

HVAC SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM

NORMAN J. MASON, Mak. Müh.

1. ÖZET

Bu makale, HVAC sistemlerinde kullanılan titreşim sistemlerinin çeşitleri, bileşenleri ve çalışma esasları hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Kapsanan konular arasında titreşim izolasyonunun tarihi, gereken formüller, ürünlerin mesnetler, kaideler ve askılar olmak üzere örneğin neopren mesnetler, çelik ve havalı yaylar, beton kaideler gibi ayrıldığı dallar bulunmaktadır.

2. HVAC SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM

1960'lardan önce mühendisler, seçimlerini, mantar, çeşitli pedler, tek ve çift çökmeli kauçuk ayaklar veya maximum 1 inch çökmeli çelik yaylar arasından yaparlardı. Seçim tamamen kişisel tercihlerine bağlıydı.

Bu metod, HVAC endüstrisine, titreşim kontrolü olarak sunulmuştur. Eğer ekipman bodrum katta ise, küçük ise ve kullanan kişiler makinaya zarar vermiyorlarsa bu yöntem herhengi bir sorun çıkartmıyordu. 1900'lü yılların başlarında binalar çok iyi değildi. Döşemeler ince, kirişler kısıydı ve perde duvarlar nadiren kullanılırlardı.

İkinci dünya savaşını takip eden yıllarda HVAC sektöründe önemli gelişmeler oldu. Bütün binalar havalandırılmaya başladı. Önceden makina dairesi veya depo olarak kullanılan bodrum katları, ofis veya otopark olarak kiralanmaya başladı. Böylece havalandırma üniteleri, binanın başka yerlerine, genellikle de soğutma kulelerinin bulunduğu katın altında, yönetim katının üstünde bulunan penthouse'lara yerleştirilmek zorunda kalındı. Birçok durumda, yüksek basınçlı fanlar veya yüksek basınçlı HVAC üniteleri, orta katlarda bulunan ofislere komşu mahallere yerleştirildi ve çok büyük titreşim problemlerine yol açtılar. Ofis mahallerini küçültmemesi için kolon aralıkları arttırıldı. Sonuç olarak ta eski yöntemlerle yapılan rastgele seçimler, problem yaratmaya başladı.

Bütün bunlar, teorik olarak çok basitleştirilmiş titreşim kontrol eşitliği devrini başlattı. Bu eşitlikten de anlaşılacağı gibi; frekansı (genellikle d/d cinsinden) bilinen, yukarıda tanımlanan rahatsız edici frekanstan daha düşük bir frekansta rezonansa giren bir makinanın yarattığı titreşimi istenen oranda yalıtabiliriz. Rahatsız edici frekansın, doğal frekansa oranı 3 olduğunda, teorik olarak titreşimin %90'ı elimine edilmiş olur.

VERİMLİLİK EŞİTLİĞİ

$$E = 100 \times [1 - (1 / (f_d / f_n)^2 - 1)]$$

E : Yalıtılan titreşimin yüzdesi

F_d : Yalıtılmış makinanın rahatsız edici frekansı

F_n : Yalıtılmış makinanın doğal frekansı

Rahatsız edici frekans olarak en düşük devir sayısı dikkate alınır. Bütün makinalar ilk hızlanma esnasında balans problemi yaşarlar. Eğer formülde yüksek frekansa göre hesap yapılırsa, makina devrini alana kadar yalıtım yetersiz kalır.

