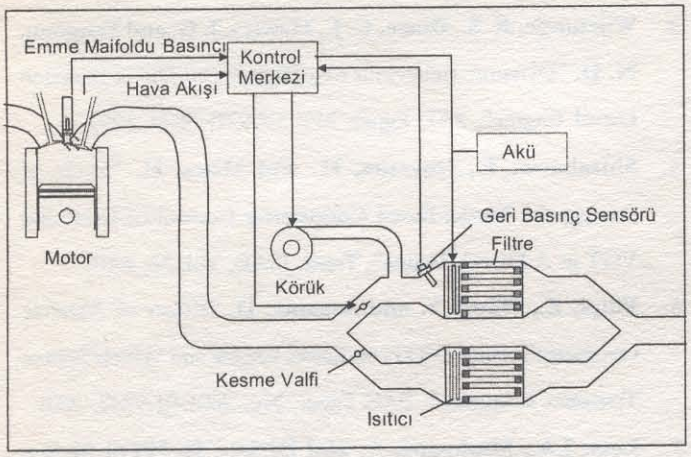
sistemde EGR valfi olarak enjektör kullanılmış böylece sistem çok daha basit kontrol edilebilmiştir. Ayrıca motorun geçici rejimlerinde de EGR'nin çok hızlı cevap verebildiği gözlenmiştir.

Günümüzde elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemlerinin kullanımı ile içten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyon üretimi minimize edilmiştir. Buna ilave olarak, katalitik konvertörlerin kullanımı egzoz emisyonlarını daha da azaltılmıştır (10). İlk olarak 1970 yılında kullanılan katalitik konvertör, sadece CO ve HC emisyonlarını kontrol edebilmiştir. Daha sonra, 1980 yılının başında NO_x emisyonlarını da kontrol eden katalik konvertörler kullanılmaya başlandı ve üç yollu konvertör "three-way converter" olarak isimlendirildi. Katalitik konvertörler %97'ye varan oranlarda HC, %96'ya varan oranlarda CO ve %90'a varan oranlarda NO_x emisyonlarını azaltmaktadır (11). Konvertörler CO ve HC emisyonlarını karbondioksit ve su buharına çevirir. Şekil 4'de katalitik konvertörün şematik yapısı gösterilmektedir. Bununla birlikte bu yüksek değişim oranlarının sağlanabilmesi için konvertörlerin özellikle 300oC veya üzerinde sıcaklarda olması gerekmektedir. Bu yüzden, şu an içten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyonların %60-80'i motorun soğuk çalışma şartlarında meydana gelmektedir. Artan bu soğuk çalışma emisyonlarını azaltmanın yollarından biri ULEV (Ultra-Low Emission Vehicle) ve çağdaş emisyon düzenlemeleridir. Geçmiş beş yılda soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak için birkaç yaklaşım geliştirilmiştir. Elektrik ısıtmalı ve yakıt ısıtmalı konvertörler, sistemi 10 saniyeden 2 dakikaya kadar ısıtarak konvertör çalışma şartlarının daha çabuk oluşmasını sağlamaktadır. Bu sistemler motorun soğuk çalışma şartlarında oluşan CO ve HC emisyonlarında %70 oranında azalış meydana getirmektedir (12). Bu, sistemi daha kompleks ve hassas hale getirirken, maliyetin artmasına da yol açar. Bir başka yaklaşım da konvertörü egzoz manifolduna yakın bir yere ve egzoz gazlarının akış yönünün yukarısına yerleştirmektir. Böylece konvertör 1 dakikanın altında çalışma sıcaklığına ulaşmaktadır. Son zamanlarda Honda bu yaklaşımlı katalitik konvertörü ULEV normlarını yakalamak için CIVIC modelinde kullanmıştır.

Dizel partikül filtreleri (DPF) dizel kaynaklı partikül emisyonlarının Euro 3 emisyon standartlarına getirilmesinde temel etkendir. İlk kez partikül filtre teknolojisi 1992 yılında New York City'de 400 otobüste test edilmiştir. Şekil 5'de bu ilk elektrik ısıtıcılı tip DPF'nin



Şekil 4. Katalitik Konvertörün Şematik Yapısı (13)

