

VAV Kutularının Büyüklüğünün Belirlenmesi

Steven T. Taylor, Jeff Stein
ASHRAE

Değişken hava debili bir VAV kutusunun giriş çapını seçerken göz önüne alınması gereken 5 faktör vardır: (1) kutu boyunca basınç düşümü, (2) VAV kutusunun kontrolörünün istenilen en yüksek ve en düşük hava debisi ayar noktalarını ölçme ve kontrol edebilme yeteneği, (3) VAV kutusunun satın alış fiyatı, montajı ve kontrol elemanları, (4) gürültü üretimi, (5) yer sınırlamaları.

İlk üç faktör enerji maliyetini ve satın alış fiyatını etkiler ve ömür boyu toplam maliyeti en düşük tutacak şekilde dengelenmelidir. Son iki faktör ise, en uygun ömür boyu toplam maliyet seçimini sınırlayabilen montaj ve uygulama sınırlamalarını göstermektedir. Bu makalede VAV kutusu seçiminin [1] ve kontrolünün detaylı bir analizi özetlenecek ve tipik uygulamalarda ömür boyu toplam maliyeti en aza indirecek şekilde VAV kutularının büyüklüğünü belirleme kriterleri verilecektir.

VAV Kontrolleri ve Hava Debisi Ayar Noktaları

Şekil (1)'de basınçtan bağımsız kontrol mantığıyla yapılmış tek kanallı bir VAV kutusu görülmektedir. Basınçtan bağımsız kontrollerde iki ardışık kontrol döngüsü kullanılır. İlk döngü (loop) ortam sıcaklığı kontrol eder. Bu döngünün çıkışı en düşük hava debisi ayar noktası (V_{min}) ile en yüksek hava debisi ayar noktası (V_{maks}) arasındaki bir hava debisi

ayar noktasıdır. Bu ayar noktası daha sonra 2. kontrol döngüsüne gönderilir. 2. Döngü, kutu hava debisinin ayar noktasında olmasını sağlayabilmek için VAV damperini modüle eder.

Şekil (2) tipik bir VAV tekrar ısıtma (VRH) kutusu için V_{maks} ve V_{min} değerlerini gösteren bir kontrol şemasıdır. Şekil (3) ise, bir paralel fan ile güçlendirilmiş VAV (FPV) kutusunun kontrol şemasıdır. V_{maks} iki kutu türü için de tipik olarak bir tasarım soğutma hava debisidir. VRH kutuları için tipik olarak V_{min} aşağıdakilerin en büyüğü olarak seçilir:

1. Çok sıcak olmayan (örn.: $\leq 32^{\circ}\text{C}$) bir besleme havası sıcaklığında tasarım ısıtma yükünü karşılamak için gerekli olan hava debisi. Daha yüksek sıcaklıklar ise, katmanlaşmadan ve kısa devreden dolayı zayıf bir sıcaklık kontrolüyle sonuçlanmaya meyillidirler. [2]
2. Hava jetinin aşağıya düşmesini ve zayıf dağılımı önlemek için gerekli olan hava debisi. Bu sınır, menfezin (difüzörün) türüne ve boyutlandırmaya bağlıdır. Kesin hesaplara dayanmasa da gözlemlerde genel olarak ulaşılan değer %30'dur. Fakat bazı araştırmalar daha düşük değerlerin de yeterli olduğunu göstermiştir.
3. Havalandırma için gerekli olan en küçük hava debisi. Standarta bağlı olarak bu orana karar

*) Amerikan Tesisat Mühendisliği Derneği'nin dergisi "ASHRAE JOURNAL"ın Mart 2004 sayısından, Baycan Sunaç ve Esra Yılmaz'ın çevirisi ile yayına hazırlanmıştır.

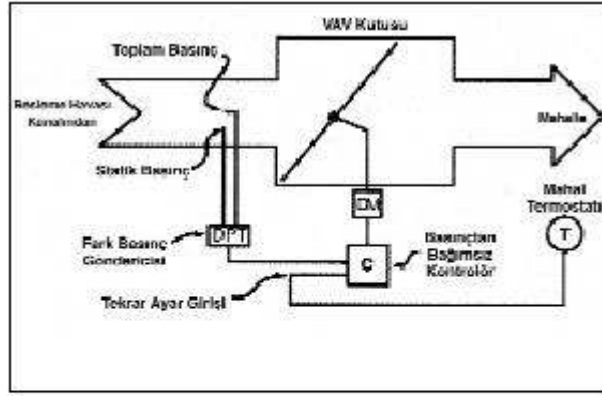
vermek basit (örn.: California's Title 24) de karmaşık da olabilir. Karmaşık olması değişen besleme havası debileri ve dış hava yüzdesi (örn.: ANSI/ASHRAE Standard 62, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality) yüzündendir.

