



Bu bir MMO yayınıdır

SABİT DEVİRLİ POMPA İLE ÇALIŞAN HİDROLİK SİLİNDİRLERİN DEĞİŞKEN KATSAYILI ORANSAL İNTEGRAL (Oİ) KONTROLÜ

Ali Fuat ERGENÇ¹
Alptekin ERGENÇ²
Burak OLGUN³
Nedim GÜLER⁴

¹ İTÜ

³ Solution Home Bilişim Tekn. ve Dan. Hizm.

² YTÜ

⁴ İnova Otomotiv

SABİT DEVİRLİ POMPA İLE ÇALIŞAN HİDROLİK SİLİNDİRLERİN DEĞİŞKEN KATSAYILI ORANSAL İNTEGRAL (Oİ) KONTROLÜ

Ali Fuat ERGENÇ¹, Alptekin ERGENÇ², Burak OLGUN³, Nedim GÜLER⁴

¹ ergenca@itu.edu.tr, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi

² aergenc@yildiz.edu.tr, YTÜ Makine Fakültesi

³ burakolgun@solutionhome.net, Solution Home Bilişim Tekn. ve Dan. Hizm.

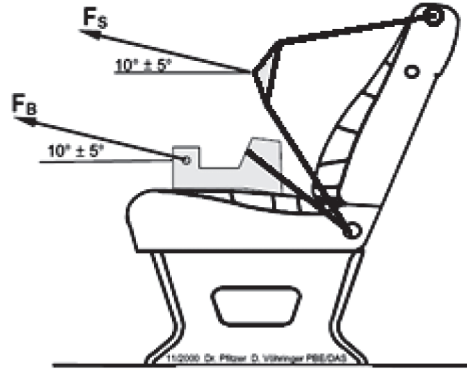
⁴ nedim.guler@inovaotomotiv.com, İnova Otomotiv

ÖZET

Bu çalışmada; endüstriyel uygulamada çok yaygın kullanım alanı bulunan hidrolik silindirlerin, uluslararası normlara uygun şekilde çalışan bir emniyet kemeri dayanıklılık test sistemi üzerinde değişken yük altında zamana bağlı olarak hassas kuvvet kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hali hazırda kullanılmakta olan sistemlerde bu uygulama Oİ kontrol ile gerçekleştirilmekte, ancak bu kontrol çoğu zaman birçok endüstriyel uygulama için yeterli olurken; kuvvet kontrolünün hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleşmesi istenilen deneysel sistemlerde yeterli olamamaktadır. Yön kontrolü valflerinin servo yapıda olmadığı ve hızın basınç oransal valfleri ile sağlandığı sistemlerde basıncın istenen kuvveti yeterli hızda üretmesi için, hidrolik silindirlerin kontrolü için değişken katsayılı Oİ modeli geliştirilmiştir. Bu kontrol yöntemi ile silindirler, ilgili regülasyonlarda tanımlanan süreler içerisinde belirlenen kuvvetlere hassas bir şekilde ulaşabilmektedir. Ayrıca, aynı pompadan beslenen farklı silindirler hattaki basınç değişimine rağmen istenilen kuvvet açısından eş hareket etmektedir.

Giriş

Ticari yolcu araçlarında yolcu güvenliğini sağlayan emniyet kemeri sistemlerinin Economic Commission for Europe (ECE) regülasyonlarına göre test edilmesi gerekmektedir[1]. Bu testlerde koltuklarda bulunan emniyet kemerlerinin göğüs ve bel bölgesine Şekil 1’de gösterildiği şekilde kuvvet uygulanmaktadır. Regülasyona göre koltuk;



