

FARKLI FREN DİSKLERİNDE OLUŞAN ISI DEĞİŞİMİNİN FRENLEME KUVVETLERİNE ETKİLERİ

Mesut DÜZGÜN

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara

Geliş Tarihi : 25.08.2007

Kabul Tarihi : 01.12.2008

ÖZET

Bu çalışmada iki farklı soğutmalı fren diski üretilerek bunların normal fren diski ile frenleme performansları ve ısı oluşumları deneysel olarak incelenmiştir. Ani frenlemeler ile frenleme kuvvetleri ve sürekli frenleme şartlarında sıcaklıklar ölçülmüştür. On dört farklı pedal kuvvetinde ani frenleme testleri ve sekiz farklı frenleme şartlarında ise frenleme sıcaklıkları test edilmiştir. Test sonuçlarına göre hava soğutma uygulaması, frenleme kuvvetini % 42,6 artırmakla birlikte şartlara bağlı olarak oluşan ısıyı da % 31,5 azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler : *Hava ile soğutma, Frenleme kuvveti, Isı üretimi, Fren diski.*

THE EFFECT OF HEAT VARIATION ON DIFFERENT BRAKE DISK BRAKING FORCES

ABSTRACT

In this study, two different ventilated brake discs were manufactured and their braking force performances and heat generations were investigated experimentally together with a solid disc. Braking force outputs were examined in sudden and continuous braking conditions and disc temperatures were simply measured in continuous braking conditions. Fourteen pedal forces were used in sudden braking tests and eight periodic measurements were executed in continuous braking tests. Experiment results showed that ventilation applications not only increased the brake force outputs up to 42.6 %, but also reduced the heat formation on discs up to 31.5 % depending on test conditions.

Keywords : *Ventilation, Braking force, Heat generation, Brake discs.*

1. GİRİŞ

Hava kanallı fren diskleri yüksek performans diskleri olarak üretilmekte ve üzerlerinde farklı şekillerde delik veya kanallar bulunmaktadır. İlk olarak 1960'larda yarış otomobillerinde test edilmişlerdir. Günümüz otomotiv sektöründe ise farklı dizayn ve şekillerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chatterley ve Macnaughtan, 1999; Patrick, 2002). Örneğin, Zuber ve Heidenreich, CMC (Carbon fiber reinforced ceramic matrix

composites) malzemeden üç farklı soğutma kanallı disk üreterek bunların birbirlerine göre dayanımlarını test etmiştir (Zuber ve Heidenreich, 2006).

Frenleme işlemi esnasında aracın sahip olduğu kinetik enerji ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Ve bu enerjinin yaklaşık % 90'ı fren disklerinde ısı enerjisi olarak depolanır. Bu enerjinin bir kısmı ise ortama transfer edilir. Soğutma kanalsız katı diskler bu ısı transferini çok yavaş gerçekleştirirler. Diğer taraftan soğutma kanallı fren diskleri ise, bu ısı

transferini iç kanal yapılarındaki hava sirkülasyonu sayesinde daha çabuk yaparlar (Hudson ve Ruhl, 1997; Breuer ve Karlheinz, 2008). Soğutma kanallı fren disklerinin ısı transfer katsayıları katı disklere göre iki kat daha fazladır (Limpert, 1999).

Antanaitis ve Rifci (2006) bir fren diski üzerine açtıkları dairesel 90 adet kanal ile taşıt hızına bağlı olarak disk üzerindeki ısı transferinde % 8,8'den % 20,1 e kadar bir değişim ve artış elde etmişlerdir. Aynı zamanda bu delikler sayesinde disk ile balatalar arasında oluşan balata tozlarının yanması sonucu ortaya çıkan gaz dışarı atılmaktadır. Bununla birlikte ıslak zemin şartlarında frenleme durumlarında bu açılan delikler disk ile balata arasındaki su filminin de oluşmasına engel olarak su parçacıklarının da burardan atılarak daha kuru bir frenleme işlemi gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Hava soğutma kanallı diskler üzerlerinde oluşan gerilimler karşısında zamanla çatlaklar meydana gelmektedir. Bununla birlikte fren balatalarındaki aşınım miktarlarının artmasına da neden olmaktadır. Ancak bütün bunlara karşın taşıtta yavaşlama ve durma performansını da artırmaktadır (Brecht, 1998).