Dakikadaki devir sayısı cinsinden doğal frekansın formülü

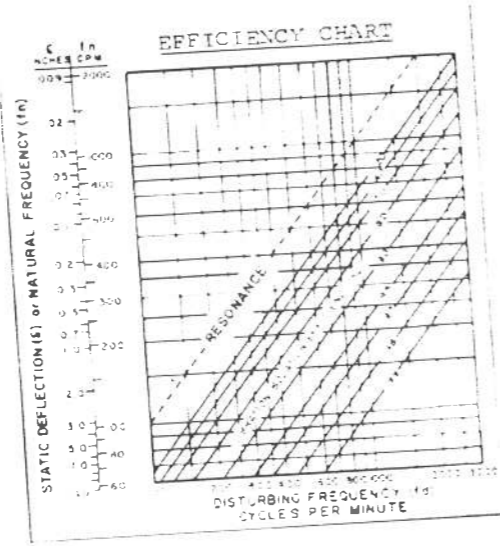
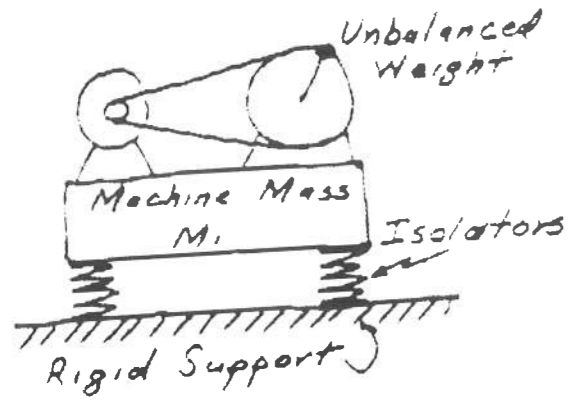
$$f_n = 188 (1 / d)^{1/2} \text{ şeklindedir.}$$

d: statik çökme

Formül, sadece düzenli çökmesi olan kaideler için geçerlidir.

Titreşim yalıtımı ile ilgilenen bütün firmaların, teorik eşitliği grafik şeklinde göstermek için hazırladıkları şekil 1'deki gibi verimlilik çizelgeleri vardır. Rahatsız edici frekans her zaman bilindiği ve değişken olmadığı için doğal veya rezonans frekansı ile uygun özelliklerdeki yalıtım malzemesi belirlenebilir. Bir sarkacın frekansı gibi, ağırlığından daha çok uzunluğun fonksiyonudur. Bir yalıtım sisteminin frekansı, sistemin ağırlığından çok, titreşim yalıtımının statik çökmesinin fonksiyonudur. 600 d/d 'lık bir kompresörün %90 yalıtım verimine

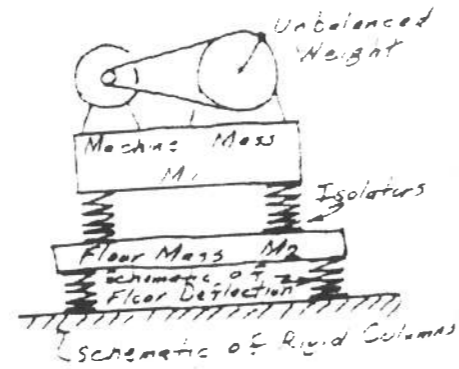
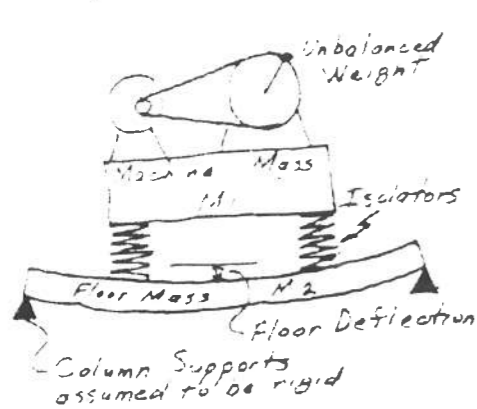
sahip olabilmesi için 1 inch çökme yapabilen veya rezonans frekansı 188 d/d olan bir yalıtım malzemesi seçilmelidir. Titreşim yalıtımı yapan firmalar, titreşim yalıtım malzemesinin havalandırma cihazından yayılan titreşimin %90'ını elimine edecek şekilde yalıtım yapılması gerektiğini savunmaktadırlar.



ŞEKİL 1.

