

ELEKTRİKSEL BOŞALMALI IŞIK KAYNAKLARININ BİYOLOJİK ve FOTOKİMYASAL ETKİLERİ

Hayri YILDIRIM, Özcan KALENDERLİ

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 - İSTANBUL

Anahtar Sözcükler: Fotobiyojik etki, fotokimyasal etki, morötesi ışık, kızılötesi ışık.

Biological and Photochemical Effects of Discharge Lamps

Optical radiation (light) has some effects other than effect of vision. Optical radiation from artificial light sources is used in a wide variety of applications, and in most cases the light and infrared energy emitted is not hazardous. In certain unusual situations, however, potentially hazardous levels are accessible, and many optical sources such as discharge lamps produce significant amounts of ultraviolet radiation, which may be hazardous to the eye and skin.

In this paper, the effects of light on biological systems, researches on biological and photochemical action mechanism of light are explained, and existing light sources will be evaluated in this aspect. Also, effects of the light of electrical discharge are studied. Hazard limits given in the literature are explained and the need for a national standard from TSE or a technical report from the National Illumination Committee is suggested.

1. GİRİŞ

Elektriksel boşalmalı lambalar son yıllarda dış aydınlatmanın yanı sıra iç aydınlatma da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip lambalarda ışık, elektriksel gaz boşalması yoluyla elde edilmektedir. Elektriksel boşalma sırasında oluşan ışığın büyük bir kısmı morötesi dalga boyuna sahip ışımadır. Bu durum, bu tip lamba kullanımının güvenli olup olmadığı sorusunu gündeme getirmektedir. Elektromagnetik dalgaların canlılar ve çevre üzerindeki etkileri uzun yıllardır araştırılmaktadır. Işık da, radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar geniş bir yelpaze oluşturan elektro-magnetik spektrumun çok küçük bir aralığında yer alan bir elektromagnetik dalgadır. Diğer elektromagnetik dalgalardan tek farkı dalga boyudur ve elektro-magnetik spektrumda, dalga boyu morötesi (UV) ışıma, görülebilir ışık ve kızılötesi (IR) ışımaya karşılık gelen aralığa optik spektrum adı verilmektedir. Aydınlatma bilim dalı modern tanımıyla optik ışıma tekniği olarak tanımlanmaktadır /1/. Optik ışımanın fotobiyojik, fotokimyasal ve ısı etkileri de

aydınlatma tekniğinin başlıca araştırma konularıdır. Özellikle farklı dalga boylarındaki ışığın göze ve deriye etkisi ve biyolojik etki mekanizması araştırılmaktadır. Işık bir elektromagnetik dalga olmakla birlikte Kuantum Teorisine de uymaktadır. Buna göre ışık, enerjisi dalga boyuna bağlı olan fotonlardan oluşmaktadır. Özellikle görünür ışığa göre daha kısa dalga boyuna sahip morötesi ışığın fotonları yüksek enerjiye sahiptir ve maddelerin kimyasal yapısını bozabilir. Doğal ve yapay aydınlatma ile ortaya çıkan ve fotokimyasal etki denilen bu kimyasal tepkimeler, nesnelerde renk solması ve yapısal zayıflama gibi bozulmalar oluştura-bilir /2, 3/. Örneğin müze aydınlatmasında, sergilenen eşyaların özellikle güneş ışığının ve yapay ışık kaynaklarının içerdiği morötesi ve kısa dalga boyulu görülebilen ışığın fotokimyasal etkileri sonucu ortaya çıkan renk değişimleri ve buna karşı alınması gereken önlemler en önemli konulardan biri olarak incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca tıpta tedavi amacıyla kullanılan morötesi ve kızılötesi ışıklar zararlı biyolojik etkilere de sebep olabilmektedir. Bunun yanında, güzellik salon-larında morötesi ve kızılötesi ışık kaynakları kullanılmaktadır. Bunların bilinçsizce kullanılması deri kanse-rine veya gözlerde çeşitli rahatsızlıklara yol açabilir. Nitekim Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), optik ışımanın fotobiyojik ve fotokimyasal etkilerinin araştırılması için ayrı bir bölüm (CIE-Bölüm 6) oluşturmuştur /4/. Morötesi ışımanın etkileri CIE'nin bu bölümünün başlıca araştırma konusudur.

