UVGI Dezenfeksiyon Teknolojisi

(Kısa bir bakış)

Temmuz 2021

Teknik Not No: 19

UVGI Dezenfeksiyon Teknolojisi
(Kısa bir bakış)

Künye

Bu doküman Prof. Catalin Lungu ve REHVA COVID-19 Görev Gücü tarafından hazırlanmış ve REHVA Teknoloji ve Araştırma Komitesi tarafından gözden geçirilmiştir.

Çeviren:
Doç. Dr. M. Zeki Yılmazoğlu
Gazi Üniversitesi Müh. Fak. Makine Müh. Böl. / zekiyilmazoglu@gazi.edu.tr

Özet

Bu belgedeki bilgiler, HVAC uzmanları, tesis mühendisleri ve işveren ve bina sahipleri gibi uzmanlar ve ultraviyole (morötesi) dezenfeksiyon ışınımı (UVGI) teknolojisi hakkında temel bilgi arayan yöneticiler için yararlıdır.

REHVA COVID-19 kılavuzunun bu eki, UV alanında kullanılan belirli terimleri, UVGI'nin virüs etkisizleştirmesi için kullanılma nedenlerini ve UV-C lambalarının temel özelliklerini açıklamaktadır. UVGI cihaz tipolojisi sunulmakta ve güvenli kullanım için bazı genel kurallar ve sınırlamalar verilmektedir.

UV ışınım fiziğinin karmaşıklığı göz önüne alındığında, UV sistemlerini boyutlandırmak için özel yazılımlara ihtiyaç vardır. Farklı UV-C cihazları için boyutlandırma yönergeleri ve tasarım örnekleri bu belgeye dahil edilmemiştir. Bu ek kapsamı geneldir ve belirli herhangi bir bina kategorisiyle (örneğin ofis binaları, eğitim binaları, alışveriş alanları, spor tesisleri, hastaneler, sağlık tesisleri, hatta konutlar) sınırlı değildir. Ancak, tasarım kusurlu olduğunda UV-C radyasyonunun insan sağlığı ve bazı materyaller üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler göz önüne alındığında, en önemli kural, yalnızca uygun boyutlandırılmış ve test edilmiş sertifikalı ürünlerin kullanılmasıdır.

Sorumluluk Reddi:

Bu belge, yayın tarihinde mevcut olan mevcut bilimsel bilgilere dayalı olarak REHVA uzman tavsiyesini ve görüşlerini ifade eder. Birçok açıdan, SARS-CoV-2 bilgileri tam değildir ve en iyi uygulama önerileri için önceki hava kaynaklı virüslerden bazı kanıtlar1 kullanılmış olabilir. REHVA, katkıda bulunanlar ve yayına dahil olan herkes, bu belgede sunulan bilgilerin kullanımından kaynaklanabilecek veya bununla bağlantılı olabilecek herhangi bir doğrudan, dolaylı, arızi hasar veya diğer zararlar için hiçbir sorumluluk kabul etmez.

1 Son yirmi yılda üç koronavirüs hastalığı salgınıyla karşı karşıya kaldık: (i) 2002-2003'te SARS (SARS-CoV-1), (ii) 2012'de MERS (MERS-CoV) ve 2019'da COVID-19 -2020 (SARS-CoV-2).

1. Kısa tarihçe ve terminoloji

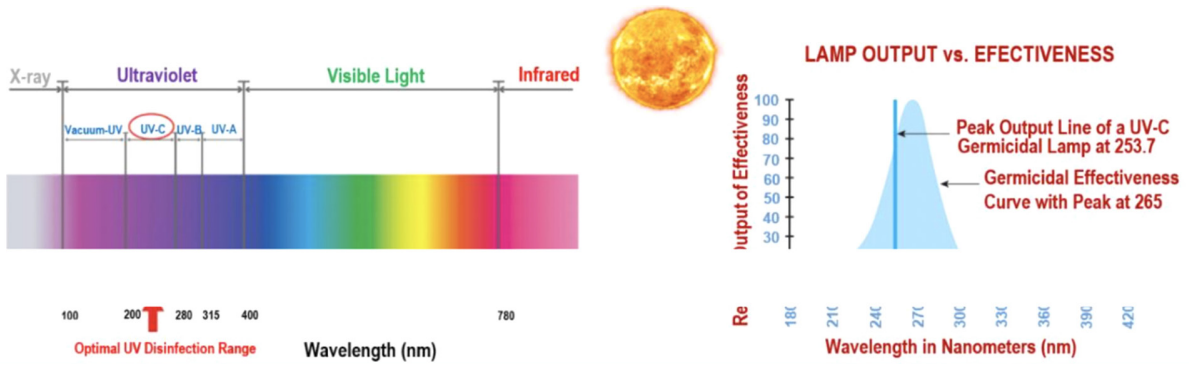
UV-C ışınımlı mikrop kırıcı lambalar, on dokuzuncu yüzyılın son yıllarından beri, iç mekan hava kalitesini (IAQ) ciddi şekilde etkileyen bakteri, küf, mantar ve virüsler gibi mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek veya yok etmek için kullanılmaktadır. Niels Ryberg Finsen, hastalıkları tedavi etmek için UV ışınlarını keşfeden ilk bilim insanıydı ve 1903'te Nobel Tıp Ödülü'ne layık görüldü. 1950'lerde başarıyla kullanılan Finsen şifalı lambasını icat etti. Westinghouse, 1930'larda ilk ticari UV-C antiseptik lambaları birlikte geliştirdi. Esas olarak hastanelerde kullanıldılar.

UV-C lambalarına yönelik uygulamalar, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, mikrobiyolojik kirliliğin bir endişe kaynağı olduğu her yerde kullanıldıklarında büyüdü: hastanelerde, ilaç fabrikalarında ve hayvan laboratuvarlarında hava ve yüzeylerin sterilize edilmesi için. Sonunda, merkezi iklimlendirme ekipmanlarına dahil edildiler.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Bütünleştirici Acil Servisler (IES) veya Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) altında yürütülen birçok çalışma [1], UV-C ışınımının farklı patojenleri kolayca etkisiz hale getirebileceğini veya öldürebileceğini kanıtladı. UV-C, tüberkülozun kontrolü ve eradikasyonunda (kökünü kurutma) önemli bir bileşen haline geldi [1].

Son zamanlarda birçok araştırmacı UV-C teknolojisinin birçok uygulama alanında güvenle kullanılabileceğini kanıtlamış [2] ve bilimsel raporlar [3,4] UV-C'nin HVAC ve COVID-19 ile mücadelede başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Elektromanyetik spektrumun bir kısmı Şekil 1'de gösterilmiştir. Tablo 1, nanometre (nm) cinsinden dalga boyu aralığına göre tanımlanan beş UV radyasyonu tipini gösterir: vakum UV, uzak UV-C, UV-C, UV-B ve UV-A. Tablo 1, kullanım güvenliği, plastik bozunma hızı (fotodegradasyon) ve her bir UV radyasyon türü için pratik kullanımlar hakkında bilgi verir. En güçlü mikrop kırıcı etki, grafikte gösterildiği gibi yaklaşık 265 nm'de elde edilir. UV-C lambaları 253.7 nm'de ışınım yayar.