Bu yaklaşım, titreşim alıcı seçimlerinde önseziyle dayalı bir düzeltme idi ve sadece bir başlangıç olarak oluşturulmuştu. %90 yalıtımda, titreşimin büyüklüğü göz önüne alınmamıştı. Bir titreşim problemiyle karşı karşıya kalındığında öncelikle bilinmelidir ki; titreşim kuvveti, dengelenmemiş ağırlıkla, dengesizliğin merkezden olan uzaklığıyla, hızın veya devir sayısının karesiyle değişmektedir. 300 d/d ile çalışan 18" bir fanın titreşim kuvveti, 100d/d ile çalışan 60" class 3 fanın titreşim kuvveti ile karşılaştırıldığında çok önemsiz kalmaktadır. %90 yalıtım, 18" olan fan için gereksizdir fakat büyük olan için yetersizdir. Teorik eşitliğe göre yapılmış olan yanlış seçimlerden dolayı ciddi hatalar yapılabilmektedir.

Yalıtım malzemesindeki çökmenin, kat zeminindeki çökmeden çok çok büyük olduğu ve yalıtılmış cihazın balanssızlığının, kat zeminin kütlesinden çok çok küçük olduğu düşüncesine dayalı olan eşitlik yanlıştır. Bu varsayımlar, küçük cihazların bulunduğu eski binalar için doğrudur. Günümüzde nadiren geçerlidirler çünkü tek kütleli sistemlerden daha çok çift kütleli sistemlerle çalışılmaktadır. Zeminin bir kütlesi vardır ve şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem, basit teorik eşitlikle analiz edilemez. Teorik eşitlik kullanılırsa, çoğunlukla zeminin çökmesinden daha küçük çökme bir titreşim yutucu seçilebilmektedir. Örneğin; 3000 d/d'lık bir cihazı yalıtım ve titreşimin %95'ini elimine etmek istiyorsak, grafiğe göre 0.09" çökme yalıtım malzemesi seçeriz. Zeminler, iki kiriş arasındaki mesafenin maksimum 1/360'ı kadar çökmeye izin verecek şekilde dizayn edilmiştir. Yaygın olarak 30 foot açıklık kullanılmakta ve zemin çökmesi 1/360 x 360" (1") kadar olabilmektedir. Eğer zemin, izin verilen maksimumun sadece yarısı kadar çökmeye sahip ise bile 0.5" çökmesi olacaktır. Bu da yalıtım malzemesinin çökmesinin 5.5 katıdır.

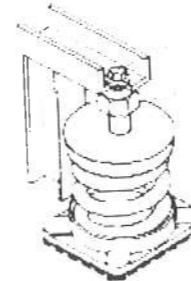
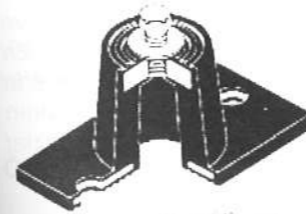


ŞEKİL 2.

Bu sert yalıtım malzemesi, zemin titreşimini hemen hemen hiç azaltmayacaktır. Vibrasyon yalıtımı uygulama problemlerini çözecek karmaşık bir takım eşitlikler vardır. Ne yazık ki bir takım şartlar tahmini olarak alınmıştır ve sonuçlar da bu tahminler doğru olduğu sürece doğrudur. Eğer döşemeyi oluşturan beton hafif ise, yalıtım malzemesinin çökmesinin döşeme çökmesinden 6 - 8 kat daha fazla olması gerekmektedir. Problem çözerken, bu rakkamlar ekstrem ise; teorik grafikte tavsiye edilen ve yeterli olmayacak 3/8" çökmeli malzemeler yerine 3" statik çökmesi olan titreşim alıcılar kullanılır.

Tavsiye edilen çökme miktarları, tamamen tecrübeye dayandırılmış genel değerlerdir. Bazı durumlarda, bu değerler problemin çözülmesi için gerekenden daha fazla olabilirler fakat ticari uygulamalar, daha geniş anlamda ele alınmalıdır. Çok büyük ve kritik işlerde, kalifiye akustik projecilerin tarafsız profesyonel kararlarına güvenmek istenebilir. Yapılan analizlerde, büyüklüğüne ve bulunduğu binadaki yerine göre her bir cihaz için gerekenler kesin olarak belirtilmelidir. ASHRAE rehberindeki Mühendislik Spesifikasyon Bülteninin sonundaki seçim tablosunda çeşitli giriş aralıkları için gerekli çökme miktarları verilmiştir. Bu değerler, standart hale gelmiştir.

