Negatif Basınçlı Temiz Oda Tavan Tasarımı ve Fan Filtre Üniteleri

Ömer Demirel, Mak. Müh.
TTMD Üyesi

ÖZET:
Temiz oda uygulamalarında karşımıza çıkan çok yüksek hava debilerini karşılayacak klima santral yüklerini ve kanal ihtiyaçlarını azaltmak ve filtre edilmemiş hava by-pass kaçaklarını ortadan kaldırmak amacıyla negatif plenyum tasarımları bu bildiride ele alınacaktır.
Negatif plenyum tasarımlarında temizodanın tavanında oluşturulan plenyum; egzoz, basınçlandırma, sıcaklık ve nem kriterlerinin sağlanması için gerekli iklimlendirilmiş taze hava için bir karışım hücresi olarak kullanılır. Gerekli hava değişimi fanı kendi üzerinde olan ve tavana yerleştirilmiş bulunan FFU (fan filtre üniteleri) ile sağlanır. Bu üniteler odanın içinden aldıkları havayı taze hava ile karıştırıp hepa/ulpa filtreden geçirerek tekrar odaya gönderirler.
Asma tavanın üzerindeki boşluktaki basınç odaya göre negatif basınçlıdır. Bu nedenle asma tavanda meydana gelebilecek kaçaklarda hava akışı "temiz" odadan asma tavan arasına doğru olur. Bu da filtre edilmemiş havanın temizodaya girmesini engeller. Bu durumda kullanılan santraller make-up amacıyla seçilirler. Bu nedenle bu santraller pozitif plenyumlu temizoda tavanı uygulamalarına göre oldukça küçük seçilebilirler. Bu tasarım, ilk yatırım maliyetlerini düşürmesi, sistemin kendini yedeklemesi, sızdırmaz tavan gereksinimlerinin azalması, temizodanın büyütülüp küçültülmesi veya sınıfının değiştirilmesinin çok kolay ve esnek hale getirmesi, havalandırma kanallarını önemli oranda azaltması gibi nedenlerle, temizodalarda sıkça uygulanmaktadır.

Negative Pressure Plenum Design and Fan Filter Units
ABSTRACT:
In this article, negative plenum design being used to reduce large air volumes and air conditioning unit loads, air ducts, and the by-pass air leakage in clean room applications, will be handled.
Negative plenum becomes a mixing chamber, which is required, for exhaust, pressurisation and to satisfy temperature and humidity demands as well as for the recirculated air from the cleanroom. These units take air from the cleanroom; they mix them with the conditioned air and pass through hepa/ulpa filter and blow to the room again. By utilising FFU's in a recirculating design, the plenum space above the ceiling becomes negative relative to the room. This reversal of the air pressure relationship assures that any leakage through the ceiling grid members will be into the negative plenum and not into the clean area.
Using FFU's with built-in fans for handling the recirculation requirements; the make-up air units can be much smaller than in positive plenum designs.
This type of design is frequently used for low investment costs, minimisation of the spare expenses, reduction in the cost and the selection of the ceiling grid (leakage expenses), easy enlargement of the cleanrooms, easy upgrading of the cleanliness class, reduction of air ducts etc.

1. Giriş

Fan filtre üniteleri (FFU), temel konfigürasyonda plug tipi bir fana tutturulmuş HEPA ya da ULPA filtreden ibarettir. Bu kompak, ince yapılı üniteler standart asma tavan ızgara sistemine oturacak şekilde tasarımlanmışlardır. 1984 yılında piyasaya sürülmesinden sonra değişik temizoda uygulamalarında gittikçe artan bir popülariteye sahip olmuşlardır.

2. Uygulamalar

Tüm tavanın komple filtre ile kaplandığı büyük tesislerde geniş çaplı FFU uygulamaları Asya pazarında (3000-5000 FFU) ortaya çıkmış, bu durum dünya çapında FFU işi yaratmış, bu ilk büyük tesislerde elde edilen başarı ile yeni imalatçılar, yeni filtre tipleri, daha az enerji tüketen ve hava akışını ayarlayıp gözlenmesini de sağlayacak şekilde PC esaslı kontrol sistemlerine sahip motorlar ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler FFU'lerinin birçok yeni temiz oda tasarımlarında başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