Şekil 1 - Bir UV lambanın elektromanyetik spektrumu ve mikrop kırıcı etkinliği

Tablo 1 - UV ışınımı tipleri

UV tipi	Dalgaboyu (nm)	Deri ve göz için güvenli mi?	Plastik veya kauçuk bozunması	Pratik kullanım
VUV Uzak-UV	100-200	Evet	Hızlı	Medikal Ekipman
Uzak UV-C	207-222	Evet	Hızlı	Mikrop Kırıcı dezenfeksiyon
UV-C	200-280	Hayır	Hızlı	Mikrop Kırıcı dezenfeksiyon
UV-B	280-315	Hayır	Hızlı	Solaryum, Tıbbi tedavi
UV-A	315-400	Hayır	Çok yavaş	Kürleme, baskı, litografi, algılama, tıbbi uygulamalar

UV-C, UV-A veya UV-B'ye kıyasla UV ışınımının düşük penetrasyonlu bir şeklidir (Şekil 1). 250'den 400 nm'ye kadar çok çeşitli UV dalga boylarına maruz kalan insan derisi üzerinde yapılan ölçümler, epidermis yoluyla az miktarda UV-C'nin iletildiğini göstermiştir. UV-C'nin sadece %4 ila 7'si insan derisinin dış ölü tabakasının ilk 2 μm'sinde emilir [2]. Bununla birlikte, UV, görünür ışıktan daha fazla enerjiye sahip olduğundan ve insanlar için görünmez olduğundan, UV-C'ye maruz kalmak kornea iltihabına (fotokeratit) veya foto-keratokonjonktivit adı verilen konjonktiva iltihabına neden olabilir. Gözlerde kum hissi, yırtılma ve hatta göz ağrısı gibi diğer semptomlar UV'ye maruz kaldıktan 6 ila 12 saat sonra ortaya çıkabilir. UV-C radyasyonuna akut aşırı maruz kalma, insan gözlerinde kalıcı bir hasar bırakmaz ve genellikle semptomlar 24 ila 48 saat içinde tamamen kaybolur. Cilt hasarı, bronzlaşma olmadan cildin kızarmasından oluşur. Cilt kızarıklığı maksimum etkisi UV-B bandında 296.7 nm dalga boyunda meydana gelir. 253.7 nm dalga boyunda UV-C ışınımı tarafından oluşan cilt kızarıklığı daha az olasıdır.

Ultraviyole ışınım genel olarak kanserojendir ve mikrop kırıcı lambalardan gelen ışınım kısa zaman aralıklarında göze ve cilde penetre etmese bile, ışınıma uzun süre maruz kalındığında sağlık ve güvenlik önlemleri alınması zorunludur. İnsan derisi ve gözleri, korumalı veya kapalı UV-C lambaları kullanılarak UV-C'ye karşı korunmalıdır.

Genel olarak bir maruz kalma dozu veya belirli bir UV dozu, D, bir damlacık çekirdeğinde yaşayan bir organizma tarafından emilen radyant enerji miktarını temsil eder; (UV ışınımı) ile zamanın (t - maruz kalma süresi) çarpımı olarak hesaplanır; bir UV dozu genellikle $\mu W \cdot s/cm^2$ veya $\mu J/cm^2$ olarak ifade edilir.

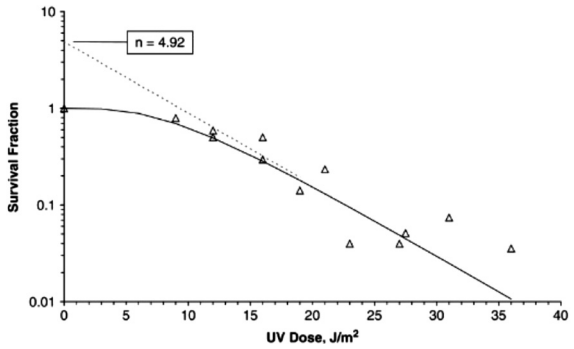
$$D = I \; x \; t \; (mJ/cm^2) \qquad (1)$$

Akı terimi (sonsuz küçük bir kürenin dış yüzeyine gelen toplam ışınım enerjisi olayı) bir UV lambasıyla bağlantılıdır. UV dozundan biraz farklıdır, çünkü UV dozu alınan UV enerjisinin toplam absorpsiyonunu ifade ederken, akı belirli bir süre boyunca iletilen ışınım enerjisini temsil eder. Ancak bu ikisinin eşit olduğu kabul edilir ($\mu J/cm^2$).

Doz yanıtı, bir mikroorganizma popülasyonu tarafından alınan enerji miktarı ve sonuçta ortaya çıkan etki ile ilişkilidir. Örneğin, SARS-COV-2'nin UV-C doz yanıtı, bu koronavirüs popülasyonu arasındaki etkisizleştirme oranı veya canlı kalma oranıdır.

Bir mikroorganizma, artan bir UV ışınımına maruz bırakılırsa, inaktive edilmiş veya öldürülmüş patojenlerin sayısı artacak veya hayatta kalanların sayısı azalacaktır ve sonuç, şekli ve

eğimi mikrobiyal türün duyarlılığına veya UV duyarlılığa bağlı bir eğri olacaktır. Etkisizleştirme sabiti (k), bu hayatta kalma eğrisinin eğimidir (Şekil 3). k, her tür için farklı bir değere sahiptir (Tablo 2). k ayrıca UV hız katsayısı veya bozunma hızı katsayısı olarak da adlandırılır ve cm^2/mJ olarak ölçülür. Değeri, UV-C cihazlarını boyutlandırmak için kullanılır.



Şekil 3. Hayatta kalma fraksiyonunun UV dozuna bağımlılık eğrisi [6]

Tablo 2. Farklı patojenler için k değerleri [17, 18]

Gerekli UV Dozu	Doz mWs/cm²		Gerekli UV Dozu	Doz mWs/cm²	
	%90 Log 1	%99.9 Log 3		%90 Log 1	%99.9 Log 3
Bacteria			**Bacteria**		
Bacillus anthracis	4.5	13.5	Streptococcus lactus	6.2	18.5
B. megatherium Veg	11.3	33.9	Streptococcus aureus	5.5	16.5
Bacillus pumilis spores	5.0	15.0	Streptococcus viridans	2.0	6.0
B. subtilis	7.1	21.3			
B. subtilis Sporen	11.2	33.6			
Campylobacter jejuni	1.1	3.3	Yeasts		
Corynebacterium diphteria	3.3	9.9	Sacch. spp	4.4	13.2
Enterobacter cloacae	6.4	19.2	Sacch. ellipsoideus	3.3	9.9
E. coli	5.5	16.5	Sporotrichum schenkii	28.0	84.0
Legionella pneumophila	2.5	7.5			
Listeria Monocytogenes	7.7	23.1			
Micrococcus candidus	6.1	18.2	Virus		
Micrococcus sphaerroides	10.0	30.0	Hepatitis A	4.5	13.5
Mycobacterium tuberculosis	1.1	3.3	Influenza Virus	2.0	6.0
Neisseria catarrhalis	4.4	13.2	Polio Virus	4.4	13.2
Proteus vulgaris	3.0	9.0	Rotavirus	10.5	31.5
Pseudomonas aeruginosa	5.5	16.5			
Pseudomonas fluorescens	3.5	10.5			
Salmonella enteritidis	1.0	3.0	Mould Spores		
Salmonella typhimurium	2.1	6.3	Aspergillus flavus	60.0	180.0
Seratia marcescens	2.2	6.6	Mucor racemosus	17.0	51.0
Shigella sonnei	1.8	5.4	Oospora lactis	2.8	8.4
Spirillum rubrum	4.4	13.2	Penicillium expansum	13.0	39.0
Staphylococcus aureus	5.0	15.0	Penicillium roqueforti	13.0	39.0

Bu k değerlerinin belirlenmesi için standart yöntemler yoktur. Ayrıca, k değerleri bir yandan UV dozunun verildiği koşullara, örneğin hava, su, yüzeyler; öte yandan, hayatta kalan mikroorganizmaların sayısının ölçüm yöntemlerine bağlıdır.