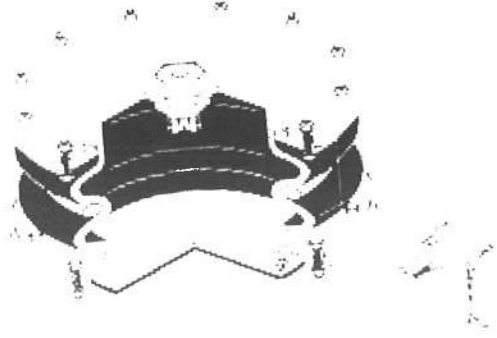
Daha fazla çökmeli malzeme ihtiyacı olması halii, ürünlerin sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır.



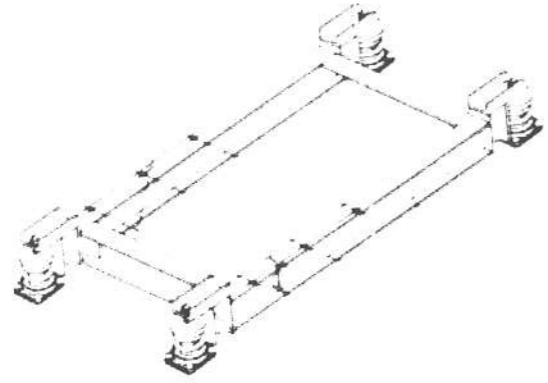
Pedler, ister neopren veya mantar, ister her ikisinin kombinasyonu, fiberglas, sisal lifler, keçe, kurşun veya başka bir malzeme olsun, sınırlı bir çökmeye sahiptirler. Çökmeler normal olarak 1" kalınlığındaki bir ped için kalınlığın %10-20'si gibidir. Yüksek katlardaki cihazların titreşimlerinin alınması için bu çökme miktarları yeterli olmayacağı için, kullanım alanları bodrum katlar, ve kritik olmayan cihazlar ile sınırlıdır.

1Neopren ayaklar ve askıların çökme miktarları 0.20" - 0.50" arasındadır. 3 HP'ye kadar olan pompaların, küçük ısıtma ve havalandırma üniteleri gibi cihazların, yüksek hızlı küçük ekipmanların titreşim yalıtımında, dengesiz kuvvetlerin çok küçük olduğu, sadece ses probleminin ya da küçük bir titreşim probleminin olduğu yerlerde gerekli statik çökmeyi sağlayabilirler. Neopren askılar, nadiren titreşen, aslında normal olarak yüksek frekanslı ısı sesi çıkartan buhar hatlarında kullanılırlar. Neopren ayaklar ve askıların kullanılacağı yerlerde, spesifikasyonlar, yay kullanılmasını önerirler. Çünkü neopren ayaklarla küçük yayların fiyatları arasında fazla fark yoktur. Neopren askı elemanları, genellikle yaylarla seri olarak kullanılırlar. Çünkü neopren malzemeler, yayların tek başlarına yapamayacakları kadar yüksek frekanslı sesleri elimine ederler.

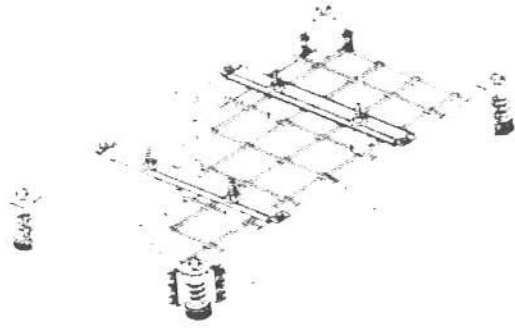
Çelik yaylar, kritik durumlarda kullanımı en yaygın olan titreşim alıcılarıdır. Çelik yaylar, pratik olarak 5", bazı özel durumlarda da daha fazla çökme yapabilirler. Yaylar, çeşitli dizayn imkanları verirler. Çelik yaylar, makina kadar kalıcı ve uzun ömürlüdür. Modern titreşim alıcılar yani ilave bir şeye gerek kalmadan gerekli stabiliteyi sağlayacak yeterli büyüklükteki çelik yayların bağlantı şekilleri çok önemlidir. Yaylar genellikle bir ayar civatası ve neopren ped veya yüksek frekanslı sesi hafifletici malzemeler ile birlikte üretilirler.