Şekil 1. Kemer Test Düzeneği

ağırlığına ve boyutlarına bağlı olarak değişen kuvvetlerin mümkün olan en kısa sürede (pratikte < 3s) uygulanması gerekmektedir. Avrupa normları ve Amerikan normlarına göre değişen kuvvet miktarı test tipine göre (itme-çekme) 800N ile 20000N arasında değişmektedir. Bu tip endüstriyel test sistemlerinin büyük bir çoğunluğu kuvvetlerin yüksek değerlerde olmasından dolayı hidrolik pistonlar ile gerçekleştirilmektedir. Hidrolik pistonlar ile oluşturulan servo sistemler çalışma prensipleri gereği yavaş ve zaman gecikmelidir. Sistemi hızlandırma hidrolik kanallarını genişliğini veya hidrolik debisini arttırmak ile mümkün olmaktadır. Ancak bu durum daha yüksek debi geçirgenliğine sahip servo ve yön valfleri, kalın hidrolik hortumları ve yüksek debili hidrolik pompa gerektirmekte ve sonuç olarak maliyeti arttırmaktadır. Basıncı artırma ile debi artışı sağlamak ise ucuz ancak sistemin kontrol sistemi açısından zor bir yöntemdir. Bunun sebebi üretilen kuvvetin piston içi basınç ile doğrudan ilişkili olması ve sistemi hızlandırmak için uygulanan yüksek basıncın istenen kuvvetten daha fazla kuvvet üretmesidir.

Koltukların uygulanan kuvvetlere karşı tepkisi incelendiğinde göğüs bölgesine kuvvet uygulanmasıyla koltuğun esneyerek pistonun kuvvet oluşturmaya izin vermediği ve plastik deformasyonun sona erdiği noktada pistonun sıkışarak kuvvet oluşturduğu görülür. Test sisteminde istenilen kuvvet değerine hızlı bir şekilde ulaşmak için test sisteminin koltuğu eğmesi ve deplasmanı sonlandırması gerekmektedir. Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı debisi kısıtlı sistem ile bunu gerçekleştirmek için basınç servo valfinin kuvvet için gerekli basınç değerinden fazlası üretmesi gerekir.

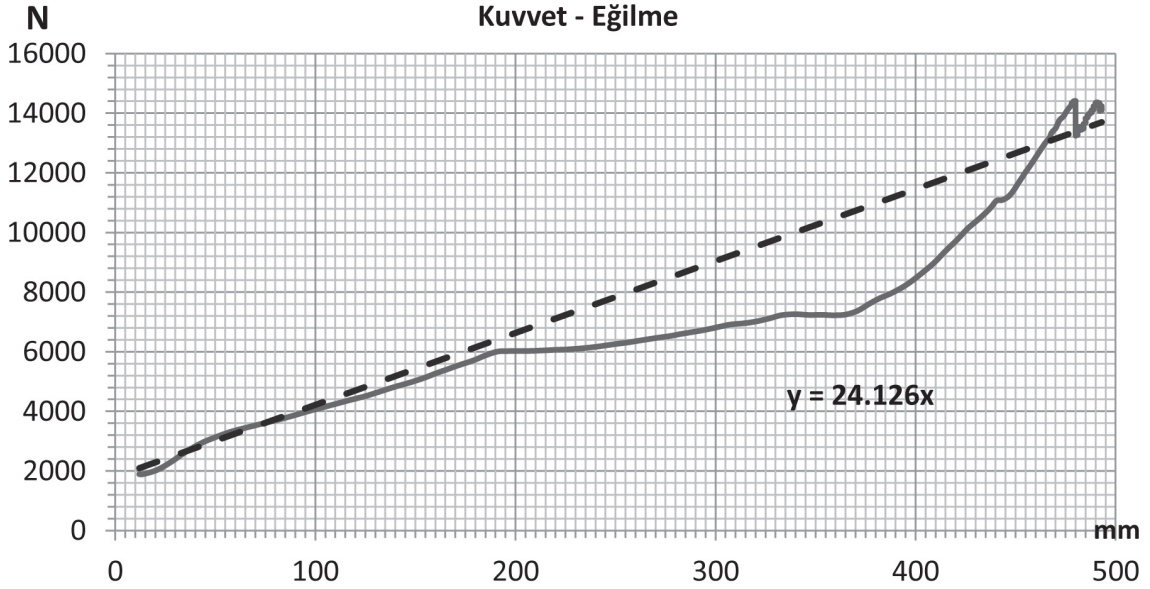
Yapılan çalışmada, sadece basınç kontrolü yapılarak sistemin hızlandırılması ve değişken katsayılı Oİ kontrolör kullanılarak kuvvet kontrolünün minimum aşım ile sağlanması sonucuna ulaşılmıştır.