FPV kutuları için sadece son madde tipik olarak uygulanabilir; çünkü paralel fan çalışması ısıtma modunda difüzörde yeterli derecede yüksek besleme havası debisini garanti eder. California's Title 24 [3] ve ASHRAE Standard 62'nin son versiyonu, tasarımcıya, FPV fanı tarafından sağlanan transfer havası ile seyreltme yapma olanağı vermektedir. Bu, mahalle en az primer hava akışını, V_{min} 'u, çok düşük düzeylere hatta bazı durumlarda sıfıra düşürülmüş olarak sağlar.

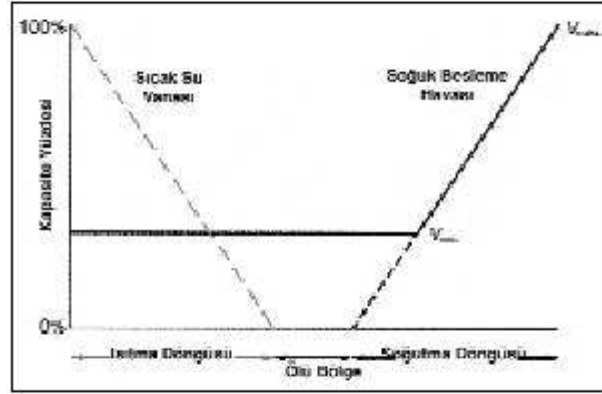
Yukarıdaki üç faktör V_{min} 'un gerekli en düşük değerini belirler. Tekrar ısıtmadaki enerji kayıplarını en aza indirebilmek için V_{min} enerji yönetmelikleri ile üstten sınırlanmıştır. Hem California's Title 24 [3] hem de ASHRAE Standard 90.1 [5] V_{min} 'u aşığıdaki değerlerin en yükseğiyle sınırlamıştır:

- V_{maks} 'ın %30'u
- Havalandırma için gereken en düşük değer
- Mahallin şartlandırılan bölümünde m^2 başına 2 L/s
- 142 L/s

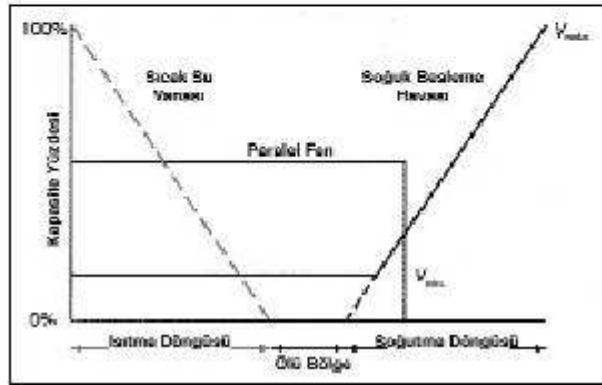
V_{min} noktasının VAV kutularının büyüklüğünün belirlenmesi üzerinde bir etkisi olabilir; çünkü basınçtan bağımsız kontrol elemanlarında ayar noktalarının ne kadar düşük bir sınıra ulaşabileceği bellidir. Sıfırdan farklı en düşük ayar noktası, kutunun giriş kısmında bulunan akış sondasının ve transdüktör / kontrolör'ün duyarlılığının bir fonksiyonudur (Şekil 1). Aynı akış sondalarını ve ölçme elemanı / kontrolörleri kullanan değişik boyutlardaki kutular, yaklaşık aynı en düşük kontrol edilebilir hıza sahip olacaklardır. En düşük hızları eşit olduğu için de, VAV kutusu ne kadar büyük olursa en düşük hava debisi ayar noktası da o kadar yük-



Şekil 1. Tipik VAV kutusu kontrolleri



Şekil 2. VAV Tekrar-ısıtma kontrol diyagramı



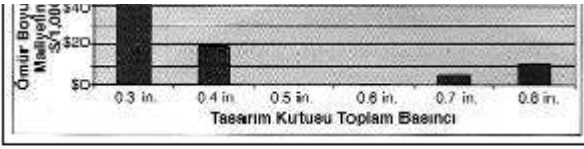
Şekil 3. Paralel fan ile güçlendirilmiş VAV kontrol diyagramı

sek olacaktır.