Titreşim alıcıların en randımanlısı hava yaylarıdır. Genel olarak bir hava yayı; 100 psi veya daha fazla hava basıncına dayanıklı olarak üretilmiş ve cihaza stabil destek sağlayan geniş lifli takviyeli kauçuk balondan oluşur. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş bir hava yayı, çelik yayın 6 - 7" çökmesine eşdeğer bir çökme sağlarlar. Hava yayının cidarları kauçuktan olduğu için, çelik yaylarda meydana gelebilen rezonans veya ses köprüsü riski yoktur. Hava yayları, tek bir boyuttaki yay ile hava basıncını çok az miktarda değiştirerek, çeşitli ağırlıklardaki yükleri taşıyabilme avantajına sahiptir. Hava yayları, küçük kaçakları ya da büyük sıcaklık farklarından doğabilecek genişleme veya büzülme hareketlerini kompanze edecek bir yükünün montajı, çelik ile birlikte monte edilirler. Hava yaylarının montajı, çelik yaylarınkine nazaran daha pahalı olduğu için hava yayları, son derece kritik yerlerde uygulanır.



Çelik veya beton kaideler, genellikle ekipmanı düzenli bir biçimde muhafaza etmek için kullanılırlar. Kaideler, dökme demir pompa kaidesi gibi mevcut bir kaidenin kuvvetlendirilmesi, santrifüj kompresörler gibi uzun cihazları stabil hale getirmek veya uzun ve bir çok bölümden oluşan ısıtma ve havalandırma ünitelerini bir arada tutmak için de kullanılabilirler. Bir çok durumda, beton yerine çelik kaideler kullanılabilir. Bir çok durumda, beton yerine çelik kaideler kullanılır çünkü kullanılacağı mahale kaynaklanmış, hazırlanmış halde gönderilebilmektedir. Beton kaide ile karşılaştırıldığında hafifliği sebebi ile döşeme betonunun güçlendirilmesine ihtiyaç kalmaz. Çelik kaidelerin kullanılması halinde dikkat edilmesi gereken en önemli konular; cihazı taşıyabilmesi için yeterince rijit olması ve taşıdıkları cihazın frekansında rezonansa girmemesidir. En iyi yöntem, kaide elemanları olarak çelik kirişlerin kullanılmasıdır. Kiriş derinlikleri, kaidenin en uzun kenarının en az 1/10'u kadar olmalıdır. Özellikle büyük güçlü cihazlar için ilave bilezikler kullanılabilir.



Yüzer beton kaideler özellikle pompalar için tavsiye edilmektedir. Pompa için gerekli olan ekstra sağlamlık ve şaplanmış yüzey gibi özellikler, yüzer beton kaidelerde mevcuttur. Eğer en önemli faktör sağlamlık ise, beton derinliği kaidenin en uzun kenarının 1/12'si kadar olmalıdır. Beton kaideler, cihazın balanssızlığına, dışardan gelebilecek bir takım kuvvetlere karşı dayanım için bir kütle artışı gerekli olması halinde de kullanılmaktadır.

Tek veya çift silindri, yatay veya dikey, düşük hızlı hava kompresörü, balanssız bir cihaza örnek olarak gösterilebilir. Bu geniş kalibreli, uzun stroklu makineler genellikle 350 d/d'da çalışırlar ve sadece kısmen balanslanabilirler.

Beton kaidenin ağırlığı, kompresör üreticisinden alınan dengelenmemiş kuvvet bilgilerine göre hesaplanır. Beton kaidelerin ağırlıkları, hareketi kabul edilebilir limitlere indirebilmek için kompresör ağırlığının 5 - 7 katı kadar olmalıdır.

