

BASINÇ LABORATUVARI FPG (FORCE-BALANCED PISTON GAUGE) SİSTEMİ İLE SAYISAL MANOMETRE KALİBRASYONU

Dr. Gökçe Sevim SARIYERLİ*
Yasin DURGUT**

* gokce.sariyerli@tubitak.gov.tr

** yasin.durgut@tubitak.gov.tr

TUBITAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze, KOCAELİ
Tel: 262-679 50 00

ÖZET

FPG sistemi 1990'larda bulunmuş birincil seviye vakum standartıdır. FPG sistemi düşük basınç aralığında bağıl ve mutlak basınç ölçümleri için tasarlanmış bir sistemdir. Proses 35 mm çaplı pistonun efektif alanı üzerindeki kuvvetin yük hücresi ile ölçülmesi prensibine dayanır. FPG kullanımındaki amaç; konvansiyonel pistonlu basınç standartlarına göre daha düşük belirsizlik ile uzun dönem izlenebilirlik sağlamasıdır. Basınç metrolojisinde kullanılmasının nedeni primer sistemlere göre daha düşük belirsizlik vermesidir. 1 Pa-15 kPa (0,01 mbar-150 mbar) aralığında bağıl ve mutlak ölçüm yapılmasına olanak sağlar. Ölçüm belirsizliği ± 30 ppm of rdg. olarak verilmiştir. Konvansiyonel piston gaugeler 5 kPa civarında efektif olarak kullanılır (en düşük kalibrasyon noktası minimum 13 mbar'dır). Bu çalışmada FPG sistemi tanıtarak, FPG sistemi kullanılarak yapılan sayısal manometre kalibrasyonu yöntem ve ölçüm teknikleri anlatılmıştır. Uygulamada RPM1 test cihazı olarak kullanılmış, 10 mbar-150 mbar aralığında mutlak ölçüm yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: FPG, yük hücresi, konvansiyonel, ölçüm belirsizliği.

1. GİRİŞ

Günümüzde pistonlu basınç standartları, basınç metrolojisinde kullanılan en yaygın standartlardır. Ancak bu sistemler düşük basınç ölçümleri için uygun değildir (<20 mbar). Basınç bu sistemlerde en azından piston ağırlığı ile dengelenir bu da en azından birkaç kPa (yaklaşık 10 mbar) basınç oluşturulmasına sebep olur. Konvansiyonel pistonlu basınç standartlarının bir başka dezavantajı; 0,1 mbar'ın altında piston-silindirin dönmesi nedeniyle oluşan basınç dalgalanmalarını azaltmak mümkün değildir. 10 mbar'da dahi piston-silindir arasındaki boşluktan dolayı basınç kararlılığı büyük ölçüde etkilenmektedir. 1 Pa – 5 kPa ölçüm aralığında rölatif ve mutlak ölçümler birçok endüstriyel proseste kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Ayrıca birçok endüstriyel ölçüm cihazı ve standart bu ölçüm aralığında kalibrasyona ihtiyaç duymaktadır. Konvansiyonel pistonlu basınç standartları ve manometreler gerek ölçüm aralığı gerekse düşük belirsizlik değerlerini karşılayamadıklarından FPG sisteminin kullanımı tercih edilmektedir. FPG sisteminde kalibrasyon prosesi tam otomatik olup, tüm kalibrasyon laboratuvarlarında kullanımı kolay ve ergonomiktir.

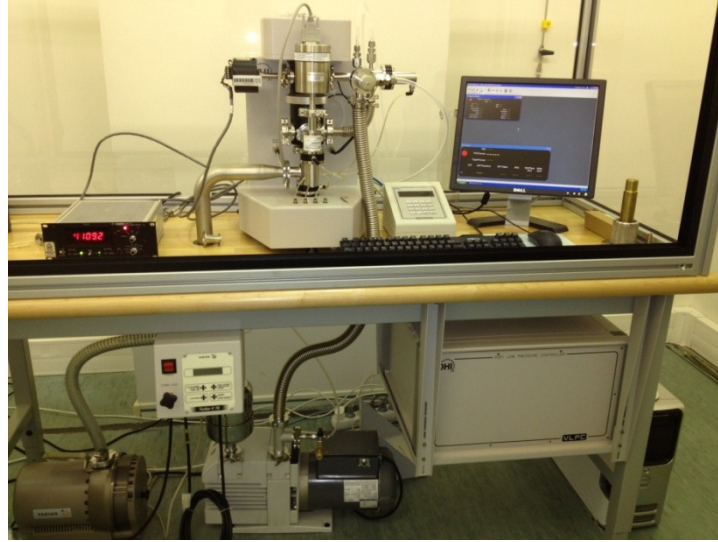
Bu çalışmada FPG sistemi kullanarak RPM1 (3,5 bar F.S.) test cihazı kalibre edilerek, bulunan hata değerleri ($p_{test}-p_{ref}$) aynı cihazın Ruska kullanılarak yapılan kalibrasyon sonuçlarıyla değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. FPG SİSTEMİNİN TANITIMI