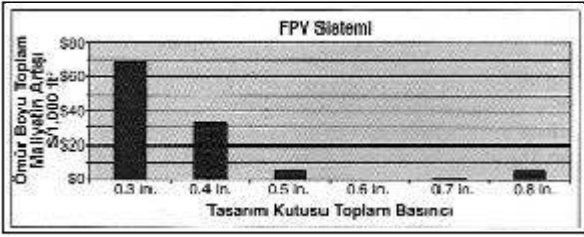
Çok düşük primer hava debilerinde havalandırma yönetmeliklerine uygun FPV sistemleri için, kontrolör tarafından izin verilen en düşük ayar noktası

VRH Sistemi	
Toplam Akışı	80

"kritik devre" üzerinde ise, besleme havası vantila - türünün basma yüksekliğini etkileyecektir.



Şekil 4. VAV kutusu toplam basınç düşüşünün bir fonksiyonu olarak VRH sistemi için toplam ömür boyu maliyetin artışı



Şekil 5. VAV kutusu toplam basınç düşüşünün bir fonksiyonu olarak FPV sistemi için toplam ömür boyu maliyetin artışı

havalandırma için gerekenden daha büyük olabilir. Bu nedenle, belirli bir bölgeye hizmet eden gereğinden büyük bir kutu yüksek merkezi fan enerjisine, tekrar ısıtma enerjisine ve belki de soğutma enerjisine (ekonomizörü, olmayan sistemlerde) neden olacak olan daha yüksek en düşük ayar noktasına ihtiyaç duyabilir.

Bu sınırlama genelde dijital kontrollü VRH sistemlerini etkilemez; çünkü kutu aşırı büyük seçildiği sürece, uygun ısıtma difüzörü performansı için en düşük ayar noktası (örn.: %30 V_{maks}) genellikle en düşük kontrolör ayar noktasından çok daha yüksektir (yandaki tabloya bkz.). Bu, nispeten yüksek en düşük ayar noktalarına sahip pnömatik kontrollü VRH sistemleri için ya da dijital kontrolde bir "düal maksimum" kontrol stratejisi kullanıldığı zaman bir sınır oluşturabilir (bu stratejinin tam tanımını için bkz. Kaynak-1).

Basınç Düşüşü ve Ventilator Enerjisi

İçinden belirli bir bölgeye ait tasarım hava debisi geçen bir VAV kutusu içindeki basınç düşüşü, eğer kutu, toplam basınç kaybının en yüksek olduğu

Bu şekilde olduğu kabul edilirse (ileride daha fazla bilgi verilecek), kutu içindeki basınç düşüşü ne kadar büyük olursa ventilatör gücü de o kadar artar. Giriş çapı küçük olan VAV kutuları daha yüksek basınç düşüşlerine ve dolayısıyla daha yüksek fan enerjilerine sahiptirler.

Denklem (1) ile verilen VAV kutularının basınç düşüşleri hem statik basınç düşüşü hem de toplam basınç düşüşü olarak ifade edilebilirler:

$${}^3TP = {}^3SP + {}^3VP$$

$${}^3TP = {}^3SP + \left[\left(\frac{n_{in}}{4005} \right)^2 + \left(\frac{n_{out}}{4005} \right)^2 \right]^2$$

$${}^3TP = {}^3SP + \left[\left(\frac{4Q}{4005SD} \right)^2 + \left(\frac{Q}{4005WH} \right)^2 \right]^2$$

3TP : Toplam basınç düşüşü

3SP : Statik basınç düşüşü

3VP : Dinamik basınç düşüşü

n_{in} ve n_{out} : giriş ve çıkış hızları

Q : hava debisi

D : kutunun giriş çapı

W ve H : kutunun iç genişliği ve yüksekliği (dış ölçüler yalıtım kalınlığı)

Statik basıncı geri kazanımla sonuçlanan, kutu girişindeki hızın, çıkıştakinden çok yüksek olması süresince standart bir ticari VAV kutusunun içindeki statik basınç düşüşü, toplam basınç düşüşünden azdır. Fakat, fan, kutu içerisinde hem basınç hem de hız oluşturmak zorunda olduğu için, toplam basınç düşüşü, proje hava debisini kutuya getirmek için gereken fan enerjisinin doğru bir göstergesidir. Bu nedenle VAV kutularını değerlendirirken ve seçerken statik basınç düşüşü değil, toplam basınç düşüşü kullanılmalıdır. Statik basınç düşüşünü

kullanmak yanıltıcı olabilir çünkü farklı üreticilerden çıkan farklı VAV kutuları farklı çıkış ağız ölçülerine ve bundan dolayı da farklı dinamik basınçlara sahip olabilirler. Ne yazık ki, çoğu VAV kutusu üreticileri kataloglarında toplam basınç düşüşü değerlerini belirtmiyorlar. Eğer yazılmamış ise, bu değer denklem (1)'i kullanarak hesaplanabilir.