Bu çalışmada, günışığı ve aydınlatma amacıyla kullanılan yapay ışığın özellikleri incelendikten sonra özellikle elektriksel boşalmalı ışık kaynaklarının fotobiyojik ve fotokimyasal etkileri de göz önüne alınmıştır.

2. OPTİK SPEKTRUM

Işık, atom içerisindeki elektronların enerji seviyeleri arasındaki geçişleriyle oluşmaktadır. Bir atom uyarıldığı zaman elektronu bir üst enerji seviyesine çıkar. Daha sonra elektron alt enerji seviyesine geçtiğinde enerji verir, bu enerji ışık olarak ortaya çıkar. Bu iki

enerji seviyesi arasındaki fark oluşan ışığın frekansını ve dalga boyunu belirler. Farklı maddelerin atomlarının uyarılmasıyla farklı dalga boyunda ışıklar elde edilir. Dalga boyu yaklaşık 100 nm ile 1 mm arasında olan elektromagnetik ışıma genellikle "optik ışıma" olarak adlandırılmaktadır. Dalga boyu 100-400 nm arasındaki optik ışıma morötesi (ultraviyole) ışımadır. Morötesi ışımanın dalga boyu 100-260 nm arasında olanı UVC, 260-315 nm arasındaki UVB ve 315-400 nm dalga boyundaki ise UVA olarak adlandırılır. 380-780 nm dalga boyu arasındaki elektromagnetik ışıma ise görülebilir ışıma (ya da ışık) adını alır. 780 nm ile 1 mm dalga boyu arasındaki ışıma kızılötesi (IR) ışıma olarak bilinir. Kızılötesi bölgesi genellikle IRA (780-1400 nm), IRB (1400-3000 nm) ve IRC (3000 nm-1 mm) olmak üzere üç alt gruba bölünür.

Uluslararası Aydınlatma Komitesi (1987) tarafından tanımlanan bu spektral bölgeler optik ışımanın fotobiyolojik etkileri üzerindeki tartışmalarda bir yardımcı olarak işe yaramaktadır /5/.

3. OPTİK IŞIMANIN BİYOLOJİK ETKİLERİ

Yüksek frekanslı bir elektromagnetik ışıma bir metalin yüzeyine gönderildiğinde metal yüzeyinden elektronlar kopar. Bu etkiye fotoelektrik olay adı verilmektedir. Kopan elektrona ise fotoelektron adı verilir. Klasik Teoriye göre bu olay ışığın dalga yapısı ile açıklanmaktadır. Ancak bu teori ışıkla ilgili bazı olayları açıklayamamaktadır. Modern Teoriye göre ise bu olay ışığın kuantum yapısı ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu teoriye göre metalin yüzeyine çarpan bir fotonun enerjisi elektron tarafından ya yutulur ya da etkileşme olmadan yansır. Fotonun enerjisi $E = h \cdot f$ bağıntısı ile verilmektedir. Burada h , Planck sabitidir, f ise yüzeye gönderilen elektromagnetik dalganın yani ışığın ve dolayısıyla fotonun frekansıdır. Elektron metal atomuna belli bir enerji ile bağlanmış olduğundan fotondan aldığı enerji ile metal yüzeyinden kopabilmesi için bu bağ enerjisini koparacak bir enerji gerekmektedir, bu enerjiye eşik enerjisi denir. Metalin eşik enerjisi $E_0 = h \cdot f_0$ veya $E_0 = h \cdot c / \lambda_0$ ile gösterilirse burada f_0 , elektronu atomdan ayırabilecek elektro-magnetik dalganın eşik frekansını, λ_0 eşik dalga boyunu ve c ise ışık hızını göstermektedir. Buna göre metalden kopan fotoelektronların enerjisini ışığın şiddeti değil ışığın frekansı (ya da dalga boyu) belirler. Işığın şiddeti sadece kopan fotoelektron sayısını belirler. Elektromagnetik dalganın frekansı metalin eşik frekansından küçükse, ışığın şiddeti ne olursa olsun metalden hiçbir zaman elektron kopamaz. Her maddenin eşik frekansı farklıdır.