FPG sistemi iki temel kısımdan oluşmaktadır. Sistemin sol bölümü basınç ölçümü (DUT'nin bağlandığı port), sağ bölümü basınç kontrolünün (VLPC ünitesi) sağlandığı kısımdır (Şekil 1). Tüm sistem arayüz olarak kullanılan bir software programı aracılığıyla kontrol edilir (Şekil 2).



Şekil 1. FPG yazılım programından görünüş

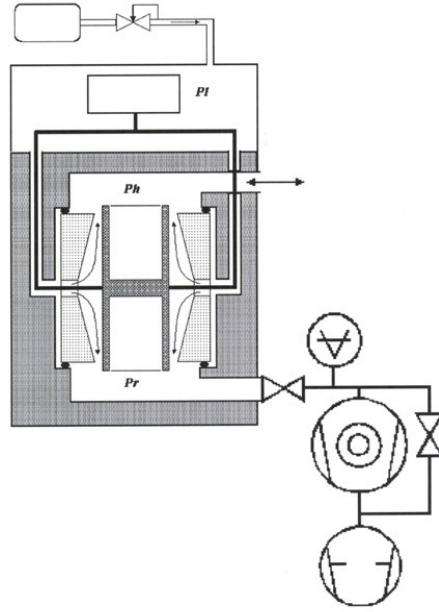


Şekil 2. FPG sistemi

Ölçüm kısmı çalışma prensibi, pistonlu basınç standartları ölçüm tekniğine dayanmaktadır. Proses 35 mm çaplı pistonun efektif alanı üzerindeki kuvvetin yük hücresi ile ölçülmesi prensibine dayanır. Konvansiyonel piston-silindir ünitesinden farkı; pistonun dönmemesi ve piston üzerindeki basınçtan dolayı oluşan kuvvetin yük hücresi aracılığıyla ölçülmesi olarak tanımlanabilir. Ölçüm modunda besleme gazı piston-silindir boşluğuna uygulanarak pistonda merkezleme kuvveti oluşturulur.

Yüksek kararlılıktaki yük hücresi piston silindirin efektif alanına uygulanmış olan kuvvetin ölçülmesi için kullanılır. Diğer pistonlu basınç standartlarında olduğu gibi pistonu döndürmek yerine; FPG, piston-silindir arasındaki boşluğa doğru olan sabit gaz akışını sürdürerek hassasiyet sağlar. İşte bu akış merkezleme kuvvetini oluşturur. VLPC (Çok düşük basınç kontrolcüsü) basınç kontrolü sağlayan sistemdir. Basıncı set etmek ve stabil olmasını sağlamak için kullanılır.

Sistem, piston silindiri içeren iki adet bağımsız ve simetrik hacimden oluşmaktadır. Alt hacim atmosferde yada vakumda tutulurken bu sırada üst hacme ölçülecek basınç uygulanmaktadır (Şekil 2). İki hacim arasındaki basınç farkından dolayı oluşan kuvvetin yük hücresi ile ölçülmesiyle net kuvvet belirlenir. Böylece basınç değeri net kuvvet ve piston-silindir efektif alanı kullanılarak hesaplanır.



Şekil 3. Rotasyonel olmayan piston çalışma prensibi

FPG sistem iki ölçüm modunda kullanılmaktadır. Bağlı ölçümde, alt hacim atmosfere açık bırakılıp, üst hacme basınç uygulanmaktadır. Mutlak ölçümde ise alt hacim doğrudan vakum pompasına bağlanır. Vakum değeri kapasitans diyafram manometre ile ölçülerek kontrol edilir. Turbo moleküler pompa ile elde edilen artık basınç değeri yaklaşık 0,04 Pa civarındadır.