UV-C'ye maruz kaldıktan sonra inaktive edilmemiş bir mikrobiyal popülasyonun hayatta kalma oranı, iki benzer denklemden biri ile belirlenir:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = k\ x\ D\ veya\ \frac{N}{N_0} = e^{-(k\ I\ T)} \qquad (2)$$

burada;

N_0 = dezenfeksiyondan önce aktif mikroorganizmaların başlangıç konsantrasyonu

N = dezenfeksiyondan sonra, örneğin virüs popülasyonu üzerinde bir UV-C dozu uygulandıktan sonra aktif mikroorganizmaların konsantrasyonu

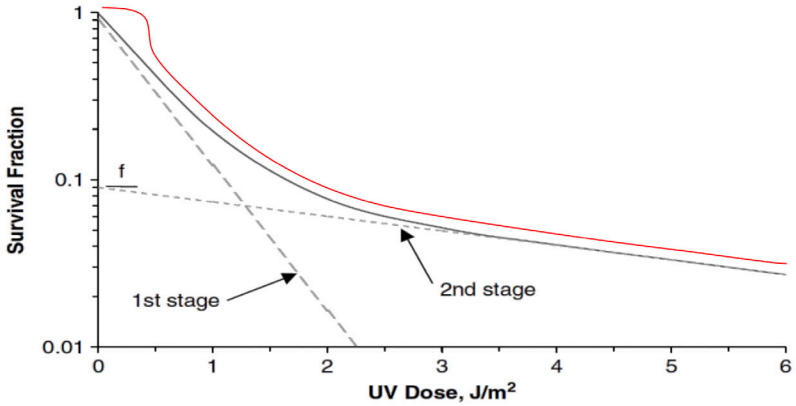
D = maruz kalma dozu veya UV ışınım dozu (veya akı, mJ/cm^2)

k = UV etkisizleştirme katsayısı

t = saniye cinsinden ölçülen maruz kalma süresi

I = mW/cm^2 cinsinden ölçülen ışınım şiddeti

Bu denklemler ancak omuz etkisi ve dezenfeksiyon işlemini etkileyebilecek ikinci aşama etkisi ihmal edilirse geçerlidir. Omuz, bir eşik doza benzer şekilde UV'ye maruz kalan bir mikroorganizmanın yanıtında bir gecikme olduğu için ortaya çıkar. Bu etki, hava hızı çok yüksek olduğunda ve doz yetersiz olduğunda ortaya çıkabilir. Çalışmalar [6], çoğu mikrobiyal türün, her aşamanın farklı bir hız sabitine sahip olduğu (Şekil 4'e göre k1 ve k2) iki aşamalı etkisizleştirme eğrileri ile karakterize edildiğini göstermiştir.



Şekil 4. İki aşamalı inaktivasyon eğrisi ([6]'dan CL tarafından uyarlanmıştır)

İlk aşamada, bozunma hızı, en dirençli fraksiyonun sonunda inaktive olacağı ikinci aşamadan daha yüksektir. Bazı virüsler için bu dirençli kısım %10'a bile ulaşabilir; diğerleri için sadece %0.01'dir. Daha karmaşık etkisizleştirme süreci, aşağıdaki denklemle modellenebilir; burada F, hızlı bozunma tepkisine tabi toplam başlangıç popülasyonunun kesridir:

$$\frac{N}{N_0} = F\ x\ e^{-(k_1\ I\ T)} + (1 - F)\ x\ e^{-(k_2\ I\ T)} \quad (3)$$

1972'de CDC ve Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH), insan gözleri ve cildi üzerindeki olumsuz etkileri önlemek için tanımlanan UV-C için önerilen maruz kalma sınırı olan **UV REL** değerini yayımladı. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu değer 254 nm dalga boyu için 6000 mJ/cm^2'dir.

Avrupa Yapay Optik Radyasyon Yönergesi 2006/25/EC göre, UV-C cihazlarının bakım personelleri, ışınım değerinin 0,1 mW/cm'ye eşit olduğu, 253.7 nm'ye eşdeğer bir dalga boyunda ve 8 saatlik 2 işgününde aşılmaması gereken değeri 3000 mJ/cm^2'dir.

Sağlık sektöründeki AB çalışanları için izin verilen maruz kalma süresi PET (sn) şu denklemle hesaplanabilir:

$$PET\ (sn) = \frac{REL\ (254\ nm'de\ 3000\frac{mJ}{cm^2})}{254\ nm'de\ \text{ölçülen ışınım}\ (\frac{\mu W}{cm^2})} \quad (4)$$

PET değerleri, ışınım değerleri biliniyorsa (ölçülüyorsa) sonradan hesaplanabilir. İzin verilen ışınım düzeyi, maruz kalma süresi belirli bir düzeyle sınırlandırılırsa belirlenebilir (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı ışınım (ölçülen) değerleri için PET değerleri

İzin verilebilir maruziyet süresi* (saniye)	Efektif Işınım (µW/cm^2)
28800	0,1
14400	0,21
7200	0,42
3600	0,83
1800	1,67
900	3,33
600	5
300	10
60	50
30	100
10	300
3	1000
1	3000
0,5	6000
0,3	10000
0,1	30000

Havalandırma kanallarında, örneğin, çok kısa maruz kalma süresi nedeniyle, UV lambaları 1000-10.000 mW/cm^2 arasında üreterek gerekli maruziyet dozunu en az %99.9'luk bir inaktivasyon oranında, virüsler için Tablo 2'de gösterilen maksimum değerlere göre yani en az 30 mJ/cm^2'de sağlar. İzin verilen maruz kalma süresi 1000 mW/cm^2 için 3 saniyeden veya 10.000 mW/cm^2 için 0,3 saniyeden azdır.

Bir UV lambasının ortalama etkin ömrü, ilk kullanım (genellikle 100 saatlik alıştırma süresinden sonra) ile aynı üretim lotundan lambaların test edilmesine dayalı olarak UV çıkışının belirli bir seviyenin %50'si olduğu an arasında ölçülür. Örneğin, Phillips, belirli bir ampul için belirlenen UV çıkışında %20'lik bir düşüşle etkin UV-C lamba ömrünün 9000 saat olduğunu düşünmektedir. Ortalama etkin lamba ömrü için normal değerler, ampuldeki gaza bağlıdır ve 5000 ile 20.000 saat arasında değişebilir.

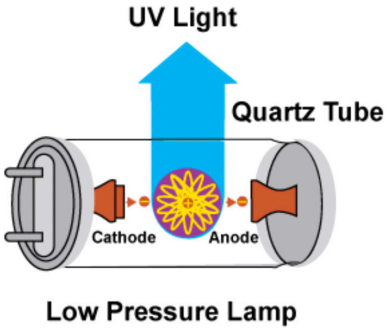
2. UV-C lambaların çeşitleri ve teknik özellikleri

Modern UV-C lambaları (Şekil 5), tavan veya duvar armatürlerinde bulunan floresan lambalara benzer. UV-C ve floresan lambaların benzerlikleri, üreticilere çeşitli faydalar sunar: aynı tip üretim makinesi, aynı şekil, çap ve uzunluk, aynı depolama ve geri dönüşüm yöntemi. UV-C lambaları, çok daha yüksek malzeme maliyetlerini dengeleyen azaltılmış üretim, paketleme ve nakliye maliyetleri gerektirir.

Şekil 5. UV-C lambaları [7]

Her iki lamba türü de aynı elektrokimyasal süreçleri kullanarak çalışır: camlı tüpün içindeki elektrik boşalması argon gazı ve cıva buharı parçacıklarına çarpar ve görünür ve UV-C spektrumunda fotonlar üretir (Şekil 6).