3. Negatif plenyum tasarımında FFU uygulaması

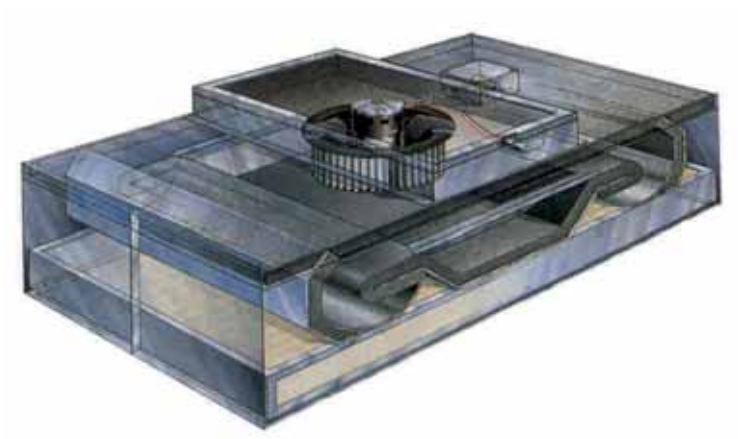
FFU'lerinin kullanımında yatırım maliyeti, güç tüketimi ve servis verilebilirlik konularında şüpheler ortaya atılmasına karşın birçok avantajlar elde edilmiştir. FFU'lerinin negatif plenyum tasarımında kullanılması, çok açık bir şekilde daha küçük klima sistemi ihtiyacı ve by-pass kaçağının önlenmesi gibi çok önemli avantajları sağlamaktadır. Negatif plenyumlu bir temizoda tasarımında, plenyum, şartlandırılmış make-up havası için bir karışım hücresi olarak kullanılmaktadır. Bu make-up havası egzoz, basınçlandırma, sıcaklık ve nemin sağlanması ile odadan resirkülasyon için de gerekmektedir. Resirkülasyon için FFU'lerinin kullanılması ile, make-up havası için gerekli klima santralleri, pozitif basınçlı plenyum tasarımlarına göre oldukça küçülmektedir. Oda temizlik sınıfını sağlayabilecek toplam filtre edilmiş havanın %10'unun klima santralinde işlenmesi yeterli olabilmektedir.

4. Temiz oda tavanında sızdırmazlığın sağlanması

Konvansiyonel temizoda tavanı tasarımlarında filtrelerin dizildiği ızgara tavan sisteminin üzerinde basınçlandırılmış bir plenyum bulunur. Tavanda değişik tiplerde ızgara sistemleri kullanılabilir. Bu ızgara sisteminde sızdırmazlığın sağlanması için katı yada sıvı contalar kullanılır. Düşük temizlik sınıfında (Cl-100 ; Cl-100.000) bazı filtrelerin yerlerinde boş paneller ve aydınlatma armatürleri kullanılır. Havanın filtrelerden geçirilmesinin bir alternatif yöntemi de basınçlandırılmış plenyum yerine, üzerine kanal bağlantısı yapılan terminal filtreler kullanılmasıdır. Bu tasarım yaklaşımlarında asma tavan ızgara sistemi ile ızgara-filtre arası sızdırmazlık çok önemli olmaktadır. Filtrelerin üst kısmında kalan kısmın basınçlandırıldığı bir sistemde herhangi bir şekilde oluşabilecek bir kaçak, filtre edilmemiş (HEPA/ULPA filtreden geçmemiş) havanın temizodaya girmesine sebep olacaktır. Bu kaçak havanın hızı plenyum ile oda arasındaki basınç farkına bağlı olarak yüksek olabilir ve oda içinde parçacıkların havada asılı kalmasını sağlayan zararlı çapraz akımlara sebep olabilir. Resirküle tasarımında FFU'lerinin kullanılması ile, tavanın üzerindeki plenyum, odaya göre negatif basıçlı olmaktadır. Hava-basınç ilişkisindeki bu tersine dönüş, tavan ızgara elemanlarından oluşabilecek herhangi bir kaçağın temiz alana doğru değil, negatif basınçlı plenyuma doğru olmasını temin eder. Filtrenin ızgaraya, ızgara sisteminin duvara ya da diğer elemanlara bağlantı yerlerindeki sızdırmazlığın önemi azalır, böylece asma tavan sisteminde tasarruf da sağlanabilir.

5. Diğer bazı tasarım kriterleri ve uygulama esnekliği

Bu avantajların yanı sıra FFU'lerinin montaj kolaylığı, maliyetlerinin düşüklüğü, uygulamalardaki esnekliği de göz önüne alınmaktadır. FFU'leri proje planlanmasında maliyetin önemli olduğu uygulamalarda önemli bir seçeneği temsil etmektedirler.