3. KALİBRASYON YÖNTEMİ

Test cihazı (DUT) olarak RPM1 kullanılarak kalibrasyonu yapılmıştır. DUT üst hacmin sol flanşına bağlanmış, alt hacim ölçüm mutlak olduğundan vakuma alınmıştır. FPG yazılım programından mutlak ölçüm modu seçimi yapılarak, sırasıyla mekanik ve turbo moleküler pompa çalıştırılmıştır. Vakuma alma işleminden sonra sistem otomatik olarak purge işlemini başlatır. Purging bitiminde teste giden hattaki vana açılır. Sistem sıfırlama yapılır (zero işlemi). Sıfırlamadan sonra sistem iç kalibrasyon yapılır. Yazılım programı üst menüden konfigürasyon ayarlarına girilerek test cihazına ait bilgiler yazılır. Kalibrasyon noktaları belirlenir. Artan ve azalan yönlerde 10, 40, 50, 100, 140 ve 150 mbar noktalarında olmak üzere 6 nokta ölçüm yapılması için gerekli ayarlar yapılır. DUT aktive edilerek, kalibrasyon işlemini başlatıyoruz. İstenilen tekrar sayısı girildiğinden, operatörün kalibrasyon süresince işleme müdahale etmesine gerek kalmamakta ve işlem otomatik olarak sonuçlanmaktadır. Kalibrasyon bittiğinde sistem otomatik olarak sıfıra dönmektedir.

4. KALİBRASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Ölçülen basıncın hesaplanması

FPG tarafından ölçülen basıncın hesabında, konvansiyonel pistonlu basınç standartlarında kullanılan standart denklem geçerlidir.

$$\Delta P = F / A_e \quad (1)$$

ΔP : FPG üst ve alt hacimleri arasındaki fark basıncı

F: Fark basıncın sonucu yük hücreğine uygulanan kuvvet

A_e : 20^o C'da piston-silindir efektif alanı

[Pa]

[N]

[m²]

Kuvvet (F) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F = K_{cal} * N$$

K_{cal} : Kalibrasyon şartlarında yük hücresinin kalibrasyon katsayısı
 N: Yük hücresi tarafından ölçülen kuvvetin gösterim sayısı

[counts]
 [N/count]

Φ sıcaklık değerinde elde edilen, fark basıncının hesaplanması için çıkarılmış genişletilmiş denklem şu şekilde belirtilir.

$$\Delta P = K_{cal} * (N + \delta N_1 + \delta N_2 + \delta N_3) / A_{e(20^\circ C)} * [1 + (\alpha_p + \alpha_c) * (\Phi - 20)]$$