sından en yüksek olarak belirlendi. VRH kutuları için, V_{min} , %30 olarak ayarlandı. Satın alış fiyatına, iki popüler üreticiden alınan fiyatlara yüklenici giderlerinin ortalaması alınarak ve %25 yüklenici payı da eklenerek karar verildi. Montaj maliyetleri bütün kutular için aynı kabul edildi. Giriş redüksiyonları ve çıkış plenumları için oluşan fiyat farkla-

Simülasyonlar

Önceki tartışmada VAV kutusu seçiminin enerji kullanımını nasıl etkilediğinin temel prensipleri saptandı. Etkinin büyüklüğünü ölçmek için DOE-2.2 bilgisayar programı kullanılarak, bir prototip Oakland California ofis binası simüle edildi. Bölgesel enerji fiyatları örnek alınarak 0,13 USD/kwh ve 0,59 USD/therm sonuçları elde edildi.

Değişken debili fanları olan VAV sistemleri Şekil 2 ve 3'teki iki FPV kutu tipini kullanarak modellendi. FPV kutuları için, Vmin, kutunun giriş büyüklüğüne göre $0,15 \text{ cfm/ft}^2$ (m^2 'ye 0,8L/s) ile kutunun en düşük ayar noktası (bkz. yandaki diyagram) ara-

rı göz ardı edildi. Bunun nedeni de bunları hesap etmek için kolay bir yolun olmamasıdır. Hem elektrik hem de gaz için ömür boyu toplam maliyet 15 sene için %8'lik bir indirim oranı ve %0'lık bir fiyat artış oranı kullanılarak hesaplandı.

Sonuçlar

Tasarım hava debileri için 0,3 in. w.g.'den 0,8 in. w.g.'ye (75Pa'dan 200Pa'ya) toplam basınç düşüşünde boyutlandırılan, VAV kutularının artan toplam ömür boyu maliyetler etkisi VRH ve FPV sistemleri için sırasıyla Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Sonuçlar en uygun toplam ömür boyu maliyet için, VRH kutularının 0,5 in. w.g.'den 0,6 in. w.g.'ye (125Pa'dan 150Pa'ya) toplam basınç düşüşü, FPV sistemleri için ise, 0,6 in. w.g.'den 0,7 in. w.g.'ye

Giriş Büyüklüğü (in.)	Çıkış Genişliği (in.)	Çıkış Yüksekliği (in.)	Toplam Basınç Düşüşü = 0.5 in. w.g., Toplam Basınç Düşüşü = 0.6 in. w.g.							
			Statik Basınç Düşüşü (in. w.g.)	Dinamik Basınç Düşüşü (in. w.g.)	Maks CFM	Gövdeden Yayılan NC	Statik Bas. Düşüşü (in. w.g.)	Dinamik Bas. Düşüşü (in. w.g.)	Maks CFM	Gövdeden Yayılan NC
4	12	8	0.08	0.42	230	24	*	*	*	*
5	12	8	0.15	0.35	333	24	0.10	0.41	360	24
6	12	8	0.24	0.25	425	24	0.29	0.31	470	25
7	12	10	0.25	0.25	580	23	0.30	0.30	640	24
8	12	10	0.33	0.17	715	23	0.36	0.24	780	24
9	14	13	0.27	0.23	930	20	0.32	0.28	1,030	23
10	14	13	0.32	0.18	1.100	23	0.38	0.22	1.210	25
12	16	15	0.32	0.17	1.560	23	0.38	0.21	1.720	24
14	20	18	0.31	0.19	2.130	22	0.37	0.23	2.350	23
16	24	18	0.32	0.18	2.730	25	0.39	0.21	3.010	25

* 4 inç giriş büyüklüğü için, üretici seçim programının kabul ettiği maksimum debi 230 CFM'dir.

Tablo 1. Tekrar Isıtcılı VAV kutusu için maksimum hava debileri.