Beton kaideler, fan itme kuvveti gibi dış kuvvetlere karşı da dayanıklıdır. Fan itme kuvveti ve ters vakum gibi cihazları yerinden oynatacak kuvvetler yüzünden, yüksek basınçlı, kabinli cihazların yalıtımı yapılırken beton kaidelerin kullanılması gerekmektedir. Yüksek basınçlı fanların titreşim yalıtımında da beton kaidelerin kullanılması önerilmektedir. Bu durumda ağırlık ihtiyacı, cihaz ağırlığının 1 - 3 katı gibi bir değere düşmektedir.

Basit çelik kaideler, beton dolu kaidelere göre daha ekonomik olmalarına rağmen, spesifikasyonlarımızın çoğu, daha kolay bir uygulama metodu olan beton ile ilgilidir.



Kauçuk genişleme parçaları, ses köprüsünü ve borudaki gerilimi azaltması için, kesme vanalarının cihaz tarafına yerleştirilmelidir. Sıcaklık ve basıncın çok yüksek olduğu tesisatlarda kauçuk yerine paslanmaz çelik veya bronz metalik hortumlar önerilir. Flexible metalik hortumlar, boru hattındaki seslere karşı çok az koruma sağlarlar. Cihaz bağlantı noktalarında esneklik sağlarlar. Bu da, flanşlardaki gerilimi azaltır ve titreşim yalıtımı yapılmış olan cihazın, yaylar üzerinde serbest olarak hareket etmesine olanak verir. Kauçuk bağlantı parçaları, ses köprülerini ve borudaki gerilimi azaltır. Vibrasyon iletimini azaltmaz.

Vibrasyon, boru hatları boyunca çok uzak mesafelere iletilir. Bu yüzden de bina içindeki bütün boruların titreşime karşı yalıtılması şarttır. Bu yalıtım da neopren ve yay yalıtım malzemeleri ile yapılmalıdır.

Bütün yüksek basınçlı kanal bağlantıları flexible olmalıdır. Bu bağlantılar, vibrasyonun binaya iletilmesini engelleyemezler. Kanallar normal olarak cihazdan 50' uzaklığa kadar 1" çökmeli askı yayları ile yalıtılmalıdır.

Mühendislik spesifikasyonları, endüstride yaygın olarak kullanılan cihazların statik ve sismik bölgelerini tanımlamaktadır. Bizim seçim kılavuzumuz, bu cihazları tavsiye edilen minimum statik çökmeleri ile birlikte göstermektedir. Bu kılavuzun amacı, spesifikasyonlar hakkında genel bilgi vermektir. Konu ve uygulamalar hakkında genel bir görüş açısı kazandırması bakımından, kullanılmasını öneririz.

Umarız bütün bu öneriler, sizlere işlerinizde yardımcı olur ve bizler de titreşim kontrolü ile ilgili bilgi havuzuna katkıda bulunmaya devam ederiz.

ÖZGEÇMİŞ

Norman J. Mason, 1924 yılında New York'ta doğdu. City Collage of New York'ta makina mühendisliği eğitimine başladı. 3 yıl sonra United States Merchant Marine'e çağırıldı.

Gemide operasyon mühendisi olarak çalışırken, ileri geri çalışabilen büyük güçlü makineler, buhar türbinleri, normal ve dizel makineler için işletme lisansı aldı. Merchant Marine Naval Academy, Connecticut ve Nordberg Diesel School'da eğitim aldı. 2. Dünya Savaşı'ndan sonra üniversiteye geri döndü ve 1948 yılında makina mühendisliği unvanını aldı. 1923 yılından beri New York'ta profesyonel mühendis olarak çalışmaktadır.

Titreşim kontrolü alanındaki çalışmaları, Amerika'nın en eski titreşim firmasında çalışmaya başlaması ile 1948 yılında başladı. 1958 yılında Mason firmasının kurulmasından önce ikinci bir firmanın ortağı ve teknik müdürü olarak çalıştı.

Mason Industries, 1958 yılında, sektörün en seçkin firması olmak amacıyla kuruldu. O günden beri Mr. Mason'ın bütün dizaynları bütün dünyaca kabul edildi. 41 yıldır Mason firmasının başkanı ve tasarım müdürü olarak çalışmakta olup, 45 yıldır da Amerika, İngiltere, Çin ve diğer Asya ülkelerinde seminerler vermektedir.