Tasarlanan sistemin kontrol sistemindeki diğer bir zorluk ise çok geniş bir aralıkta kuvvet üretme gereksinimidir. Yüksek değerli kuvvetler için tasarlanmış hidrolik sistemle düşük kuvvetler üretilmek istendiğinde ufak basınç değişimlerinde bile kuvvetin oranca yüksek değişmesinden dolayı kontrol sisteminin yapısı sistemin hassasiyeti için oldukça büyük önem taşımaktadır.

Koltuk Modeli

Ticari araçlara baz olacak şekilde üç nokta emniyet kemer bağlantıları olan otobüs koltuğu ele alın-

miştir. Bu koltukların göğüs bölgesi daha esnek olduğu için modelleme yapılırken bu nokta ele alınmıştır. Bel bölgesi oldukça katı olduğundan yay sabiti yüksek olan doğrusal yay olarak modellemek kolaydır. Öte yandan, göğüs bölgesinin esnek ve doğrusal olmayan bir yay olarak modellenmesi gerekmektedir. Örnek bir kuvvet-yer değiştirme grafiği Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Koltuk Şekil Değiştirme Modeli

Şekilden de görüldüğü gibi aşırı doğrusal olmayan koltuk modelinin yay katsayısı koltuktaki şekil değiştirmeye bağlı olarak değişmekte ve yay modeli altıncı dereceden bir polinomla ifade edilebilmektedir. Ancak doğrusal model istenildiğinde uç doğrusallık modeli kurularak $k=24.13$ N/mm katsayılı bir yay gibi ifade edilebilir.

Koltuk bu veriler ışığında sönüm oranı düşük bir yay sistemi olarak düşünebilir. Bunun sonucu olarak kuvvet altında rezonansa girmesi oldukça kolay sistemdir ve kuvvetin çok hızlı bir şekilde yükseltmeye çalışılması durumunda kontrolör kazancına bağlı olarak rezonans durumu gözlemlenmektedir. Sistemin rezonansa girmemesi için kontrolör kazancının düşük olması gerekmektedir ancak bu durumda da sistem çok yavaş hareket etmekte ve istenilen kuvvet değerine test regülasyonlarının çok üstünde bir sürede ulaşılmaktadır. Sistemin hızlı bir şekilde kuvvete ulaşması için bir sonraki bölümde yeni bir kontrolör yapısı önerilmiş ve başarıyla uygulanmıştır.

Değişken Katsayılı Oransal-İntegral Etkili Kontrolör Tasarımı

Endüstride en yaygın şekilde kullanılan Oİ kontrolörlerin yapısı K_p , K_i kontrolör katsayıları ve $e(t)$ hata olmak üzere Denklem 1’de verilmiştir[2].

$$PI = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt$$

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

(1)

Özellikle yavaş kimya süreçlerinde sistem tepkisini hızlandırmak için kontrolör yapısı değiştirilmiş ve karesel hata işaretleri kullanılarak kontrolörler tasarlanmıştır[3-5]. Bu kontrolörlerin yapısı Denklem 2'de görüldüğü gibidir.

$$PI = K_p \cdot e^2(t) \cdot |e(t)| + K_i \int e^2(t) \cdot |e(t)| dt \quad (2)$$

Karesel Hatalı Kontrolörler (Error Squared PID) hata işaretinin büyümesi ile beraber kontrol işaretlerini karesel olarak arttırmakta ve sistemi hızlandırmaktadır. Ancak bu kontrolörlerin büyük hata oranlarına tepkileri serttir ve sistemi kararsızlığa sürüklemektedir.