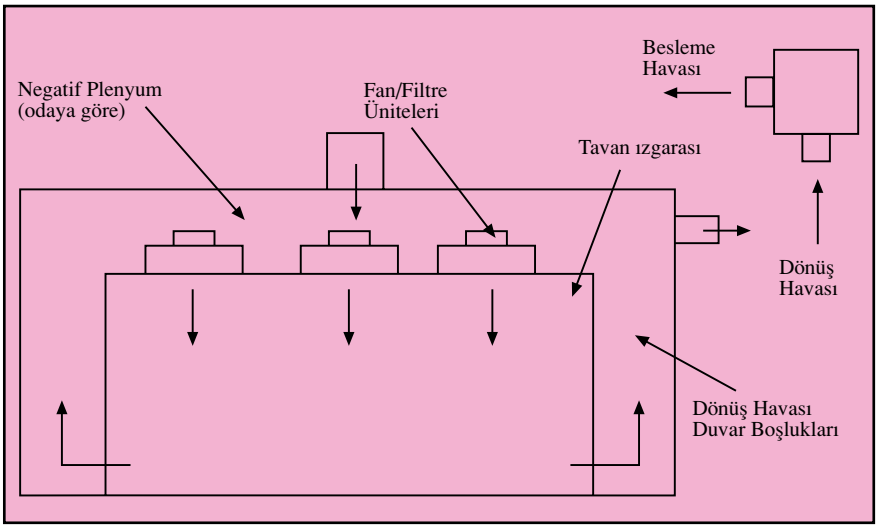
Yüzlerce, binlerce FFU kullanılan bir tesiste, bir veya birkaç ünitenin arızalanması odanın temizlik sınıfını etkilememektedir. Bir dizi arızanın potansiyel bir problem yaratacak şekilde aynı alanda meydana gelme olasılığı çok ekstrem bir istisna olmaktadır. Enerji tasarrufu açısından bakıldığında, çalışmayan bölgedeki birkaç ünitenin kapatılarak o zonun kullanıma kapatılması çok kolay olmaktadır. Bir tesisteki ihtiyaçlar ve kullanımlar değiştikçe, FFU'lerinin yerlerinin değiştirilmesi herhangi bir kanal tadilatına ya da özel bir montaj işçiliğine gerek kalmaksızın kolayca yapılabilmektedir. Gerektiği takdirde bu üniteler aydınlatmalarla ya da boş panellerle değiştirilebilmektedir.

Negatif (basınçlı) Plenyum Tasarımı

Odanın temizoda sınıfının geliştirilmesi gerektiğinde sadece FFU ilavesi ile daha hasas temizoda sınıfları sağlanabilmektedir. Tersi durum içinse bazı FFU'ler azaltılmaktadır. Çok daha katı koşullar istendiğinde FFU'lerindeki HEPA filtreler ULPA filtrelerle değiştirmektedirler. Tesisin kuruluştaki ilk uygulama amacı değişir ise, FFU'leri kendi başlarına çalışabilir üniteler olduklarından kaldırılıp depolanabilirler ve başka bir kullanım fırsatına kadar saklanabilirler.

6. Servis verilebilirlik

Tüm bu kazançlara rağmen ünitenin üzerindeki motorun servis ihtiyacı veya değiştirilme ihtiyacı nasıl karşılanacaktır? Motorun beklenen ömrü ve ne kadar kolaylıkla değiştirilebileceği sorusunun cevabı nedir? Pratik olarak, motor ömrü kesinlikle bir problem olmamaktadır. Uygun şartlarda çalıştıklarından (start/stop yorulması yok, yataklara zarar verecek toz parçacıkları yok, sıcaklık ekstremleri yok) FFU motorlarının beklenen ömürlerinin 100.000 saatten (12 yıl) daha fazla olması olağan dışı bir şey değildir. Motora ulaşılabilirlik iki yolla sağlanabilmektedir. Birincisi, bazı üniteler motorlarına temizoda içerisinden filtre ve deflektör plakası kaldırıldıktan sonra ulaşılabilecek şekilde tasarımlanmışlardır. İkinci olarak, bazı üniteler motorlarına yukarıdan ulaşılabilecek yeterlikte boşluğun bulunduğu ve servis personelinin buradan ulaşabileceği kabul edilerek tasarımlanmışlardır. Kedi yolu ihtiyacının en aza indirilmesi amacıyla da FFU'lerinin üst kısımları servis personelinin ağırlığını taşıyacak şekilde tasarımlanırlar. Bu sayede üniteden üniteye basılarak yürünebilir. Başka bir konu da arızalanan ünitenin güvenli bir şekilde tespit edilme yöntemidir. Son yıllarda çok sayıda FFU'nin kullanıldığı yerlerdeki kontrol ve gözetleme ile ilgili donanım ve yazılım kullanımları, fark basınç presostatları ve lokal işaret lambaları ihtiyacını pratik olarak ortadan kaldırmıştır. FFU üzerine monte edilen bir baskı-devre kontrol kartı, bir transmitter yardımı ile motordan dönüş (d/d) sinyallerini algılar. Bu kart, motor hızını birkaç kademeli ya da oransal olarak kontrol edebilecek şekilde tasarımlanabilmektedir. Bu sayede dengeleme amacıyla ünitelerin tek tek uzaktan ayarı yapılabilmektedir. FFU çıkış hava hızının otomatik olarak ölçülmesi ve motor devrinin de istenilen debiyi sağlayacak şekilde artırılıp azaltılması ile bu işlem gerçekleştirilebilmektedir.