Bu çalışmada 2 farklı hava kanallı fren diski; enine kanallı disk ve boyuna kanallı disk (Şekil 1) üretilmiştir. Bu diskler ile elde edilen frenleme kuvvetleri ve disk sıcaklık değişimleri incelenerek bu disklerin frenleme performansları normal katı diskler ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. a) ATE katı disk, b) Enine kanallı disk, c) Boyuna kanallı disk.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan diskler Şekil 1'de görülmektedir. Hava soğutmalı diskler katı diskten üretilerek elde edilmiştir. Bu disklerde enine ve boyuna kanallar dizayn edilirken dairesel şekiller

özellikle disk şekline ve dönüş yönüne uyum sağlaması açısından tercih edilmiştir. Enine kanallı diskte delikler 5,2 mm çapında ve yay şeklindeki dağılım çapları 60,54 mm'dir. Bu kanallar disk etrafına 5'li gruplar halinde 20 adet yerleştirilmiştir. Yani toplam 100 adet soğutma kanalı açılmıştır. Boyuna açılmış kanallı disklerde ise kanal genişliği 6,9 mm ve yay çapı 67,3 mm'dir. Kanallar tamamen disk boyunca yay şeklinde açılmıştır. Enine ve boyuna kanallı disklerde kanallar 3 yönlü CNC freze tezgâhında açılmıştır.

Diskler Şekil 2'de görülen fren test cihazında test edilmiş ve frenleme kuvvetleri, sıcaklık değişimleri bu test düzeneğinde ölçülmüştür. Pedal kuvveti değişimine göre frenleme kuvveti ölçülmüş ve zamana göre sabit pedal kuvvetinde sıcaklık ölçülmüştür. Pedal kuvveti ve frenleme kuvveti sistem üzerine yerleştirilmiş piezo elektrik sensörler ile ölçülmektedir. Disk sıcaklıkları ise termocouple ile ölçülmektedir. Sisteme bağlanan diskler 4 kW'lık bir elektrik motoru ile 450Nm tork ve 34 d/dk ile döndürülmektedir. Diskler saat dönüş yönünde hareket ettirilmiştir. Testlerde ATE 501 FF marka balatalar kullanılmıştır. Balata malzemeleri % 3 Aramid fiber, % 9 Novolac phenolic resin, %2 NBR lastik, % 15 Potassium titanate, % 20 Mixture sulphide, % 10 Graphite, % 15 Bakır, % 10-20 Barite, % 5 Aliminyum oksit, % 10 Cashew, % 2 Cellulose Fiber, % 6 Magnezyumoksit, % 5 Mica ve % 5 Wollastonite'dir.

Balata malzemelerinin kompozisyonları farklı kütle aşınım metodlarına göre, aşınım miktarları göz önünde bulundurularak belirlenmektedir (Rooij ve Schipper, 1998).



Şekil 2. Fren test cihazı.

2. 1. Test Prosedürü

Disklerde frenleme kuvveti ve ısı değişimine yönelik olarak iki grup test işlemi gerçekleştirilmiştir. Birinci olarak 14 farklı pedal kuvvetinde (25 N, 50 N, 75 N, 100 N, 125 N, 150 N, 175 N, 200 N, 225 N, 250 N, 275 N, 300 N, 325 N ve 350 N) ani frenleme şartları sağlanarak frenleme kuvvetleri ölçülmüştür. Bu testler sonucunda diskler sürekli 100 °C'nin altında tutularak soğuk frenleme işlemi dediğimiz yöntem takip edilmiştir (Aleksendric ve Duboka, 2007). Bu durumun değişmesi yani sıcaklığın 100 °C'nin üzerine çıkması halinde, fren diskleri ile balata arasındaki sürtünme katsayısı değişim göstereceğinden testlerde bu hususa dikkat edilmiştir.