Optik ışımanın biyolojik dokulara etkisi temel olarak soğurulan foton enerjisine ve dokunun spektral duyarlılığına bağlıdır. Foton enerjisi yüksek ise etki büyüktür. Işık kaynağı ile etkilenen doku arasındaki uzaklık büyük ise ışımanın etkisi uzaklığın karesi ile

ters orantılı, küçük ise uzaklıkla ters orantılı olarak değişir. Gelen fotonun enerjisine bağlı olarak dokularda soğurulan bu optik enerji, moleküler değişimlere, titreşimlere ve elektronik uyarımlara sebep olur.

Güneşten gelen beyaz ışık veya akkor telli lambanın verdiği ışık görülebilir spektrumdaki bütün dalga boylarındaki elektromagnetik ışımayı yayarlar. Bu tip ışık kaynaklarına geniş bantlı ışık kaynakları denir. Genelde, çoğu büyük güçlü geniş bantlı kaynaklar (örneğin elektrik arkı ve akkor telli lambalar) ihmal edilecek kadar küçük IRC yayarlar. Güneş ışığındaki morötesi ışınlar bir yandan vücudumuzun D vitamini ihtiyacını karşılarken, bir yandan da ağır güneş yanıklarına ve deri kanserine yol açabilir. Sıcak ülkelerde yaşayanların derilerinin koyu renkli olması bu zararlı ışınlardan bir ölçüde korunmalarını sağlar. Öte yandan kızılötesi ışımanın etkisinde çok kalınması da ağır yanıklara neden olabilir.

Yapay optik ışıma endüstride, evlerde, bilimsel ve tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve birçok durumda ışık ve kızılötesi enerjinin yayılımı zararlı olmamaktadır. Bazı normal dışı durumlarda, potansiyel tehlike düzeyleri söz konusudur. Bu durumlarda rahatsızlığın azaltılması için aşırı ışık ve kızılötesi ışıma, türüne uygun olarak filtre edilir veya kontrol altına alınır. Radyo frekanslı (RF) ve mikrodalga ışımanın tersine optik ışıma genellikle yüzeysel etki gösterir. Deriye nüfuz etme birkaç mm ya da daha az derinlikle sınırlıdır. Ancak göz bir istisna olup vücut içine enerjinin girmesine izin verir.

Görülebilir ve kızılötesi ışık kaynaklarının hem ısı hem de fotokimyasal etkileri söz konusudur. Bu ışık kaynakları göz ve cilde en az beş farklı biçimde zarar verebilirler.

- a) Retinanın ısıl yaralanması (380-1400 nm)
- b) Retinanın (temelde 380-550 nm; afakik gözler için 300-550 nm) mavi ışıktan fotokimyasal olarak yaralanması.
- c) Göz merceğinin kısa dalga (yaklaşık 800-3000 nm) kızılötesi ışımadan ısıl yaralanması.
- d) Derinin yaklaşık 380 nm'den 1 mm'ye kadar olan ışımalardan ve korneanın yaklaşık 1400 nm'den 1 mm'ye kadar olan ışımalardan ısıl yaralanmaları.
- e) Derinin fotoduyarlıkla yaralanması. Bu genellikle (380 nm'den küçük) UV dalga boylarının tipik yaralama şeklidir. Bu oluşumlar bazı ilaçların yan etkisi ile 700 nm'ye kadar görülebilir.

Hayvanlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan morötesi ışımanın, özellikle UVB türünün deri kanserine sebep olduğunu gösteren açık bulgular vardır. Morötesi ışığın deri kadar göz üzerine de zararlı etkisi olduğu bilinmektedir. Morötesi ve kısa dalga boylu ışıma bölgesinde özellikle fotokimyasal etkiler görülür. Morötesi bölgede başlıca etkiler UVB ve UVC'den kaynaklanan eritema (güneş yanığı) ve fotokeratitis gibi akut etkilerdir. UVB ve UVC bandı, spekturumun kısa dalga UV parçasını oluşturur ve

315 nm'den daha kısa dalga boyuna sahiptirler. Fotokeratitis, aşırı UVA'ya maruz kalarak da oluşabilir. Retina üzerindeki fotokimyasal ve ısı etkilere genellikle 400-1400 nm aralığındaki ışımalarla görülür. Bu bölgenin üstündeki ışımalar, yüzeysel olarak soğurulur. Bu da korneada zararlı etkilere yol açabilir. Bu etkilere ek olarak, uzun süre aşırı ışımaya maruz kalmalar sonucunda, renkli görme ve gece görmesi üzerinde olumsuz etkiler oluştugu bilinmektedir.

4. ETKİLENME SINIRLARI

Optik ışımaya en duyarlı organlar göz ve deridir. Etkinin türü, ışmanın dalga boyuna bağlı olarak yaranma, tahriş veya hasar şeklinde ortaya çıkabilir. Deri, görülebilir ve kızıl ötesi ışmanın sebep olduğu yaralanmalara karşı daha az duyarlı olduğundan, göze göre daha uzun süre optik ışımaya dayanabilir. Göz için aşırı maruz kalma süresi, derininkinden daha önemlidir. Bu yüzden lazer dahil, ışık kaynakları için güvenlik standartları gözün korunması göz önüne alınarak hazırlanmıştır. İlk yönetmelikler, hayvanlar üzerindeki çalışmalar dikkate alınarak insanların güneşe ve kaynak arklarına bakmaları sonucunda oluşan retina yaralanmaları için oluşturulmuştur. Etkilenme sınırları belirlenirken, çevredeki kar ve kum gibi yansıtıcılar dışındaki, görülebilir dış ışmanın zararsız olduğu kabul edilmiştir.

İyonize Etmeyen Radyasyondan Korunma Uluslararası Komisyonu (ICNIRP), Eylül 1997'de 380 nm ile 3 µm arasında dalga boyuna sahip ışıının etkileri ve sınır-lamalar konusunda bir yönetmelik yayınlamıştır /5/. Hem akut hem de kronik olan bütün maruz kalmalara, güneşten yayılan optik ışımaya, ve lazer dışındaki yapay ışık kaynaklarına bu yönetmelik uygulanabilir. Fakat tıbbi tedaviler sırasındaki bilerek maruz bırakılma bunun dışında tutulmalıdır. UV ve lazer ışımasına maruz kalma sınırları ile ilgili yönetmelikler ise 1991'de yayımlanmış ve 1996'da yenilenmiştir /6/.

Kızılötesi ışıma için ICNIRP Komisyonunun önerdiği değerler, sıcak ortamlarda (>35 °C) göze gelen ışıma uzun süreli maruz kalmalarda 100 W/m²'yi geçmemelidir. Ancak daha kısa maruz kalma sürelerinde daha büyük ışımaya izin verilebilir. Soğuk ortamlarda ise göz merceği sıcaklığının 37 °C'nin altında kalması koşuluyla daha yüksek ışımalara izin verilmektedir.