7. Gürültü

FFU'lerinin yüzlercesinin aynı mahalde kullanıldığı tesislerde ünitelerin bileşik gürültü seviyesi ne olmaktadır? Bir odadaki çalışma gürültü seviyesi o mahaldeki tüm ünitelerin gürültü seviyelerin toplanması ile oluşmamaktadır. Pratik bir perspektiften bakıldığında, bir gürültü seviyesi ölçme mikrofonu yaklaşık 100 ft^2 (yaklaşık 9 m^2) lik alandan etkilenmektedir.

Günümüzde üretilen FFU'lerinin bir adedinin desibel cinsinden gürültü seviyesi, tavana monte edildiğinde,0,45m/s hava hızında hava üflerken, gürültü değerleri HEPA filtrenin yaklaşık 750 mm altında ölçüldüğünde, 50dbA 'nın altında olabilmektedir. Bu da NC45'e karşılık gelmektedir.

Gürültü için 100 ft^2'lik (9m^2) bir alan göz önüne alındığında, eğer tüm tavan filtre ile kaplanıyor ise 12 adet 1200x600mm ebadında FFU'nin toplam etkisini hesaba katmak gerekmektedir. Tüm FFU'lerinin aynı gürültü seviyesinde çalıştığı ve çevreden katkının hesaba katılmadığı varsayılırsa, kümülatif etki bir ünitenin gürültü seviyesinin üzerine yaklaşık 10 dbA eklenmesiyle bulunabilmektedir. Böylece oda gürültü seviyesi yaklaşık 65 dbA veya NC60 olmaktadır. Açıktır ki, nihai gürültü seviyesini, oda etkisi (odanın tasarımı), ölçümlerin alındığı FFU'lerinden olan uzaklık gibi birçok faktör oluşturmaktadır. Buna rağmen yukarıdaki yaklaşım, tüm tavan alanının FFU'leriyle kaplandığı tesislerde çalışma gürültü seviyeleri için iyi bir yön gösterici olarak kullanılabilir.

8. Sonuç olarak

Fan Filtre Üniteleri (FFU) birçok küçük ve büyük sistem uygulamalarında çok çekici bir şekilde kirlilik kontrolü seçeneğini temsil etmeye devam etmektedir. Yüksek üretim miktarları ve rekabet, geçmiş yıllar boyunca FFU fiyatlarını da uygun seviyelere getirmiştir. Tasarımlanacak olan tesisteki temiz oda sınıfı/sınıfları, kullanım alanları ve yan şartların iyi bir analizi ile birlikte bu seçenek de irdelenmelidir.