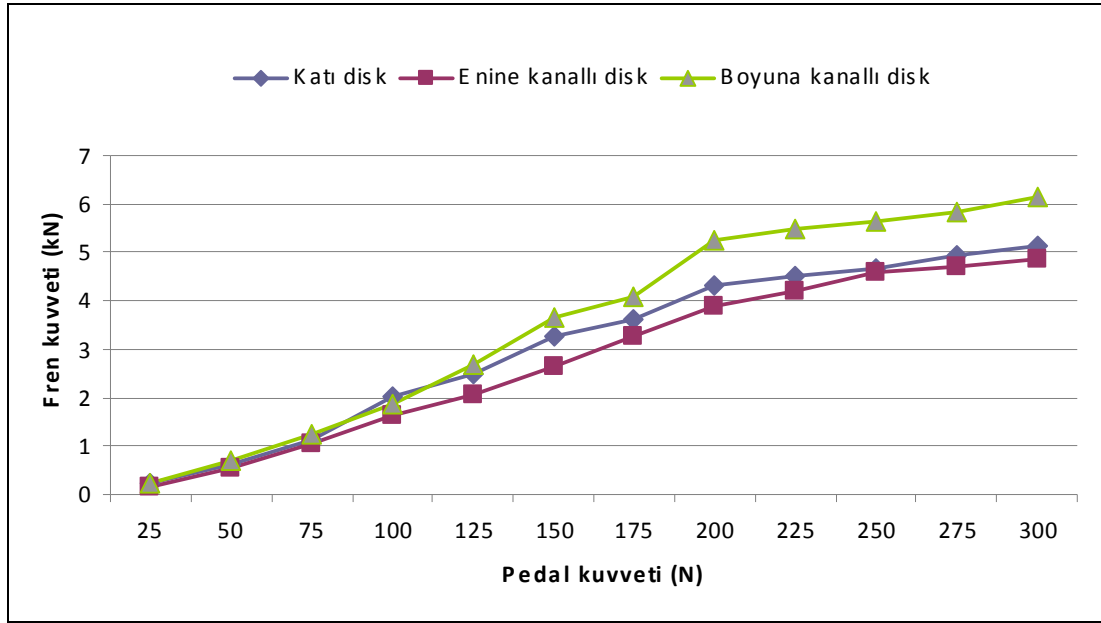
İkinci grup testlerde ise sekiz ayrı zamana (30 s, 60 s, 90 s, 120 s, 150 s, 180 s, 210 s ve 240 saniye) bağlı olarak sürekli sabit 250N pedal kuvvetinde oluşan sıcaklıklar ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3. 1. Ani Frenleme Şartları

Şekil 3'de birinci grup testlerin, pedal kuvveti değişimine bağlı olarak ani frenleme şartlarında oluşan frenleme kuvvetleri değişimi görülmektedir. Testlerin sonucunda bütün disklerde düşük pedal kuvvetlerinde oluşan frenleme kuvvetlerinde ciddi farklılıklar ve değişimler görülmektedir.

Fakat buna karşılık pedal kuvvetinde artış başladıkça disklere göre oluşan frenleme kuvvetlerinde de değişimlerin arttığı açıkça görülmektedir. 150N pedal kuvvetinde boyuna kanallı diskte frenleme kuvveti katı diske göre % 10,7 daha fazla oluşmuştur. Pedal kuvveti 200N olduğunda bu fark % 18,1'e kadar çıkmıştır.



Şekil 3. Farklı pedal kuvvetlerine bağlı olarak fren kuvveti değişimi.