Floresan lambalarda sıradan camın iç yüzeyini kaplayan fosforlar UV radyasyonunu tamamen absorbe eder. Bir UV-C lambasının şeffaf cam zarfı, 253.7 nm dalga boyunun (UV-C radyasyonu görünmez) filtrelenmemiş iletimine izin verecek şekilde yüksek düzeyde tasarlanmıştır.



Şekil 6. Bir UV-C lambasının ana çalışma prensibi [8]

Tipik bir UV-C lambası, 200 ile 280 nm arasındaki tüm UV-C aralığında ışınım enerjisinin yaklaşık %90'ını yayar. Soğurulan elektrik enerjisinin yaklaşık %4-5'i ısı olarak verilir ve geri kalanı (yaklaşık %5) görünür ışık aralığındadır - esas olarak mavi ışık.

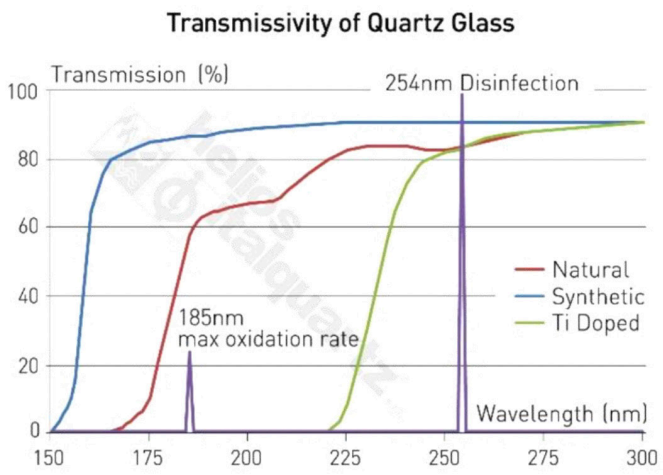
Düşük basınçlı UV lambaları, UV-C'nin hem havadaki hem de sudaki mikroorganizmaları etkisiz hale getirmesi veya yok etmesi nedeniyle mikrop kırıcı lambalar olarak da adlandırılır. Verilen elektrik enerjisinin yaklaşık %25-35'i, mikrop öldürücü uygulamalar için 254 nm'de monokromatik emisyonla doğrudan UV-C radyasyonuna dönüştürülür. Giriş gücünün yaklaşık %2'si, esas olarak ozon üretimi için kullanılan 185 nm'de ışınıma dönüştürülür [20].

UV düşük basınçlı civalı lambalar, titanyum, galyum, demir veya kurşun ile civa alaşımı olan zarfın içinde katı civa içerir. Düşük basınçlı civa lambaların çok uzun bir çalışma ömrü (20.000 saate kadar) ve 254 nm'de %45'e varan UV-C verimliliği vardır; bu, geleneksel düşük basınçlı lambalar için ortalama %30'dur. Bir UV-C lambasının verimliliği, 100 saatlik yanma süresinden sonra watt cinsinden UV-C gücü ile lamba gücü arasındaki orandır.

Orta basınçlı lambalar, geleneksel düşük basınçlı veya civalı düşük basınçlı lambalardan çok daha yüksek güç yoğunluğu avantajına sahiptir.

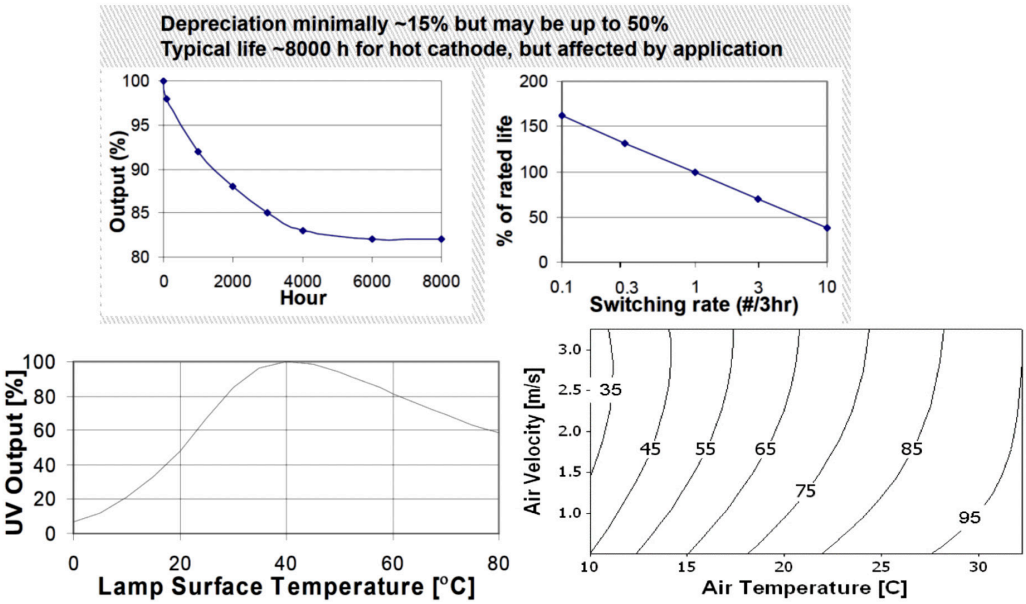
Tüm lamba teknik özellikleri, laboratuvar koşullarında havada, ortam oda sıcaklığında, yüksek frekanslı bir akımda, sınırlı elektronik balast kullanılarak ve ışık kaynağından 1 m uzaklıkta ölçülen ortalama değerlerle yapılan ölçümlere dayanmaktadır.

Bir UV-C lambasının camlı tüpü genellikle yüksek derecede termal, mekanik olarak kararlı kuvarstan yapılır; kuvars cam, yüksek iletim verimliliğine sahiptir ve UV ışınımına karşı oldukça geçirgendir. Üretilecek ultraviyole lambanın tipine göre üç farklı tipte kuvars cam kullanılmaktadır: sentetik kuvars, doğal kuvars ve Ti-katkılı kuvars (Şekil 7). Ti-katkılı kuvars, ozon üreten 185 nm dalga boyundaki radyasyonu bloke etme avantajına sahiptir, bu nedenle Ti-katkılı kuvars lambalar ozon içermeyen UV-C lambalardır. Ozonun konsantrasyonu 120 mg/m^3'lik güvenli seviyeyi aşarsa, en azından kullanıcılar için tahriş edici olduğuna dikkat edin.



Şekil 7. UV ışınımının farklı kuvars camlarında geçirgenliği [8]

Genel olarak, UV-C lambaları 20.000 saatlik bir süre boyunca (en az 8000 saat) ilk çıktılarının %80'inden fazlasını sağlayabilir. Bir UVGI lambasının ortalama etkin ömrü, konum sıcaklığına, lamba yüzey sıcaklığına, açma-kapama döngülerinin sayısına (veya anahtarlama miktarına) ve hava hızına bağlıdır. Şekil 8'deki ilk üç grafik, bir UV-C lambasının çıktı yüzdesi ile çalışma saatlerinin sayısı, anahtarlama miktarı ve lamba yüzey sıcaklığı arasındaki korelasyonları göstermektedir. Dördüncü grafik, üç parametre arasındaki ilişkiyi gösterir: UV-C lambasının etrafındaki hava sıcaklığı, hava hızı ve lambanın UV-C çıkışı.