FAN FİLTRE ÜNİTELERİ

TERCİH KRİTERİ	FAN-FİLTRE ÜNİTESİ ÖZELLİĞİ	KAZANÇ
İlk yatırım maliyeti	Düşüktür	İlk yatırım masrafları düşer
Enerji harcaması	Düşüktür	İşletme maliyetleri en az seviyededir.
Servis verilebilmesi	Kolaydır. Asma tavan arasından ya da oda tarafından servis verilebilmektedir.	Servis masrafları düşüktür.
Plenyum	Asma tavan arası temiz odaya göre negatif basınçlıdır	Pozitif basınçlı asma tavanlı temiz odalara göre daha küçük klima cihazları kullanılır
Klima sistemi	Sadece basınçlandırma, ısıtma, soğutma, nemlendirme amaçları ile klima santralı kullanılır.	Klima santralı, soğutma grubu, otomatikleri, tesisat malzemeleri çok küçülmüştür. Resirküle santrallerine gerek kalmamıştır.
Asma tavan ızgara sistemi	Negatif plenyum sistemi olduğunda, ızgara sisteminde sızdırmazlığı sağlamak için kullanılan contaların çok fazla önemi kalmamıştır.	Çok pahalı tavan ızgara sistemi kullanılmasına gerek yoktur.
Filtre edilmemiş hava by-pass'ı	Negatif plenyum olduğundan asma tavandan hava kaçağı olması durumunda temiz odadan asma tavan arasına doğrudur	Asma tavan arasından kirli havanın odaya gelmesi riski yoktur.
Montaj	Kolaydır	Montaj masrafları düşüktür.
Arıza	Odadaki fanlardan bir ya da birkaç fanın arızalanması durumunda bile sistem çalışmaya devam eder.	Yedekleme maliyeti düşüktür.
Ekonomik çalıştırma Tesiste değişiklik olursa?	Çalışılmayan zonlardaki fanlar kapatılabilir Fan-filtre ünitelerinin yerleri kolayca kaydırılabilir	Enerji harcaması düşürülür Değişiklik masrafları düşürülür
Havalandırma kanalları	Sadece primer santrallerin kanalları yapılır	Kanal kesitleri, metrajları ve maliyetleri önemli oranda düşüktür
Temiz odanın sınıfı değişecek ise	Klima sisteminde değişiklik yapılmaksızın FFU ilavesi ya da çıkarılması gerektiğinde HEPA-ULPA değişikliği ile istenilen class sağlanabilir.	Class değişiklik masrafları en düşük seviyededir
İşin yapımından vaz geçilirse?	Daha sonra kullanılmak üzere saklanıp kaldırılabilir	İlk yatırım masrafları boşa gitmez
Motor ömrü Motora ulaşılabilirlik	100.000 saat Yukarıdan asma tavan arasından ya da istenildiğinde oda içinden ulaşılabilir	Değiştirme arıza-bakım masrafları düşüktür. Servis masrafları düşüktür
Asma tavanda kedi yolları gerekir mi?	FFU'lerinin üzerlerine basılarak yürünebilir.Personel taşımaya uygundur.	Çok fazla kedi yolu yapılmasına gerek yoktur
Arızalı fanın tesbiti nasıl?	FFU üzerindeki elektronik kart ile motor çalışması, arızası, hızının artırılıp azaltılması, bir bilgisayar sistemine bağlanması vs. mümkündür	İşletilmesi çok kolaydır. Otomasyona bağlanabilir
Gürültü seviyesi	50dbA (NC45)'in altında	Oda etkisi ile daha da düşer.
Kullanım alanı	Hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli temiz odalarda başarı ile uygulanabilmektedir	Esnek bir kullanım alanı vardır.
Filtre değişimi	Kolaylıkla yapılabilmektedir. Kullanılan filtreler standart büyüklüktedir.	Filtre değişim masrafları düşüktür.
Filtre kirlenmesi durumunda debi düşüp class bozulmaz mı?	Fanlar hız ayarlı olup filtreler kirlendikçe fan hızı artırılmak suretiyle istenen debi ve temiz oda sınıfı sağlanır	Debi ayar cihaz masrafları çok düşük seviyededir.

Ömer Demirel
1959 yılında doğdu. 1981 yılında ODTÜ Makina bölümünden mezun olduktan sonra 1981-1985 yılları arasında TSE makine laboratuvarında makina mühendisi olarak görev yaptı. Askerlik görevini Gn.Kur. Bşk. İnşaat Proje Tetkik ve Kontrol şubesinde makina mühendisi olarak tamamladıktan sonra 1986'da ALARKO şirketler topluluğuna katıldı. Burada soğuk depo sistemleri, otomatik kontrol, VAV sistemleri, hijyenik klima sistemleri, merkezi sistem ısıtma soğutma havalandırma ve klima konularında değişik kademelerde mühendis, şef, müdür olarak görev yaptı. 1999 yılında ALARKO' dan ayrılarak DTK Temizoda, Tesisat, Klima Ltd. Şti.'ni kurdu. Halen burada temizoda, tesisat ve klima sistemleri konularında faaliyet göstermektedir.