Bu sonuçlar boyuna kanallı disklerde oluşan sürtünme kuvvetinin katı disklerde oluşan sürtünme kuvvetine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Frenleme kuvvetinin artması disk üzerindeki boyuna açılmış kanal şeklinin sürtünme kuvvetini artırması şeklinde açıklanabilir. Bununla birlikte sürtünme sonucunda ortaya çıkan balata tozları bu kanallardan çok hızlı bir şekilde dış ortama atılmaktadır. Bu durumda sürtünme kaybı oluşmayacağından balata tozları frenlemeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 4'de kanallar içerisinde birikmiş balata tozları görülmektedir.



Şekil 4. Boyuna kanallı diskte frenleme sonrası kanallarda birikmiş balata tozları.

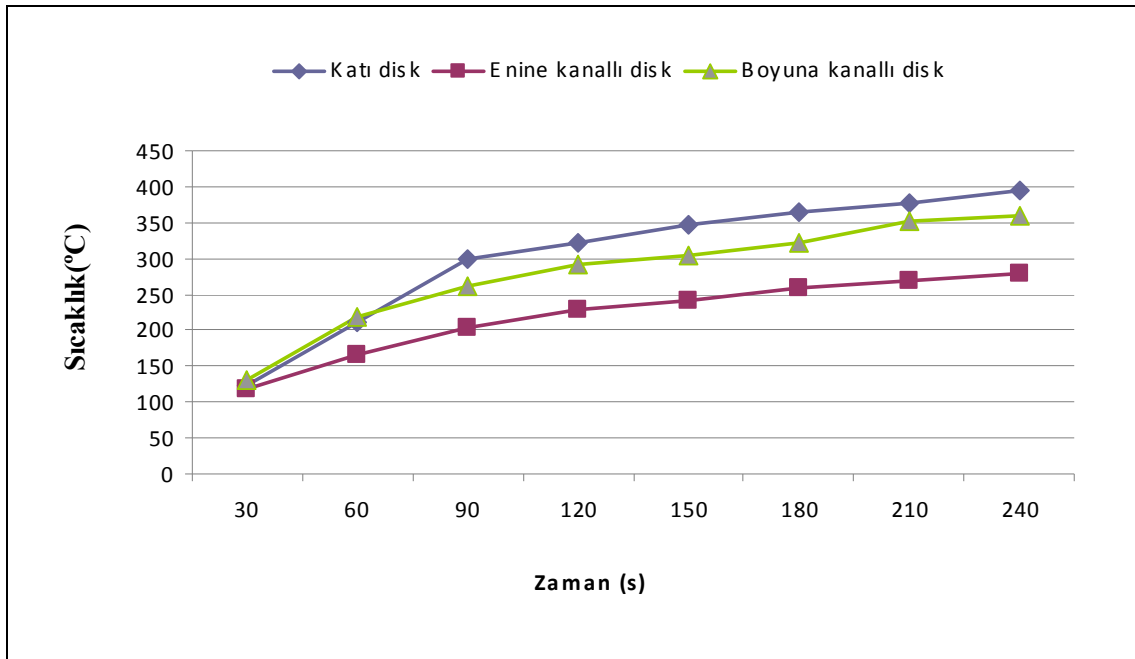
Enine kanallı disk ile katı disk karşılaştırıldığında ise frenleme kuvvetleri değişimlerinin çok yakın oldukları gözlemlenmektedir. Ancak enine kanallı diskte katı diske göre balata aşınmalarının fazla olmasından dolayı frenleme olumsuz yönde etkilenmektedir. Katı disklerde balata aşınmaları az olacağından frenleme yüzeylerinde frenlemeyi olumsuz etkileyecek şartlar bulunmamaktadır. Ancak bu balata aşınmaları sonucunda oluşan tozların frenlemeye etkileri tarsımdan kaynaklanan farklılıklara göre çok düşüktür.