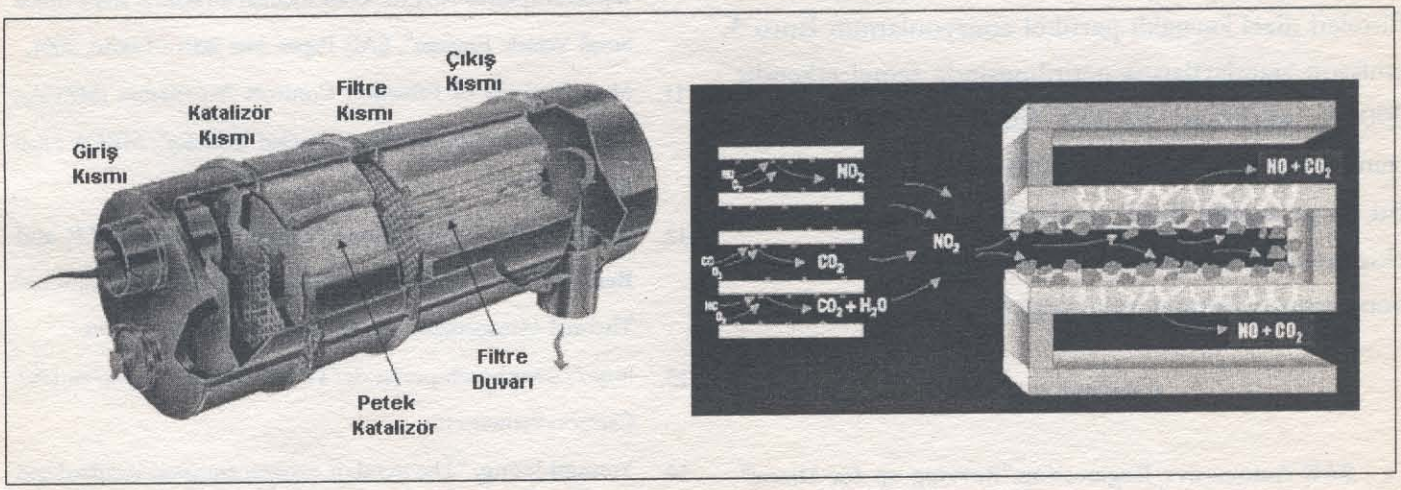


Şekil 5. Elektrik Isıtıcılı Tip DPF Sisteminin Şematik Yapısı

şematik yapısı gösterilmektedir. Sisteminin filtresinde toplanan partiküller periyodik olarak imha edilmektedir. Filtre optimum yüke ulaşana kadar partikül ile doluyor ve daha sonra körük ve ısıtıcı tekrar sistemi eski haline getiriyordu. Partikül yükü, emilen hava akışı, filtre basıncı ve filtre giriş sıcaklığı ölçülerek belirleniyordu (14).

Daha sonra sisteme brülör ve kısma sistemi eklenerek, bir dış ısıtıcı kaynak yardımıyla partiküller yakılır hale geldi. Bu sistem aktif rejenerasyon sistemi olarak isimlendirildi ve birinci kuşak DPF teknolojisi olarak görüldü. Fakat bu teknolojide filtre basıncının artarak düşmesi yakıt tüketimini artırırken, sistemin karmaşıklığı ve güvensizliği, birinci kuşak DPF'nin sonunu getirdi. DPF teknolojisi farklı bir boyutta gelişerek ikinci kuşak pasif rejenerasyon DPF teknolojisi oluştu (15). Bu sistemde yakıt katkıları ve katalizör kullanımıyla PM emisyonları azaltılmaya çalışıldı. 2000 yılında Peugeot, dizel binek araçlarını yakıt katkı sistemlerine dayanarak üretmeye başladı.

Jhonson Matthey CRT (Continuously Regenerating Technology) teknolojisini geliştirerek dikkatleri üzerine çekti. Şekil 6'da CRT tipi partikül filtresi gösterilmektedir. CRT teknolojisinin temeli partiküllerin kolayca NO_2 ile oksitlenmesine dayanmaktadır. 550°C'nin üzerinde bir sıcaklıkta karbon, oksijenle oksitlenir iken NO_2 ile 250°C'de reaksiyona girmeye başlamaktadır. CRT, üst kısımda oksidasyon filtresi ve alt kısımda seramik filtre olmak üzere iki filtreden oluşmaktadır. Dizel emisyonlarında var olan nitrit oksit (NO) oksidasyon katalizörüne girerek NO_2 oluşturur. Daha sonra oluşan NO_2 alt filtreye girerek partiküllerle reaksiyona girer. CRT teknolojisi ile PM emisyonları %90 oranında azaltılmaktadır. CRT sisteminin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için egzoz gaz sıcaklığının 275°C üstünde olması, yakıttaki sülfür içeriğinin 500 ppm'den az olması, ve NO_X /PM oranının 20'den büyük olması gerekmektedir (16).