(150Pa'dan 175Pa'ya) toplam basınç düşüşüne göre, olarak boyutlandırılmasının gerektiğini göstermiştir. Fakat, ömür boyu maliyetin çeşitli seçenekler ve sistemler arasındaki değişimi çok küçük olup, sadece footkare başına yılda birkaç sent'tir. Bu nedenle, satın alış fiyatı küçük kutular için önemli olurken, enerji maliyetleri büyük kutular için önemlidir ve her iki etki de küçüktür. Enerji tasarrufu da düşüktür; çünkü tasarım basınç düşüşü sadece pik yüklerde ortaya çıkar; kısmi yük şartlarında, basınç ve fan gücü hızla (sırasıyla yaklaşık karesi ve küpü oranlarında) düşer.

Kritik Olmayan Bölgelerde Büyüklük Belirleme

Daha önce belirtildiği gibi kutu kritik devrede ise kutu basınç düşüşü sadece fan enerjisini etkiler. Anlaşılabilir nedenlerden, Şekil 4 ve 5'teki büyüklük belirleme kriterlerinin, yalnız fana hidrolik olarak daha yakın, dolayısıyla fazla basıncın olduğu ve bu nedenle daha büyük basınç düşüşlerinin kabul edilebileceği VAV kutularına uygulanabileceği ileri sürülebilir. Fakat biz, aşağıdaki nedenlerden dolayı yerli önemli olmaksızın tüm kutular için, tutarlı bir basınç düşüşü oluşturma kriteri kullanılmasını tavsiye ediyoruz.

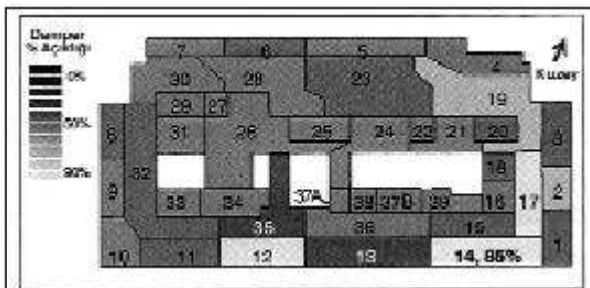
FPV sistemleri için ömür boyu maliyetin, küçük kutulardaki pozitif etkisi VRH sistemlerine göre daha fazladır. Çünkü boyutlandırma, minimum hava debisi ayar noktasını ve basınç düşüşünü etkiler ve böylece kutu büyük seçilmişse tekrar ısıtma enerjisi artar.

Modelleme tahminlerinin hassasiyetini test etmek için parametrik çalışmalar çeşitli büyüklük belirleme kriterleri (fazla küçük ve fazla büyük) ile yapılmıştır. Kontrolör en düşük ayar noktası, dış hava şartları, kullanma zamanlarının programı, iç yükler, besleme (üfleme) hava sıcaklığı, enerji fiyatları ve pencere alanının etkisi incelenmiştir. Tüm durumlarda, ömür boyu maliyet yönünden en uygun basınç düşüşleri - ne Şekil 4 ve 5'tekine çok benzediği görülmüştür.

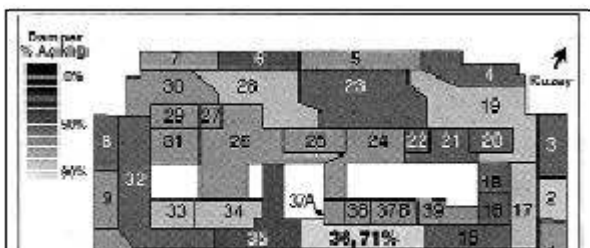
Tablo 1, belirli bir VAV kutusu üreticisi için 0,5 in. w.g. ve 0,6 in. w.g. (125Pa ve 150Pa) toplam basınç düşüşü esas alınarak oluşturulmuş, sıcak sulu tekrar (reheat) ısıtma serpantinini içindeki basınç düşüşünü de içeren performans bilgilerini gösterir. Seçim programı tarafından hesaplanan, VAV kutusundan yayılan gürültüye ait NC düzeylerinin gösterdiği gibi, bu toplam basınç düşüşlerinde gürültü, örnek olarak alınan bu tip VAV kutuları için çoğu uygulamalarda bir sorun olmayacaktır. Diğer üreticilerin kutuları, yüksek tasarım basınç düşüşleri ve gürültünün önemli olduğu uygulamalar için bu geçerli olmayabilir.

- En başta ve en önemlisi, bu çok daha kolaydır. Tasarımcılar boyutlandırmadan önce kutunun ana kanaldaki yerine karar vermek zorunda kalamazlar. Otomatik seçim programları ve tablolar böylece daha kolay kullanılabilirler.
- Fazla basıncı yok eden küçük kutular gürültü sorunlarıyla kısıtlandırılmıştır. Basınç düşüşü yüksek dikçe gürültü üretimi de fazlaşır.
- Enerji yönetmelikleri [3,5], fan kapasite kontrolü için kullanılan statik basınç ayar noktalarının, en yüksek statik basınç kaybı olan kutuya göre ayarlanmasını öngörmektedirler. Ve yükler gün ve yıl boyunca değiştikçe, en yüksek talebi (en yüksek statik basınç kaybı) olan kutu da değişecektir.