α_p, α_c : Piston ve silindirin termal genişleme katsayısı

δN_1 : change in buoyancy on load cell ve piston coupling parts

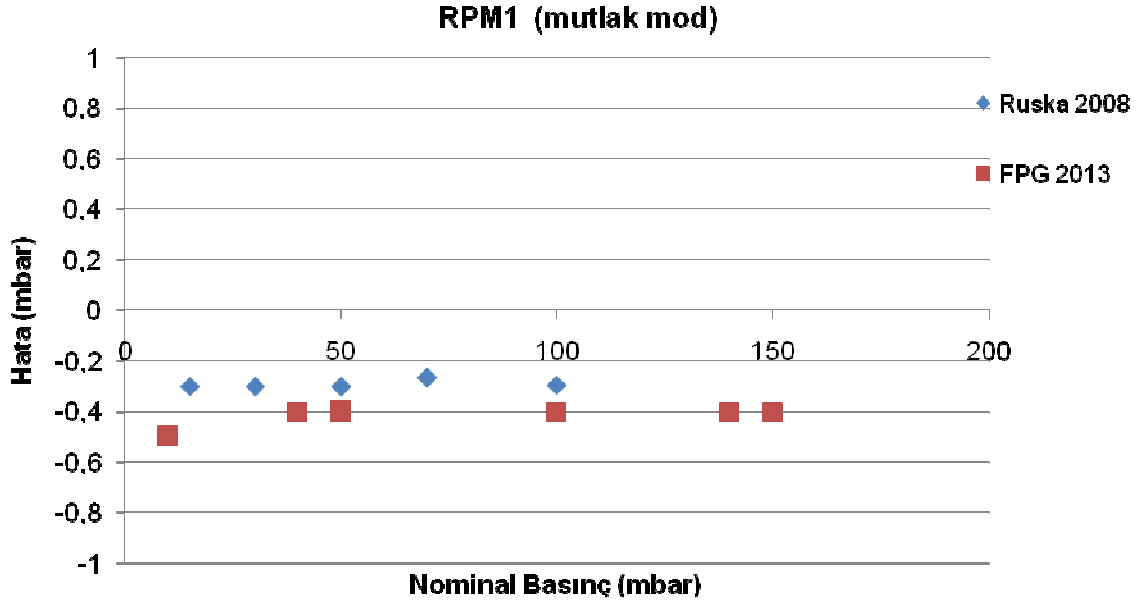
δN_2 : change in drag force

δN_3 : change in gas buoyancy on the piston

4.2 Kalibrasyon sonuçları

Kalibrasyonu yapılan RPM1 sayısal manometre cihazının Basınç&Hata eğrileri çizdirildi. Bu değerler, 2008 yılında aynı ölçme aralığı için aynı test cihazının Ruska ile kalibrasyonu sonuçlarıyla karşılaştırıldı (Şekil 4).

Sapma değerleri uyumluluk gösterdiğinden, FPG sisteminin performansının stabil, piston-silindir ünitesinin temiz ve besleme basıncının yeterli olduğu sonuçları çıkarıldı.



Şekil 4. RPM1 test cihazının mutlak ölçüm modunda Basınç&Hata grafiği

SONUÇ

FPG sistemi, konvansiyonel pistonlu basınç standartlarından verim alınmayan ölçüm aralığındaki boşluğu doldurarak, hem diğer standartlarla karşılaştırılmaya olanak sağlamış, hem de daha doğru ve kararlı ölçümler alınmasına neden olmuştur.

FPG sistemi referans kütle, piston-silindir efektif alanı ile düşük basınç aralığında kolayca karakterize edilebilir. Otomatik ve ergonomik olması kalibrasyon laboratuvarlarında tercih edilmesini sağlamaktadır. Sistemin TÜBİTAK UME'de karakterizasyonu ve efektif olarak kullanımı açısından RPM1 ölçüm sonuçları referans oluşturmuş, karşılaştırma ve değerlendirilmekte olan belirsizlik bütçesi için temel oluşturmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Delajoud, P. And Girard, M. "A Force Balanced Piston Gauge for Very Low Gauge and Absolute Pressure", NCSL International Workshop and Symposium, 2002.
- [2] DHI Calibration Solutions for Pressure and Flow, FPG8601 Force-Balanced Piston Gauge, Overview and Theory
- [3] Vijayakumar, D.A., Prakash O. And Sharma R.K., "Establishment of a Force Balanced Piston Gauge for Very Low Gauge and Absolute Pressure Measurements at NPL, India", Journal of Physics: Conference Series 390, 2012.
- [4] Tesar, J., Prazak D., Peksa L., "The New Method of Traceability of a Force Balanced Piston Gauge Used as Primary Vacuum Standard", Vacuum 76, 2004,491-499.
- [5] Hendricks, J. and Olson, D., "NIST Experience with Non Rotating Force Balanced Piston Gauges for Low Pressure Metrology", XIX. IMEKO World Congress, Lisbon, Portugal, 2009.

ÖZGEÇMİŞLER

Dr. Gökçe Sevim SARIYERLİ

1977 yılı İstanbul doğumludur. Lise öğrenimini İSTEK Vakfı Özel Acıbadem Lisesi'nde tamamlamıştır. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Müh. Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis, 2006 yılında Doktor ünvanını almıştır. Y.T.Ü. 'de 1999-2006 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2006-2007'de Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2008 Ocak- 2012 Mart tarihleri arası TÜBİTAK UME Basınç Laboratuvarı Vakum bölümünde uzman araştırmacı olarak çalışmıştır. 2012 Mart ayından beri Basınç bölümünde çalışmaktadır.

Yasin DURGUT

1975 Akşehir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü İngilizce hazırlık Programı'nı bitirmiştir. Halen Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölümü'nde doktorasına devam etmektedir. 2000-2004 yılları arasında Alcatel Telekomünikasyon A.Ş.'de çeşitli telekomünikasyon projelerinde çalışmıştır. Durgut, 2006 yılında ise Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nü bitirmiştir. Yasin Durgut, Project Management Institute üyesi olup bu enstitüden PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda çalışmaktadır. Laboratuvar bünyesinde her türlü basınç ölçerin kalibrasyon faaliyetleri, laboratuvar ve Tübitak projeleri ve yayın faaliyetleri alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.