Şekil 6. CRT Tipi Partikül Filtresi

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dizel motorlarında yanma sonucunda başlıca CO, HC, CO_2, PM, NO_X emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir

tehdit oluşturmaktadır. Bu yüzden Avrupa Euro egzoz emisyon standartları gibi yasal düzenlemeler emisyon seviyesinin belirli sınırlar dahilinde olmasını istemektedir. Yasal düzenlemelerin uygulanabilmesi, yanmanın iyileştirilmesi ve yardımcı ekipmanlarla egzoz emisyon seviyesinin kontrol altına alınması ile mümkündür. Dizel motorlarındaki yanma prosesi sonucu oluşan yüksek sıcaklık ile verim artarken, NO_X emisyon seviyesi de artmaktadır. Geliştirilen EGR sistemi ile yanma odası içerisindeki hava-yakıt karışımı egzoz gazlarıyla seyreltilerek yanma sonu sıcaklıkları, dolayısıyla da üretilen NO_X miktarı azaltılmaktadır. EGR ile azaltılan NO_X seviyesi egzoz borusuna yerleştirilmiş katalik konvertörler yardımıyla %90'lara kadar daha da azaltılmaktadır. Ayrıca katalitik konvertör yardımıyla %97'ye varan oranlarda HC, %96'ya varan oranlarda CO emisyonları düşürülmektedir. Partikül emisyon seviyesinin azaltılabilmesi için yanmanın tam gerçekleşmesi gerekmektedir. PM emisyonları, başlıca yakıt enjeksiyon sistemlerindeki gelişmeler, yanma odası dizaynının tekrar ele alınması, turboşarj, DGT, partikül filtresi gibi yenilikler ile azaltılmaktadır. Dizel partikül filtreleri dizel kaynaklı partikül emisyonlarının Euro 3 emisyon standartlarına getirilmesinde temel etkendir. 2005'de geçilmesi düşülen Euro 4 egzoz emisyon standartları ultra düşük emisyon oranları istemektedir. Bu da gelecekte dizel araçlarda kullanılan yardımcı ekipmanların çeşitliliğinin artacağına ve emisyon oranlarının iyileştirileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKÇA

1. **SAE** Automotive Engineering,"Revving up for Diesel", February, 2002.
2. **Lüders, H., Stommel, P. and Geckler, S.** "Diesel Exhaust Treatment - New Approaches to Ultra Low Emission Diesel Vehicles", SAE paper, No :1999-01-0108, 1999.
3. **Beatrice, C., Belardini, and Bertoli, C.** "Diesel Combustion Control in Common Rail Engines by New Injection Strategies ", Int.J., Engine Research, Vol (3):1, Sf: 23-36, 2002.
4. **Wijetunge, R. S., Brace, C. J., Hawley, J. G. and Vaughan, N. D.** "Dynamic Behaviour of a High Speed Direct Injection Diesel Engine", SAE Paper, No: 1999-01-0829, 1999.
5. **Shirakawa, T., Itoyama, H. and Miwa, H.** "Study of Strategy for Model-Based Cooperative Control of EGR and VGT in A Diesel Engine", Trans. JSAE, Vol. 22, 2001.
6. **Filipi, Z., Wang, Y. and Assanis, D.** "Effect of Variable Geometry Turbine (VGT) on Diesel Engine and Vehicle System Transient Response", SAE Paper, No: 2001-01-1247, 2001.
7. **Leet, J.A., Matheaus, A. and Dickey, D.** "EGR System Integration on a Pump Line-Nozzle Engine", SAE Paper, No: 980181, 1998.
8. **Van Nieuwstadt, M.J., Kolmanovsky, I.V. and Moral, P.E.** "Coordinated EGR-VGT Control for Diesel Engines: An Experimental Comparison", SAE Paper, No: 2000-01-0266, 2000.
9. **Lundqvist, U., Smedler, G. and Stalhammar, P.** "A Comparison Between Different EGR Systems for HD Diesel Engines and Their Effect on Performance, Fuel Consumption and Emissions", SAE Paper, No: 2000-01-0226, 2000.
10. **Archer, M. and Greg Bell, G.**"Advanced Electronic Fuel Injection Systems-An Emissions Solution for both 2- and 4-stroke Small Vehicle Engines", SAE Paper, No: 2001-01-0010, 2001.
11. Manufacturers of Emission Controls Association (MECA), "Emission Control of Diesel-Fueled Vehicles", MECA Final Report, 1997.
12. **Burch, S.D., Keyser, M.A., Colucci, C., Potter, T.F. and Benson, D.K.** "Applications and Benefits of Catalytic Converter Thermal Management", SAE Paper, No: 961134, 1996.
13. http://www.bosch-presse.de/TBWebDB/bosch-pbj/en-US/CategoryBrowse.cfm
14. **Youngil Jeong,** "The trend of exhaust emission standard and diesel particulate filter trap technology for diesel powered vehicles", Busan Engine International Symposium, Busan, Korea, December 13-14, 2001.
15. **Ronald L. Graves,** "Review of Diesel Exhaust Aftertreatment Programs", SAE paper, No: 1999-01-2245, 1999.
16. **Khair, M.K.** "A Review of Diesel Particulate Filter Technologies", SAE paper, No: 2003-01-2303, 2003.