Şekil 6, 7 ve 8'de Sacramento California'da bir ofiste günün farklı zamanlarında en fazla talebi olan VAV kutusu bölgeleri görülmektedir. Üç görüntü de 5 Ağustos 2002 tarihinde alınmıştır. Saat 07:00'de binanın güneydoğu köşesindeki 14. Bölge en yoğun talebi almıştır. Daha sonra en fazla talep sabah saat 09:00'da binanın iç bölgesindeki 36. Bölgeye gösterilmiştir. Saat 17:00'de ise en çok talep gören bölge kuzeybatı köşesindeki 30. Bölge olmuştur. Denetlenen bu zaman diliminde baştan sona kadar (yılın göreceli iyi zamanı) pik bölge tüm döşeme boyunca (iç ve çevre bölgeleri içeren) değişmiştir. Bu nedenle en yüksek statik basıncı gerektiren bölge, gün boyunca hep değiş-



Şekil 6. VAV kutusu talebi (yükü)
Saat 7.00, 5 Ağustos 2002



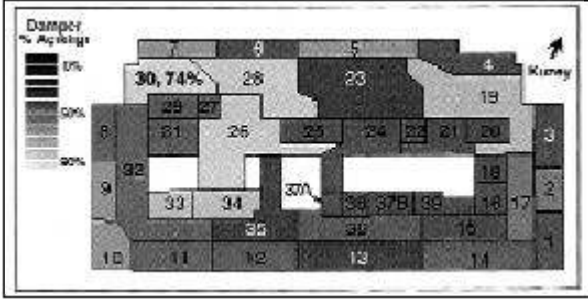
debi ayar noktalarına sahip kutu tipleri) en yüksek toplam basınç düşümü 0,5 in. w.g.'den 0,6 in. w.g.'ye (125Pa'dan 150Pa'ya) için boyutlandırıldığı anda ömür boyu maliyetlerin azaldığı bulunmuştur. Benzer şekilde FPV kutuları (ve diğer düşük en düşük debi ayar noktalarına sahip kutu tipleri) en yüksek toplam basınç düşüşü 0,6 in. w.g.'den 0,7 in. w.g.'ye (150Pa'dan 175 Pa'ya) için boyutlandırıldığında, ömür boyu maliyet en düşük düzeye düşmüştür. Burada, bu büyüklük belirleme kriterlerinin tekrar ısıtma serpantinini de içeren kutu içindeki toplam basınç düşüşüne (statik basınç düşüşü değil!) uygulandığının altını bir kez daha çiziyoruz.

Teşekkürler

Bu makale için yapılan araştırma California Energy Commission'unun sağladığı Public Interest



Şekil 7. VAV kutusu talebi (yükü)
Saat 9.00, 5 Ağustos 2002



Şekil 8. VAV kutusu talebi (yükü)
Saat 17.00, 5 Ağustos 2002

cektir. Eğer fan statik basıncı, sadece en yüksek basıncı gerektiren bölgenin ihtiyacını karşılayabilmek için ayarlanırsa ve eğer fana yakın kutular tasarım şartlarında ulaşılabilen fazla basıncı yokedecek gibi küçültülürse, bu kutular tasarım şartları dışında en yoğun talebi aldıklarında fan basıncı ve fan enerjisi, tasarım yükselecektir.

Çıkarılan Sonuçlar

Geniş kapsamlı ekonomik ve işletme tahminleri üzerine, VRH kutuları (ve diğer yüksek en düşük

Energy Research (PIER) fonu tarafından finanse edildi. Yazarlar, aralarında New Buildings Institute'den Cathy Higgins'in, Taylor Engineering'den Mark Hydeman'ın, Eric Kolderup'ın ve Eley Associates'ten Tianzhen Hong'un da bulunduğu araştırma grubumuzun diğer üyelerinin katkı ve çalışmaları için teşekkür etmekten mutluluk duyarlar.