3. 2. Sürekli Frenleme Şartları

250N sabit pedal kuvvetinde diskler üzerinde oluşan ısı değişimleri Şekil 5’de görülmektedir. Katı diskte sadece yüzeysel bir ısı transferi olması dolayısı ile frenleme sonucunda depolanan ısı maksimum bu disk üzerinde oluşmuştur. Enine ve boyuna kanallı disklerde hava ile temas yüzeyleri arttığından ve dönme hareketi esnasında oluşturulan hava sirkülasyonundan dolayı bu disklerde depolanan ısı

daha düşüktür. Ancak boyuna kanallı diskte oluşan frenleme kuvveti fazla olduğundan bu diskte ısı enine kanallı diske göre daha fazla olmuştur. Örneğin 60s boyunca sürekli frenleme sonucunda katı diskte oluşan sıcaklık 210 °C’dir. Enine kanallı diskte ise bu sıcaklık 165 °C, boyuna kanallı diskte ise 205 °C’dir. Diğer taraftan boyuna kanallı diskte sıcaklık miktarı süre arttıkça katı diske göre % 7,1 ve % 12.3 arasında azalmıştır. Diğer taraftan en düşük sıcaklıklara enine kanallı diskte ulaşılmıştır. Katı disk ile karşılaştırıldığında % 10 ve % 31,5 arasında zamana bağlı değişim göstermiştir.

Hava soğutma etkisinin sıcaklık değişimini olumlu yönde etkilediği frenleme performansı açısından iyi bir sonuçtur. Bununla birlikte yüksek sıcaklık değerleri disk ile balata arasındaki sürtünme katsayısını azaltmaktadır (Vries ve Wagner, 1992). Bundan dolayı hava soğutmalı diskler yüksek performans gerektiren frenleme işlemlerinde daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 5. Disk sıcaklıklarının zamana göre değişimleri.

3. 2. Fren Balatalarındaki Aşınma Miktarı

Farklı disk tasarımlarındaki frenleme şartlarında balatalarda oluşan aşınma miktarları gram (gr) olarak Tablo 1’de verilmiştir. Burada aynı balata bütün frenlemelerde kullanılmış ve balatanın başlangıçtaki ağırlığı tabloda verilmiştir. Bunun üzerinden her bir diskte yapılan frenlemelerdeki aşınma miktarı düşülmüştür. Balata 1 kaliper hidrolik girişindeki

balata, balata 2 ise kaliperin diğer karşı tarafındaki hareketli pistonun ittiği balatadır.

300s boyunca 250 N sürekli frenleme şartları altında balataların aşınma miktarları ayrı ayrı gözlemlenmiştir. Balata tozlarının ağırlıklarının tespiti çok güç olduğu için çalışmada kullanılan balataların ne kadar aşındığı gözlemlenerek aşınma miktarı araştırılmıştır.

Tablo 1. Farklı disk tasarımlarında kullanılan aynı balatada meydana gelen aşıntı miktarları.

Diskler	Balata ağırlıkları (gram)	
	Balata 1 (Aşıntı miktarı)	Balata 2 (Aşıntı miktarı)
Frenlemeden önceki balata	364.0	362.2
Katı disk ile frenlemede	363.5 (0,5)	361.6 (0,6)
Enine kanallı disk ile yapılan frenlemede	362.8 (0,7)	360.8 (0,8)
Boyuna kanallı disk ile yapılan frenlemede	360,1 (2,7)	359.4 (1,4)

Aşıntı miktarları incelendiği zaman katı diskte birinci balatada 0,5 gr ikinci balatada ise 0,6 gr olduğu görülmektedir. Aynı balata için enine kanallı disk ile yapılan frenlemede birinci balatada 0,7 gr ikinci balatada ise 0,8 gr'dır. Boyuna kanallı disk ile yapılan frenlemelerde ise aynı balata takımı için birinci balatada 2,7 gr ve ikinci balatada 1,4 gr olduğu gözlemlenmiştir.