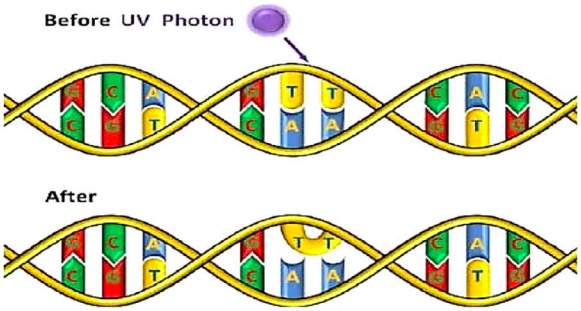
Şekil 8. Farklı parametrelerle UV çıktısı değişimi [10, 16]

UVGI sisteminin monte edildiği yerin sıcaklığı, lamba tipine bağlı olarak mikrop öldürücü etkinin verimliliğini etkileyebilir. İlk olarak, daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklar, düşük basınçlı cıva lambalarının UVGI çıktısını azaltabilir veya mikroorganizmaların UVGI'ye duyarlılığını azaltabilir. İkincisi, eski (ancak hala yaygın olarak kullanılan) mekanik/manyetik balastlar, yüksek veya düşük sıcaklıklardan etkilenebilir. Tüm düşük basınçlı cıvalı lambalarda lamba çalışma sıcaklığı ile çıktı arasında bir ilişki vardır. Lambanın UV verimliliği, (doymuş) cıva basıncı ile doğrudan ilişkilidir ve bu da lamba üzerindeki en düşük sıcaklığa sahip noktaya bağlıdır. Lambanın etrafında hava hareketi varsa UV çıkışındaki düşüş daha da büyük olacaktır çünkü hava akışı lambanın cıva buharının daha hızlı ısı kaybetmesine neden olur; ayrıca düşük sıcaklıklar lambanın çalışma ömrünü azaltır.

UV-C kullanan özel bir lamba türünün ilginç bir kullanımı, banknot sahteciliğine karşı mücadelede kullanılan lambadır. UV ışınlarına duyarlı malzemelerle kaplanmış metal yapılarda çatlak aramak için de kullanılır. Lamba, bu ışıkla aydınlatıldığında floresan ve fosforesan efektler üreten malzemeleri aydınlatmak için kullanılan "siyah ışık" denilen şeyi üretir. Siyah ışık, UV-C ışınımı doğrudan insan gözüyle görülemediği için bu şekilde adlandırılmıştır.

3. Neden hava dezenfeksiyonu için UV-C?

UV-C ışınımı, RNA ve DNA mutasyonları üreterek SARS-COV-2 dahil tüm virüsleri etkisiz hale getirir ve hatta öldürür (Şekil 9).



Şekil 9. UV-C ışınımının SARS-COV-2 üzerindeki etkisi [11]

UV-C ışınımının yüksek enerjili fotonları, hücre proteinlerinin DNA/RNA'sı tarafından absorbe edilir. Sonuç olarak, protein yapısı hasar görür, DNA ve RNA'nın metabolik bozulmasına neden olur, böylece mikroorganizmalar veya virüsler artık değişim geçiremez ve çoğalamaz.

Sonuç olarak UV-C, suyu, bina havasını, ulaşımı ve farklı nesnelerin veya ürünlerin yüzeylerini dezenfekte etmek için çok faydalıdır. UV-C tüm mikroorganizma türleri için etkilidir: bakteri, virüs ve mantar. UV-C'nin mikrop kırıcı etkisi basittir, kimyasal değildir ve toksik yan ürünler oluşturmaz. UV-C teknolojisi, düşük ila orta yatırım gerektirir ve UV-C cihazlarının bakımı nispeten kolaydır. UVGI lambaları doğru bir şekilde toplanır ve geri dönüştürülürse çevreyi etkilemez. Ti-katkılı kuvars cam kullanılırsa, UV-C lambası ozon üretmez.

Bu dezenfeksiyon teknolojisi, enfeksiyon riskinin yüksek olduğu her yerde kullanılabilir: hastaneler, dinlenme evleri, spor tesisleri, gıda veya ilaç endüstrisinde, HVAC sistemlerinde ve ulaşım güvenliği için.

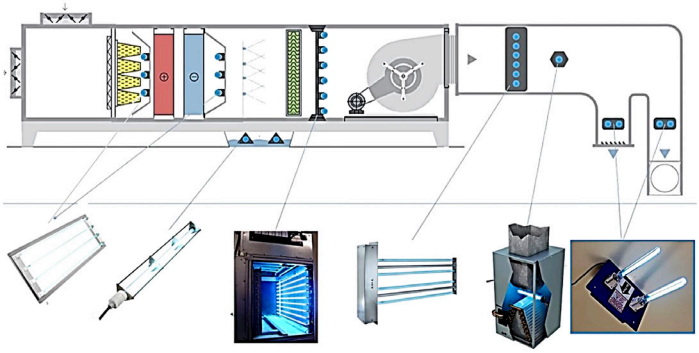
Havalandırma sistemlerinde kullanılan UV-C cihazlarının iki büyük avantajı vardır: 1) Klima santrali elemanlarının, özellikle soğutma serpantinleri ve filtrelerinin kirlenmesini azaltır ve 2) resirkülasyonlu havalandırma sistemlerinde enfeksiyon bulaşmasını kontrol ederek büyük enerji tasarrufu sağlar.

4. UV-C kullanan hava ve yüzey dezenfeksiyon cihazlarının çeşitleri

UV-C cihazlarının üç ana kategorisi vardır: Klima santrallerinde kurulanlar da dahil kanal içi sistemler, bağımsız cihazlar ve başüstü cihazlar.

4.1. Kanal içi UV-C sistemleri

Klima santrallerinde virüs dezenfeksiyonu için UV-C lambaları, karışım hücresi ve filtrasyon bölümünün çıkışında (hava akışı yönünde) ve soğutma serpantininin girişinde (hava akış yönüne zıt) monte edilecektir (Şekil 10). Burada, düşük nem seviyesi lamba ışınımını olumsuz etkilemeyecektir. Soğutma serpantininin çıkışında montaj konumu, yüzeylerin bakteri ile dezenfeksiyonu için tercih edilir, çünkü burada hava doygunluğa yaklaşır, yani bu hücre içinde küf ve bazı bakteri türlerinin büyümesine yol açtığı bilinen ham su, nemli yalıtım ve diğer koşullar olabilir. Ayrıca, soğutma serpantininden taşınan ham suyu yakalamak için bu konumda serpantin drenaj tavaları genellikle uzatılır. Kullanılan lambalar suya ve/veya yüksek neme karşı dayanıklı olmalıdır.



Şekil 10. UV-C lambaları için önerilen montaj yerleri [CL tarafından 12'den uyarlanmıştır]

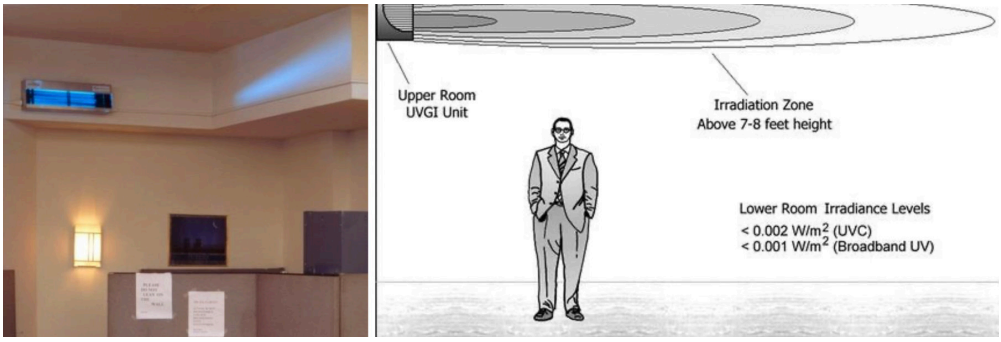
Başka bir montaj konumu, hava akışı yönünde damlacık ayırıcı (seperatör) ile fan arasında veya/veya su toplama tavasında olabilir. Kanal içi montaj konumu, maruz kalma süresini azaltan daha yüksek bir hava hızının dezavantajını sunar. Bununla birlikte, daha uzun UV-C bölgeleri veya çok adımlı pozlama kullanılarak maruz kalma süresi iyileştirilebilir. Dozu artırmak için kullanılan bir diğer önlem, yansıtıcı malzemeler yardımıyla ışınımı arttırmak veya sadece lambanın gücünü arttırmaktır. Bu son önlem, tüketilen elektrik enerjisinde ve UV-C sistem satın alma fiyatında bir artış anlamına gelir.