Kaynaklar

- Hydeman, et al. 2003. *Advanced Variable Air Volume System Design Guide* (bu kılavuz, "New Buildings Institute's Public Interest Energy Research (PIER) Program for the California Energy Commission"ın bir parçası olarak hazırlanmıştır. Kılavuzun parasız kopyaları "www.new-buildings.org/pier" sitesinden temin edilebilir).
- 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals, Chapter 32.
- California Energy Commission. 2001. *Title 24 Building Energy Efficiency Standards*, California Code of Regulations, Part 6.
- Addendum 62n to ANSI/ASHRAE Standard 62-2001, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
- ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2001, *Energy standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.
- Baumann F.S. et al. 1995. *Thermal Comfort with a Variable Air Volume (VAV) System*. Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley.

VAV Kutularının Büyüklüğünün Belirlenmesi

MINİMUM HAVA DEBİSİ AYAR NOKTASININ BELİRLENMESİ

VAV kutuları için minimum hava debisi ayar noktasının belirlenmesindeki bir sınırlama, kutunun kontrol edilebilirliğidir. Normal olarak bütün VAV kutusu üreticileri, her kutu ve her standart kontrol seçeneği için bir minimum hava debisi ayar noktası listesi verirler (örn.: pnömatik, analog elektronik ve dijital). Fakat, gerçekte modern dijital kontrol elemanları kullanıldığında, kontrol edilebilen en düşük ayar noktası, üreticinin listelediği en düşük noktadan genellikle çok daha düşüktür.

Kontrol edilebilir minimum nokta, akım sondası tasarımının ve kontrolördeki akış sinyalinin dijital dönüşümünün doğruluğunun ve hassaslığının bir fonksiyonudur.

Akış sondası VAV kutusunun girişine ya da çıkışına yerleştirilir ve kutu içindeki hava akışının yarat-

de, dinamik basınç sinyalini analog elektronik sinyale dönüştürecek bir transdüktör (transducer) ve analog sinyali kontrolörün okuyabileceği (anlayabileceği) dijital bir bilgiye, "bits"e, çeviren bir analog/dijital (A/D) dönüştürücü bulunur. Bir ayar noktası etrafındaki kararlı bir kontrol için kontrolör, çok ani olmayan dinamik basınç değişikliklerini algılayabilmelidir. Bir kontrolör üreticisi, kararlı bir kontrol için minimum ayar noktasının, en az 14 bits'e eşit olmasını tavsiye etmektedir.

VAV kutusu ve VAV kutusu kontrolöründen oluşan özel bir kombinasyon için kontrol edilebilir minimum hava debisini (V_m), hesaplamak için aşağıdaki yol izlenmelidir:

1. Dinamik basınç duyar elemanı ayar noktasını (VPm) 14 bit'e karşılık gelecek şekilde inç su sütunu (in.w.g.) cinsinden belirleyin. Bu değer üreticiye göre değişmektedir. Görüşülen çok sayı

tığı dinamik basınç ile orantılı bir hava basıncı sinyali verir. Üretici tarafından tipik olarak üretilmiş ve VAV kutusuna fabrikada yerleştirilmiş akış sondaları, giriş şartları ideal olmasa bile (örn.: girişe yakın bir dirsek bulunması) hassas sinyaller verebilecek ve düşük hava debisi ölçümlerini de gerlendirebilmek için dinamik basınç sinyallerini yükseltebilecek (güçlendirecek) şekilde tasarlanmıştır.

Yükseltme faktörü VAV kutusu üreticisine göre önemli ölçüde, kutunun büyüklüğüne göre ise daha az ölçüde değişir. Yükseltme faktörü ne kadar yüksek olursa, kontrol edilebilir minimum debi de o kadar düşük olur. VAV kutusu üreticisi bu şekilde sağladığı yararı, maliyeti en aza indirmek, basınç düşüşü ve gürültü gibi diğer tasarım hedefleri ile dengelemek zorundadır.

Kutu kontrolörü sondadan alınan dinamik basınç sinyalini, bir kontrol sinyaline dönüştürmelidir. Bu dönüşümü gerçekleştirmek için, dijital kontroller

daki üreticiden alınan bilgiye göre, VP_m 0,004 in.w.g. (1 Pa) değerine kadar düşürülebilir. Bunun için bir 10 bit (ya da daha yüksek) A/D dönüştürücü ve bir 0-1 in.w.g (0-250 Pa) veya 0-1,5 in.w.g. (0-375 Pa) aralığında çalışan transdüktör gereklidir. 8 bit A/D dönüştürücünün veya daha geniş aralıklı bir transdüktörün kullanılması, kararlı kontrolde, 0,01 in.w.g. (250 Pa) veya daha yüksek ayar noktası sonucunu doğurabilir.