Buradan da anlaşılacağı üzere katı disklerdeki balata aşıntısına göre boyuna kanallı tasarım özelliklerine sahip disklerde kullanılan balata aşıntılarının % 130 (1,33 kat) ile % 440 (4,4 kat) arasında arttığı görülmektedir. Aynı balata için enine kanallı disklerde kullanılan balatalarda aşıntı miktarı katı disklerdeki balata aşıntı miktarına göre % 33 (0,3 kat) ile % 45 (0,4 kat) arasında değişmektedir.

Bu sonuçlara göre boyuna kanallı disklerde kanalların balata yüzeyine paralel temas ederek aşıntı miktarlarını çok fazla artırdığını, enine kanallı disklerde ise bu temas yüzeylerinin çok keskin olmaması ve yüzeye dik temas olmasından dolayı aşıntı miktarının da diğer tasarıma göre çok az artırdığını söyleyebiliriz.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı farklı disk tasarımlarına göre yüksek sıcaklık üreten fren disklerinde hava soğutmasının frenleme performansına etkilerini belirlemek ve bunları analiz yapmaktır. Fren balatalarındaki aşıntılar da önemlidir. Bu amaç için farklı üç adet fren diski, katı disk, enine kanallı disk, boyuna kanallı disk üretilerek bunlar üzerinde çalışılmış ve bunlar karşılaştırılmıştır.

Ani frenleme şartlarında boyuna kanallı disk maksimum frenleme kuvvetini vermiştir. Maksimum ısı oluşumu katı disk üzerinde meydana gelmiştir. Minimum ısı oluşumu ise enine kanallı diskte meydana gelmiştir.

Farklı tasarım şekillerinin frenleme kuvveti ve ısı değişimine etkileri tartışılmalıdır. Bununla birlikte farklı tasarımların frenleme kuvveti artışı sağlamanın yanı sıra oluşturduğu balata aşıntılarını da göz ardı edilmemelidir. Ölçümler kanallı disklerde katı disklerle göre oluşan balata aşıntılarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda aşıntılarını minimize edecek, aynı zamanda soğutma etkisini ve frenleme kuvveti artışını sağlayacak yeni tasarımlar üzerinde durulmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Aleksendric, D. and Duboka, C. 2007. A neural model of automotive cold brake performance, FME Transactions. (35), 9-14.
- Antanaitis, D. and Rifici, A. 2006. The effect of rotor crossdrilling on brake performance, SAE 2006-01-0691. 571-596.
- Brecht, J. 1998. Influence of material selection on stresses in ventilated brake discs, Textar GmbH, SAE Paper No: 980595.
- Breuer, B. and Karlheinz H.B. 2008. Brake Technology Handbook, First English Edition, SAE International, Warrandale, Pennsylvania, USA..

Chatterley, T.C. and Macnaughtan, M.P. 1999. Cast Iron Brake Discs - Current Position, Performance and Future Trends in Europe. SAE 1999-01-0141, 23-33.

Hudson, M.D. and Ruhl, R.L. 1997. Ventilated Brake Rotor Air Flow Investigation, SAE Paper No: 971033.

Limpert, R. 1999. Brake Design and Safety, Second Edition, Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale. 140-143.

Patrick, G.S. 2002. An improved rotor for self-ventilating disc brakes, International Application

Published Under The Patent Cooperation Treaty (PCT), WO 02/064992 A3.

Rooij, M.B. and Schipper, D.J. 1998. A wear measurement method based on the comparison of local surface heights, Wear. 217, 182-189.

Vries, A. and Wagner, M. 1992. The Brake Judder Phenomenon, SAE Paper No: 920554.

Zuber, C. and Heidenreich, B. 2006. Development of a Net Shape Manufacturing Method for Ventilated Brake Discs in Single Piece Design, Mat.-wiss. U. Werkstofftech. 37 (4), 301-308.