Söz konusu sistemde klasik ve karesel OI kontrolörler yetersiz kalmış ve basınç valfi açıklığı ile hızlı şekilde kuvvet kontrolü yapmak üzere aşağıda Denklem 3'te belirtilen kontrolör yapısı önerilmiştir.

$$PI^* = K_p^* e(t) + K_i^* \int e(t) dt$$

$$K_p^* = K_p (2 - \alpha_p e^{-\beta_p |e(t)/r(t)|}) \quad (3)$$

$$K_i^* = K_i (2 - \alpha_i e^{-\beta_i |e(t)/r(t)|})$$

Bu kontrolörlerde hata büyük iken katsayılar hatanın referansa oranı ile belirlenen bir katsayı ile çarpılmakta, hata küçüldükçe katsayılar üstel olarak parametrelere bağlı olarak azalmaktadır. Kontrolör tasarımı yapılırken sistemi kararsız yapmayan kontrolör katsayıları belirlenip yerine konmaktadır.

Deneysel Sonuçlar

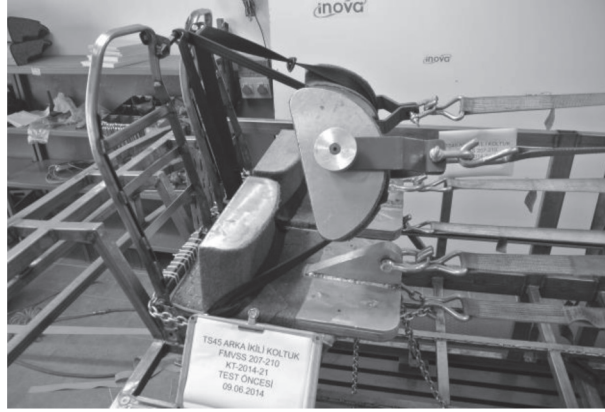
Deneyler Şekil 3'te görülen koltuk dayanıklılık test cihazı üzerinde yapılmıştır. Testlerin yapıldığı makina 15 KW ve 18 KW iki motorun sürdüğü hidrolik pompalar ve 6 adet pistondan oluşmaktadır. Koltuk sayısına bağlı olarak pistonlar Şekil 4'teki gibi koltuklara bağlanmakta ve koltuklara kısa süreli kuvvetler uygulanarak eğilme oranlarına bakılmaktadır.

Hidrolik pompalar tarafından basınçlandırılan hidrolik yağ, basınç oransal valfleri ve yön valfleri üzerinden hortumlar ile pistonlara ulaştırılmaktadır. Uygulanan kuvvetler piston uçlarındaki yük hücreleri



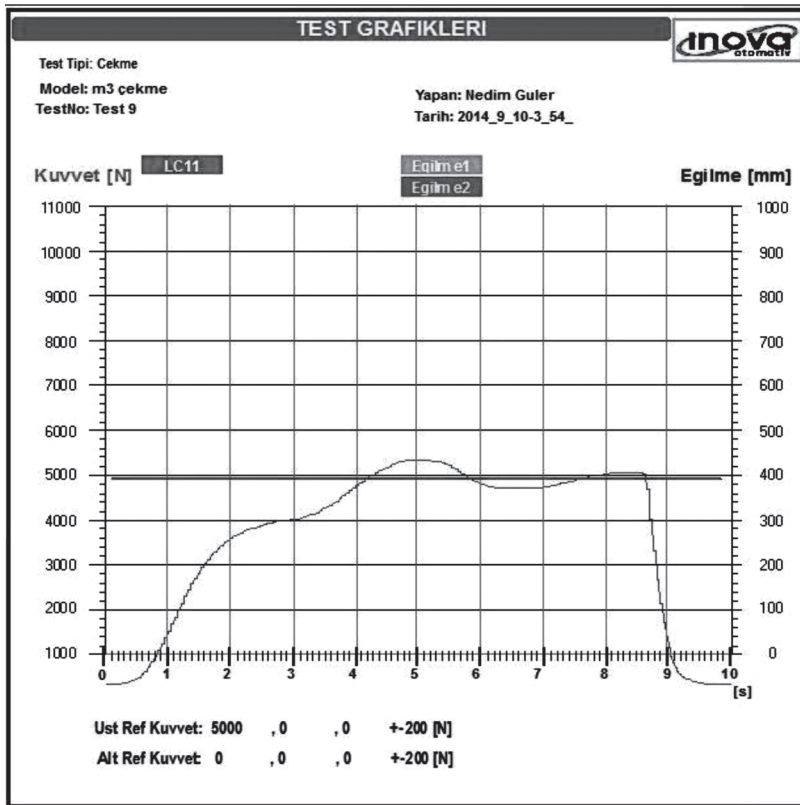
Şekil 3. Koltuk Test Makinasının Görünüşü