2. Üreticilerin dinamik basınç duyar elemanından 1 in.w.g. (250 Pa) sinyal için ölçtüğü Q' dan hareketle, dinamik basınç duyar elemanı yükseltme faktörü olan F 'yi aşağıdaki şekilde hesaplayın:

$$F = \left[\frac{4005A}{Q_{lin.}} \right]^2$$

Bu formülde A, aşağıdaki şekilde hesaplanan nominal hava kanalı kesit alanıdır (ft²) :

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

D ise, nominal kanal çapıdır (in.).

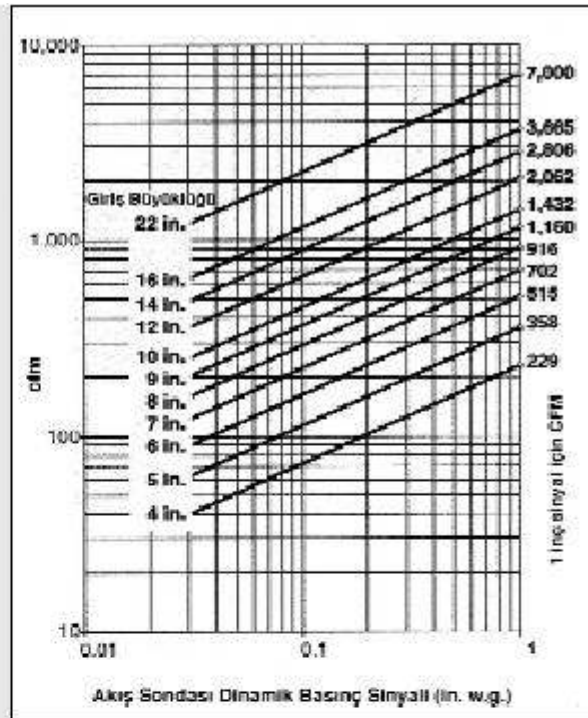
Şekil (9), VAV kutusu akış sondası performansının bir örneğini göstermektedir. Grafiğin sağ tarafındaki veriler, çeşitli boğaz ölçüleri için (solda gösterilen), 1 in.w.g.'deki hava debilerini göstermektedir. Örneğin bu şekle göre, bu üreticinin 8 in. (200 mm) girişli kutusunun sondası 702 CFM (331 L/s) debide 1 in.w.g. (250 Pa) sinyal algılamaktadır. (Çevirenin Notu: Gerçekte, grafikte 8 inç için 916 CFM okunmaktadır!)

3. Tüm kutu büyüklükleri için minimum hızı (n_m) aşağıdaki gibi hesaplayın:

$$n_m = 4005 \sqrt{\frac{VP_m}{F}}$$

Bu formülde VP_m , 1. adımdaki büyütülmüş dinamik basınç ayar noktasıdır.

4. Tüm VAV kutusu büyüklükleri için, kontrollerin izin verdiği minimum hava debisi ayar noktasını aşağıdaki gibi hesaplayın:



Şekil 9. Örnek VAV kutusu giriş duvar elemanı performans diyagramı (dinamik basınç sinyaline karşılık CFM)

Tablo (2), Şekil 9'da tanımlanan, 0,004 in.w.g. (1 Pa) ve 0,01 in.w.g. (2,5 Pa) dinamik basınç ayar noktası yeteneğine sahip kontrolörü olan bir VAV kutusu sondası için minimum hava debisi avar

$$V_m = n_m A$$

noktasını göstermektedir.

Nominal Giriş Çapı, in.	Alan, ft ²	Q _{in} , Duyar Eleman Okuması İçin CFM	Yükseltme Faktörü	Minimum Dinamik Basınç Sensörü=0.004 in.w.g.		Minimum Dinamik Basınç Sensörü=0.004 in.w.g.	
				Minimum Hız, fpm	Minimum Debi CFM	Minimum Hız, fpm	Minimum Debi CFM
D	A		F	v _m	V _m	v _m	V _m
4	0.087	229	2.33	166	14	263	23
5	0.136	358	2.33	166	23	263	36
6	0.196	515	2.33	166	33	263	52
7	0.267	702	2.33	166	44	263	70
8	0.349	916	2.33	166	58	263	92
9	0.442	1.160	2.33	166	73	263	116
10	0.545	1.432	2.33	166	92	263	143
12	0.785	2.062	2.33	166	130	263	206
14	1.069	2.806	2.33	166	177	263	281
16	1.396	3.665	2.33	166	232	263	367
22	2.64	7000	2.28	168	443	265	700

Tablo 1. Kutu minimum debisi için örnek hesap.