UV-C lambaların montaj konumu ne olursa olsun, tasarım mühendisleri lambaların sayısını, boyutunu veya gücünü etkileyen en az üç ek parametreyi dikkate almalıdır. Bu üç parametre hava hızı, hava sıcaklığı ve hava nemidir.

4.2. Başüstü (Üst oda) UV-C sistemleri (armatürler)

Başüstü UV-C cihazları, kullanıcıların başlarının üzerinde bir UV-C ışınım alanı oluşturan özel bir konfigürasyona sahip korumalı ünitelerdir (Şekil 11). Üst oda cihazları, uygulanan alanlar kullanımda iken güvenle kullanılabilir ve kullanımdaki alt bölgeden taşınan patojenler tavana yakın üst ışınlanmış bölgeden geçerse sürekli dezenfeksiyon sağlar. Dezenfeksiyon etkisi %100

verimli değildir, ancak virüs konsantrasyonunu azaltmaya yardımcı olur ve bulaşma riskini azaltır. Bilimsel makalelerde anlatılan birçok olumlu sonuç geçmişte verem (tüberküloz) hastanelerinde elde edilmiştir. Farklı çalışmalar, dezenfeksiyon etkinliğinin yalnızca lamba gücüne değil, aynı zamanda lambanın hava akış paternine göre konumuna da bağlı olduğunu göstermiştir. İlave fanlar kullanılarak odadaki havanın karışım miktarı iyileştirilebilir.



Şekil 11. Üst oda (baş üstü) UV-C armatürü [6]

2015 yılında Wells-Riley enfeksiyon modeli kullanılarak sunulan kompleks bir model, bir üst oda UVGI cihazının etkisinin havalandırma miktarını iki katına çıkarılmasıyla karşılaştırılabilir olabileceğini göstermiştir [1]. Diğer çalışmalar, bir UVGI başüstü sisteminin 2 ile 6 ACH sağlayan bir havalandırma sistemine eşdeğer olabileceğini bulmuştur [6]. Bununla birlikte, enfeksiyon kaynağından 1-2 m aralığındaki enfeksiyon riski önemli ölçüde azaltılmayacaktır.

Şekil 11'de gösterildiği gibi, maksimum 0,1 mW/cm^2'yi aşmaması gereken, kullanıcının göz seviyesindeki UV ışınımının değeri ile ilgili olarak montaj yüksekliği çok önemlidir.

4.3. Bağımsız UV-C cihazları

Kanal içi veya baş üstü cihazların yanı sıra, diğer UV sistemleri, iklimlendirme cihazları veya taşınabilir cihazlar gibi etrafı korumaya alınmış lambalar kullanır. Dezenfeksiyon etkinlikleri, sirküle edebildikleri hava debisi miktarına bağlıdır ve bu da oda boyutuna, enfeksiyon dozuna ve benzer faktörlere bağlıdır (Şekil 12). Bu sistemler, kişisel havalandırma sistemlerinin eşdeğeri olarak kabul edilebilir ve boyutları birçok değişkene bağlıdır.

Şekil 12. Bağımsız UV-C cihazları [13-14]

5. UVGI Boyutlandırmasının temelleri

Her UV-C cihaz tipine göre dört hesaplama durumu vardır:
i. Klima santrallerinde monte edilen UV-C lambaları
ii. Kanal içine monte edilen UV-C lambaları
iii. Üst oda pozisyonunda (baş üstü) konumlandırılan UV-C armatürleri ve
iv. Bağımsız UV-C (mobil) cihazları

İlk iki durum, mikrobiyal büyüme kontrolü dahil olmak üzere yüzey veya hava akımı dezenfeksiyonunu kapsar. Son ikisi yalnızca oda içi hava dezenfeksiyonu durumlarını ifade eder.

Hesaplanması gereken ana parametreler şunlardır:
- SARS-COV-2 vakasında mikroorganizmaları inaktive etmek için gereken UV-C dozu
- bireysel uygulamanın çalışma koşullarını karşılamak için gereken lamba ve balast özellikleri
- son olarak, kaç adet UV lambasının veya UV-C cihazının gerekli olduğu ve bunların klima santraline, kanala veya odaya nasıl yerleştirildiği belirlenmelidir.

UVGI tasarımında kullanılan bilinen değerlere sahip parametreler:
- Klima santrali konfigürasyonu ve boyutları veya kanal boyutları
- havalandırma sistemi tarafından ne kadar taze hava sağlanacağı hakkında bilgi
- hava akış özellikleri (sıcaklık, bağıl nem, ne kadar hava debisi, hava hızı ...)
- lamba(lar) elektrik gücü (W) ve lamba(lar)ın teknik özellikleri
- lamba(lar) ile yüzey arasındaki mesafe
- virüs tipi ve konsantrasyonu ve olası enfeksiyon kaynakları.

Baş üstü veya bağımsız cihazlar söz konusu olduğunda, odadaki virüs parçacıklarının hareket paternini bilmek de önemlidir.

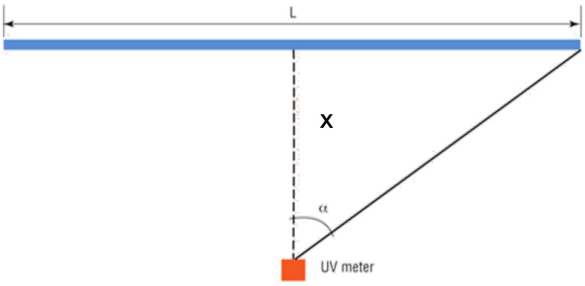
Bir UVC lambasının çıkış gücü, Keitz formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$P = \frac{I \times 2\pi^2 \times x \times L}{2\alpha + \sin 2\alpha} \tag{5}$$

burada,
P = UV-C gücü [W]
I = ışınım [W/m^2]
x = uzaklık [m]
L = lamba ark mesafesi [m]
α = açı [rad]

Lamba elektrik gücü

$$W = \frac{P}{UV\text{-}C\ lamba\ verimi\ (\%)} \tag{6}$$



Şekil 13. Bir noktadaki UV lamba gücünün basitleştirilmiş hesaplanması

Silindir eksenine dik bir diferansiyel düzlemsel elemandan bir silindire (lamba) ışınım görüş faktörü [6]:

$$F_{d1-2} = \frac{1}{\pi H}\operatorname{atan}\left(\frac{L}{\sqrt{H^2-1}}\right) + \frac{X-2H}{\sqrt{XY}}\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{X(H-1)}{Y(H+1)}}\right)\frac{L}{\pi H} - \operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{(H-1)}{(H+1)}}\right)\frac{L}{\pi H} \quad (7)$$

H = x/r

L = I/r

X = $(1+H^2)+L^2$

Y = $(1-H^2)+L^2$

Burada; I, lamba segmentinin uzunluğu [cm], x, lambadan uzaklık [cm], r, lambanın yarıçapı [cm]'dir.