ve koltuklardaki eğilmeler piston üzerindeki konum dönüştürücüleri tarafından ölçülmektedir. Sistem kuvvet geribeslemesi ile kontrol edilmekte eğilmeler testin başarısı için gözlemlenmektedir.



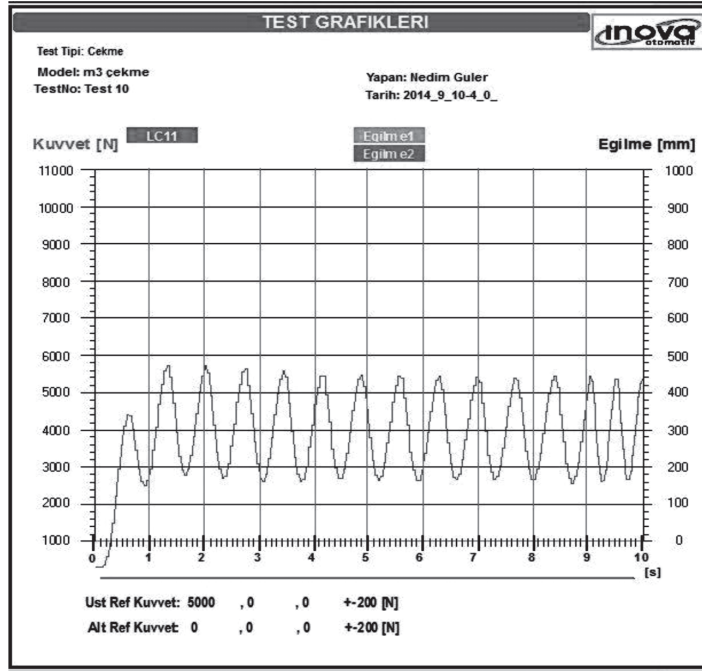
Şekil 4. Koltukların Bağlantı Şekli

Deneyler sırasında üç durum ele alınmıştır. Birinci durumda β parametreleri sıfır alınarak kontrolör yapısı klasik kontrolörle aynı kılınmıştır. Deney sonucu Şekil 5'teki gibidir.