6. Genel kurallar

Her UV-C kullanıcısının veya mühendisinin dikkate alması gereken bir dizi kural vardır.

i. Yalnızca resmi olarak onaylanmış ekipmanı kullanın ve teknik belgelerde belirtilen tüm güvenlik kurallarına uyun.

ii. UV-C hava dezenfeksiyon cihazları güvenlik önlemleri gerektirir ve yalnızca uygun risk değerlendirmesi ve kontrolleri olan eğitimli personel tarafından kurulmalıdır; UV-C montajcıları ve bakım personeli, etrafı kapalı olmayan lambalarla kullanıcıların maruz kalma limitini aşmamak için güvenlik prosedürlerine uymalıdır.

iii. UV ışınım seviyesi bazı durumlarda kullanıcının gözleri için çok yüksek olabilir, bu nedenle ışınım UV-C cihazı kurulumundan hemen sonra ve daha sonra periyodik olarak ölçülmelidir. Değerler 0,1 W/cm^2'nin altında kalmalıdır. Işınım ölçümleri genellikle iki nedenden dolayı gereklidir: (1) sistemin mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak için yeterli bir UVGI seviyesi sağladığının doğrulanması ve (2) iş sağlığı ve güvenliği yönergelerine uygunluğun belirlenmesi.

iv. UV-C lambaların kullanımı sırasında ozon oluşumu insan sağlığına zarar verebileceğinden, UV-C hava dezenfeksiyonu sırasında kullanılan alanlarda sadece ozonsuz UV-C lambalar dikkate alınacaktır. ABD Çevre Koruma Ajansı'na göre [21] izin verilen maksimum insan maruziyeti 0,05 ppm, ASHRAE Çevre Sağlığı Komitesi'ne [22,23] göre 0,01 ppm ve Birleşik Krallık Sağlık ve Güvenlik Yönetimine göre [24] 15 dakikadan kısa kısa süreli maruziyetler için 0,2 ppm'dir. Bu nedenle, UVGI dezenfeksiyon ekipmanı, çalışma sırasında üretilen ozon konsantrasyonunun maksimum limitlere uyduğunu doğrulamak için test edilmelidir. Düşük kaliteli UV-C lambaları ve yanlış sistem tasarımı, izin verilenden daha yüksek bir ozon seviyesi üretebilir.

v. UVGI lambaları tipik olarak karışım hücresinden sonra hava akışı yönünde ve klima santralinin soğutma serpantininden önce monte edilir; başka bir olağan montaj konumu, klima santralindeki veya hava kanalındaki soğutma serpantininin hava akışı yönünde çıkışıdır.

vi. UVGI sistemleri kuruluysa, optimum verimlilik için bağıl nem %40-60 arasında kontrol edilmelidir [15]; yüksek nem koşulları mevcutsa, eşdeğer etkinliği elde etmek için artan UV ışınım seviyeleri gerekli olabilir.

Not: Birkaç çalışma, bağıl nem arttıkça UVGI etkinliğinin azaldığını göstermiştir. Diğer çalışmalar, bağıl nem arttıkça, bazı bakteri veya virüslerin DNA'larındaki UVGI hasarını onarma yeteneğinin arttığını göstermiştir.

vii. UV sistemleri, bina operatörünü arızadan haberdar etmek için alarmlarla donatılmalıdır (kanal içi UV arızalanırsa, hava dezenfekte edilemez ve bina sakinleri hemen risk altına girecektir).

viii. Son olarak UV-C lambalar, ışınım seviyesinin %80'in altına düşmemesi ve dolayısıyla lambaların üzerindeki kir ve tozun periyodik olarak giderilmesi gibi periyodik bakım gerektirir.

7. Değerlendirmeler

1. Mikropkıran UV-C ışınımı, yoğun saatlerde binaların içindeki hava için SARS-COV-2'ye karşı uygulanabilir bir dezenfeksiyon yaklaşımıdır; tüm virüsler ve hemen hemen tüm bakteriler (sporlar hariç) orta düzeyde UV ışınması ile etkisiz hale getirilir. Sporlar, yüksek verimli filtrelerle filtrelenir ve UV ile etkisiz hale getirilemez.
2. UV-C hava dezenfeksiyonu, sterilizasyondan ziyade bir dezenfeksiyon önlemidir; ancak, kullanımdaki binalarda solunum yolu virüslerini yok etmek için UV-C'nin etkili uygulanmasının sınırlı pratik örnekleri vardır.
3. İnsan sağlığını korumak için kapalı ortamlarda ozon konsantrasyonu 50 ppb'nin altında (ideal olarak 10 ppb'nin altında) tutulmalıdır.
4. UV-C, mekanik olarak havalandırılan binalarda filtrasyon için tamamlayıcı bir çözüm ve ofisler-sınıflar gibi yetersiz havalandırılan odalar için bir çözümdür. Tamamlayıcı, UV-C teknolojisinin ek olduğu anlamına gelir. Hava kirliliğine karşı ilk seçenek olarak havalandırmanın yerini almaz ve mevcut yerel yönetmeliklere uygun havalandırma sağlanmalıdır.

5. UVGI, ticari teknoloji olarak yaygın bir şekilde mevcuttur, çünkü UV-C cihazları, HVAC sistemlerine uygulandığında üç düzeyde fayda sağlar:
   - HVAC sistemi verimliliği seviyesinde UV-C, drenaj tavalarında ve iç hava kanallarında organik madde birikimini ortadan kaldırır veya önler ve hava debisini ve soğutmanın ısı transfer seviyelerini koruyarak filtrelerde ve soğutma serpantini yüzeylerinde, serpantinleri 'as built' koşullara getirerek bakımı da azaltır.
   - İç hava kalitesi düzeyinde, filtreler ve soğutma serpantini yüzeylerindeki patojenleri ve organik maddeleri azaltarak UV-C, odalara iletilen iç mekan hava kalitesini (IAQ) iyileştirir ve bina sakinlerinin memnuniyeti ve üretkenliği üzerinde başka faydalar sağlar.
   - Ekonomik düzeyde, UV-C'nin mekanik sistemler ve bina sakinleri üzerindeki etkisi, enerji tüketiminde azalma, karbon ayak izinde azalma, bakımda azalma, sistem arıza süresinde azalma ve kimyasal veya mekanik temizlik için gereken personel zamanında önemli ekonomik faydalara dönüşür. Ortalama olarak UV-C, HVAC enerji kullanımının %10-25'ini azaltabilir.
6. Bir UV-C cihazının dezenfeksiyon etkisini değerlendirmek çok zordur; aslında UV-C verimliliği, UV-C cihazına olan mesafeden ve "gölgeleme" etkisinden etkilenir (UV radyasyonu katı malzemeye nüfuz edemez ve bakteriler biraz daha büyük katıların içinde kolayca "gizlenebilir"). Lambaların durumuna, kullanım süresine ve temizliğine de bağlıdır.
7. UV-C radyasyonu, plastik ve diğer malzemelerin hızlı fotodegradasyonuna neden olabilir. Bu açıdan malzemeler, etkisiz ya da inorganik malzemeler (örnek alüminyum), minör etkili (bakır, EPDM ve silikon dolgu macunları), orta etkili (LPDE, polikarbonat, döküm epoksi, kağıt, yüksek ışınım değerleri için HEPA filtreler) ve UV-C'nin bu malzemeler üzerinde oluşturduğu hasara bağlı olarak ağır etkili malzemeler (HDPE, polyester, karton, cam elyaf izolasyon, köpük izolasyon)olarak sıralanabilir.
8. UV-C hava dezenfeksiyon sistemlerini boyutlandırmak ve tasarlamak için kullanılan ticari yöntemler oldukça deneyseldir. Tasarımcılar, oda büyüklüğünü, virüs dozunu, havalandırma hava akışı ile etkileşimi ve güvenlik önlemlerini dikkate almalıdır. UV-C hava dezenfeksiyon sistemlerinin etkinliği ayrıca mikroorganizmaların tipinden, ışınım seviyesinden/tipinden (lamba gücü ve dalga boyu), ışınım süresinden (maruz kalma süresi), hava hareketi paterninden (karışma derecesi) ve sıcaklık ve bağıl nemden güçlü bir şekilde etkilenir. Yüksek hava hızları, lamba sıcaklığını ve bazen de UV çıktısını düşürür. Yüksek bağıl nem, SARS-COV-2 üzerindeki mikrop kırıcı etkiyi azaltacaktır (bozunma miktarını azaltacaktır); ancak, bu konuda çelişkiler de bulunmaktadır. Sıcaklık, UGVI'ya karşı mikrobiyal duyarlılık üzerinde düşük bir etkiye sahiptir, ancak UVGI lambasının gücünü etkiler.