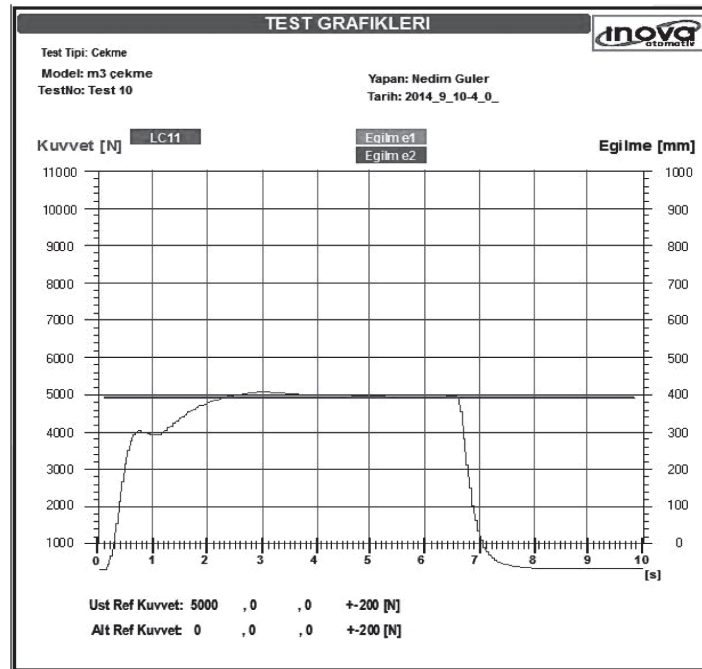
Şekil 5. Klasik Oİ ($\beta=0$) Kontrolör Cevabı

İkinci etapta α parametreleri sıfır alınarak bulunan klasik Oİ kontrolörün katsayılarının iki ile çarpılması durumu test edilmiştir. Sistemin cevabı Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 6. Klasik Oİ ($\alpha=0$) Oİ Kontrolör Cevabı

Son olarak $\alpha=2$, $\beta=4$ alınarak değişken katsayılı Oİ kontrolör sisteme uygulanmış ve Şekil 7'deki sistem cevabı elde edilmiştir.



Şekil 7. Değişken Katsayılı ($\alpha=2$, $\beta=4$) Oİ Kontrolör Cevabı

Kontrolörleri karşılaştırdığımızda klasik Oİ kontrolörün yavaş kaldığı ve bu yüzden sistemin integral sarması sebebiyle yüksek aşım yaptığı ve salınarak 8. saniyede yerleştiği görülmektedir. Öte yandan kontrolör katsayıları değiştirilmeden iki ile çarpılması durumunda sistemin kararsızlığa gittiği ve salınımlı bir cevap verdiği görülmektedir. Yeni önerilen değişken katsayılı Oİ kontrolör ise hatanın büyüklüğüne göre değişen katsayıları sayesinde sistemi çok küçük bir aşım ile 2. saniyede referansa ulaştırmaktadır. Hem hız hem de aşım açısından yeni önerilen kontrolör klasik Oİ kontrolöre göre oldukça başarılı bir performans sergilemiştir.

Sonuç

Bu çalışmada yerdeğiştirmesi büyük hidrolik sistemlerde kuvvet kontrolünü sadece basınç oransal valfleri kullanılarak hızlı bir şekilde gerçekleştirmek için yeni bir kontrolör yapısı önerilmiştir. Yapılan simülasyon ve endüstriyel sistem deneyleri sonucunda önerilen yapının benzerlerine ve klasik kontrolörlere göre oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Önerilen kontrolör ile sistemin kararlılık analizinin Lyapunov anlamında yapılması gerekmekte ve sonraki çalışmalarda tamamlanması düşünülmektedir. Literatürde olmayan bu kontrolör yapısının endüstriyel sistemler için yeni bir pencere açacağı sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma İNOVA otomotiv şirketinin Tübitak TEYDEB projesi kapsamında geliştirilen Ticari Araç Yolcu Koltuğu Test Makinası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar İNOVA otomotiv şirketine sağladığı destek konusunda teşekkür etmektedirler.

Referanslar

- [1] ECE Regulation No. 14 “Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safety-belt anchorages, ISOFIX anchorages system and ISOFIX top tether anchorages”, 2012
- [2] Åström, K.J. and Hägglund, T. (1995) PID Controllers: Theory, Design and Tuning. ISA Publishers, Research Triangle Park, NC.
- [3] http://www.contek-systems.co.uk/Documents/Error_squared.htm (2014)
- [4] http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370401J-01/lvpidmain/pid_adv_alg/ (2014)
- [5] Michael A. Johnson, Mohammad H. Moradi, (2005), PID Control New Identification and Design Methods, Springer-Verlag, London