8. Kaynaklar

[1] Department of Health and Human Services, Centres for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, Environmental control for tuberculosis: Basic upper- room ultraviolet germicidal irradiation guidelines for healthcare settings, 2009-015.

[2] Z. D. Bolashikov, A. K. Melikov, Methods for indoor air disinfection and purification from airborne pathogens for application in HVAC systems, The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings IAQVEC 2007, Oct. 28-31, 2007, Sendai, Japan.

[3] C. B. Beggs, E. J. Avital, Upper-room ultraviolet air disinfection might help to reduce COVID- 19transmission in buildings: a feasibility study, https://peerj.com/articles/10196.pdf

[4] M. Biasin, A. Bianco, G. Pareschi, et al., UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS- CoV-2 replication. Sci Rep 11, 6260 (2021), https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w

[5] J. B. O'Hagan, M. Khazova, Assessment of personal exposures to non-laser optical radiation in entertainment, Health Protection Agency - Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ ISBN 978-0-85951-689-1

[6] W. Kowalski, Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook, UVGI for Air and Surface Disinfection, Springer, Berlin, Heidelberg, Online ISBN978-3-642-01999-9, 2009

[7] http://www.heliosquartz.com/wp-content/uploads/2016/01/Helios-Quartz_UV-LAMPS_ eng.pdf

[8] http://ibse.hk/SBS5312/SBS5312_1718_03-light_sources.pdf

[9] http://www.uvresources.com/blog/the-science-behind-uv-c-energy-uv-in-hvac-systems/

[10] J. Lau, W. Bahnfleth, R. Mistrick, D. Kompare (2012), Ultraviolet irradiance measurement and modelling for evaluating the effectiveness of in-duct ultraviolet germicidal irradiation devices, HVAC&R Research, 18:4, 626-642

[11] https://www.signify.com/global/lighting-academy/browser/webinar/UV-C-disinfection-for- air-surfaces-water

[12] https://lightprogress.com/collections/hvac

[13] https://insights.regencylighting.com/how-much-does-upper-room-germicidal-uv-cost

[14] https://www.smartclima.ro/proiectare-si-fabricare-de-dispozitive-pentru-sterilizare-aer/#comments

[15] ASHRAE Handbook, Applications 2019, Chapter 62 - Ultraviolet air and surface treatment

[16] https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/final-4-21-2020-ashrae-one-hour-uvgi-course_bh-copy.pdf

[17] A. H. Malayeri, M. Mohseni, B. Cairns, J. R. Bolton, with earlier contributions by G. Chevrefils (2006) and E. Caron (2006), Fluence (UV Dose) required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa, viruses and algae (https://uvsolutionsmag.com/stories/pdf/archives/ 180301_UVSensitivityReview_full.pdf)

[18] https://uvtglobal.com/wp-content/uplads/2020/04/dosage-requirements.pdf

9. Diğer kaynaklar

[1] REHVA guidance (version 4 and future versions)

[2] G. N. Sze To, C. Y. H. Chao, Review and comparison between the Wells-Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious, respiratory diseases, Indoor Air 2010; 20: 2-16

[3] C. J. Kähler, T. Fuchs, R. Hain, Can mobile indoor air cleaners effectively reduce an indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosols? https://www.researchgate.net/ publication/343514409, preprint August 2020

[4] K. Nissen et al., Long-distance airborne dispersal of SARS-CoV-2 in COVID-19 wards, Scientific Reports volume 10, Article number: 19589 (2020)

[5] E. Bromage, The Risks - Know Them - Avoid Them; https://www.erinbromage.com/post/the- risks-know-them-avoid-them

[6] Signify webinar, UV-C disinfection for air, surfaces and water, June 2020 (www.signify.com/global/lighting-academy/browser/webinat/ucv-dinsfection-for-air-surfaces - water)

[7] C. Noakes, A. Beswick, Summary of disinfection technologies for microbial control, SAGE meeting paper, 18/05/2020

[8] CIBSE COVID-19 Ventilation Guidance, version 4, Oct 2020

[9] G. Seminara, B. Carli et al., Biological fluid dynamics of airborne COVID-19 infection, Rendiconti

Lincei, Scienze Fisiche e Naturali (2020) 31:505-537

[10] S. N. Rudnick, D. K. Milton, Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration, Indoor Air 2003; 13: 237-245

[11] R. K. Matharu, L. Ciric et al., Comparative study of the antimicrobial effects of tungsten nanoparticles and tungsten nanocomposite fibres on hospital acquired bacterial and viral pathogens, Nanomaterials 2020, 10, 1017

[12] https://www.timesofisrael.com/for-1-per-person-uv-light-can-help-protect-world-from-virus- scientists-find/

[13] https://www.hpac.com/air-conditioning/article/20927323/rightsizing-UV-C-lamps-for-hvac- applications

[14] https://www.sanuvox.com

[15] O. Lawal, B. Dussert et al., Method for the measurement of the output of monochromatic (254 nm) low-pressure UV lamps, IUVA News/Vol. 19 No. 1

[16] https://www.uvtglobal.com/what-is-uv-c/the-history-of-uv-c/

[17] https://www.intl-lighttech.com/products/ilt2400-uvgi

[18] ISO 15714:2019, Method of evaluating the UV dose to airborne microorganisms transiting in-duct ultraviolet germicidal irradiation devices

[19] ISO 15727:2020, UV-C devices - Measurement of the output of a UV-C lamp

[20] ISO 15858:2016, UV-C devices - Safety information - Permissible human exposure

[21] EPA, https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-are-ionizers-and-other-ozone-generating-air-cleaners & https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/ozone-generators-are-sold- air-cleaners, 2020

[22] ASHRAE, 2011. Emerging Issue Reports: The Ozone and Indoor Chemistry Emerging Issue Report. ASHRAE Environmental Health Committee (EHC), January 2011

[23] M. L. Bell, R. D. Peng, F. Cominici, (2006). The exposure-response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations. Environmental Health Perspectives, 114(4): 532-536. https://doi.org/10.1289/ehp.8816

[24] HSE, Health and Safety Executive. EH40/2005 Workplace exposure limits containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002. (Fourth Edition 2020), London

TÜRK TESİSAT MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ
TURKISH SOCIETY OF HVAC & SANITARY ENGINEERS

Bestekar Cad. Çimen Apt. No: 15/2
Kavaklıdere - ANKARA
Tel: 0312 419 45 71-72
Faks: 0312 419 58 51
E-posta: ttmd@ttmd.org.tr

www.ttmd.org.tr