Kuvvetli ışık kaynaklarına bakmadaki etkilenmenin kabul edilebilir süresi gözü başka yöne çevirme süresine yakındır (< 0,20 s). Gözün bu kaynaklara bakmak zorunda olduğu özel durumlarda bu süre daha uzundur.

Lazer dışındaki ışık kaynaklarından ısı yaralanmalar çok nadirdir ve ışık kaynağın boyuna ve deri sıcaklığına son derece bağlıdır (sıcaklık retina için 37 °C, deri için 22-25 °C'dir). Deri için sadece darbe şeklindeki ışımlar ısı bir tehlike oluşturmaktadır.

Optik ışmanın zararını en azda tutmak amacıyla IR spektrumları için enerji yoğunluklarının sınır değerleri aşağıda verilmiştir

1. Kornea zararları için: 7,6 Ws/cm² (880-1100 nm); 2,8 Ws/cm² (1200 - 1700 nm).
2. Irise zarar oluşturmak için korneada oluşacak enerji yoğunluğu: 10,8 Ws/cm² (800-1100 nm).
3. Retina yanıklarının oluşması için korneada oluşacak enerji yoğunluğu: 1 Ws/cm². Bu değer, 1 mm'lik bir yarığın 20-40 Ws/cm²'lik ışımaya 0,1 s maruz kalmasına eşdeğerdir.

Etkilenme sınırları çoğunlukla deney hayvanlarında oluşan etkileşme ile ilgilidir. Memeli deney hayvanlarından henüz ne fareler ne de diğerlerinde, birkaç günde 12-24 saatlik periyotlarla çıplak flüoresan ışımasına 100 µW/cm² mertebesinde maruz kalma sonucu kalıcı retinal bir zarar gözlenmemiştir. Japonya'da yapılan bir araştırmada güneş ışığının bina içinde oluşturduğu morötesi (UVB) ışıma enerji yoğunluğu en büyük değer olarak 590 µW/cm² olarak ölçülmüştür /7-9/. Görüldüğü gibi uygulanan çıplak flüoresan morötesi ışıması güneş morötesi ışımasının altıda biri mertebesinde dir.

5. LAMBALAR VE IŞIMA ETKİLERİ

Işık kaynaklarından etkilenme yönünden en duyarlı organ gözdür. Göz, çevreden gelen aşırı optik ışımaya karşı kendisini korumaya çalışır, ayrıca insanlar da uygun ek koruma araçları kullanırlar. Güneş, ark lambası ve kaynak arkı gibi parlak ışık kaynakları ile karşı karşıya kalındığında, gözü başka yöne çevirmek veya göz kapaklarını kısmak, bu tür etkilere karşı gözü doğal olarak korumaktadır.

Lambalar akkor telli ve elektriksel boşalmalı lambalar olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilirler: Bazı lambalar, aydınlatmadan başka amaçlar için de kullanılmaktadır. Bu lambalar genellikle kızılötesi ve morötesi ışıma yayarlar. Işıma etkilerini değerlendirmek amacıyla akkor telli ve elektriksel boşalmalı lambalarının en çok bilinen tiplerinin uygulama alanları ve spektral ışımalarının özeti aşağıda verilmiştir /10/.

Akkor Telli Lambalar: Genel ve yardımcı aydınlatma amacıyla kullanılır. Kızılötesi ışıma yayarlar.

Flüoresan Lambalar: Büro, işyeri, mağaza ve fabrikaların çoğunun ana aydınlatma kaynağıdır. Flüoresan lambalarda elektriksel boşalma ile ışık elde edilir. Bu ışığın yaklaşık %60'ı morötesi ışımadır, sadece %2'si görünür ışıktır /11/. Morötesi ışmanın flüoresan lamba tüpünün iç yüzeyine sürülen flüoresan tozları uyarması ile görünür ışık elde edilmektedir Bu lambalar, genel aydınlatma, tıbbi tedavi, kozmetik, mikrop öldürme amacıyla kullanılır. UVA ve UVB ışıma yayarlar. Bunların büyük bir kısmı cam lamba tüpü içerisindeki floresan tozları tarafından tutulur.

Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar: Tıbbi tedavi, mikrop öldürme, kısırlaştırma, bitki yetiştirme, balıkçılık, seracılık, sokak ve bina aydınlatması ve fabrikalar çok bilinen kullanım yerlerinden bazılarıdır. UVA ışıma yayarlar. Morötesi ışınların büyük bir kısmı cam lamba tüpü tarafından tutulur.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar: Yol aydınlatmasında ve rengin önemli olmadığı işyerlerinde dış aydınlatma amaçlı kullanılırlar. Hiç morötesi ışık yaymazlar, yaydıkları kızılötesi ışınların büyük bir kısmı lamba dış camı içerisine sürülen indiyum oksit tarafından lamba içine yansıtılır. Sodyum buharının spektrumu 589 ve 589,6 nm dalga boyunda iki adet çizgi şeklindedir ve rengi altın sarısıdır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda ise civa da kullanıldığından spektrum geniş bir aralığa yayılmıştır /10/.

Metal halojen lambalar: Dış aydınlatmada, aynalı aydınlatma aygıtları ve projektörlerde çok kullanılır. Ayrıca tıpta, kozmetikte, mikrop öldürmede ve kısırlaştırmada, bitki yetiştirme vb.de kullanılır. Son yıllarda evlerde de genel iç aydınlatma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu lambalar da UVA, UVB ve UVC ışıma yayar.

Kamaşma oluşturan ışık kaynaklarına bakmaktan dolayı retina üzerinde oluşan temel zarar fotoretinitistir. Fotoretinitisin, retinanın görünür spektrumdaki kısa dalga boylarına yani mor ve mavi ışık gibi ışımalara maruz kalmasının ardından oluşan fotokimyasal tepkimenin bir sonucu olduğu açıklığa kavuşmuştur. Retinanın mor ve mavi ışıktan yaralanması, mavi ışık yaralanması olarak adlandırılmaktadır. Sadece ksenon-arklı bir flaş lambası, nükleer bir patlama ışığı veya bir lazer gibi yüksek ışığa sahip kaynaklar retinanın ısıl yaralanmasına neden olabilmektedir.

Kısa dalga kızılötesi (IRA) ışımaların deri üzerindeki en göze çarpan etkileri, şiddetli deri yanığı, kılcak damarların fazla genişlemesi, uzun süre kalabilen aşırı pigmentasyondur. Göz kapakları derisindeki yoğun IR radyasyonunun patolojik etkileri, normal yanık olayınınkindir; eritema ve kabarcık oluşumu ana belirtilerdir. Derinin ısınması, kan dolaşımı veya nem buharlaşmasıyla azaltılabilir. Gözün ısıyı iletmemesi ve gözbebeklerinin iyi görmek için ayarlanması, gözü çok önemli bir organ haline getirir.

6. SONUÇLAR

Günümüzde elektriksel boşalmalı lambalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu lambalar, yaydığı ışımının biyolojik ve fotokimyasal etkileri göz önüne alınarak kullanılmalıdır. Bu ışımının göz ve çevre sağlığına etkisi, ışık kaynağının şiddetine, dalga boyuna, ışıma maruz kalma süresine ve uzaklığa yakından bağlıdır. Bu tür ışık kaynaklarından korunmak için, ışık kaynağı perdelenir, uzak durulur, maruz kalma

süresi kısa tutulur ya da koruyucu giysi ve gözlük kullanılır.

Bu nedenle ışığın biyolojik ve fotokimyasal etkileriyle ilgili olarak sınırlayıcı ve bilgilendirici standartlar hazırlanması gerekmektedir. Ülkemizde henüz böyle bir standart yoktur. Bu yönetmelikler esas alınarak, TSE tarafından bir standart yayınlanması veya Aydınlatma Milli Komitesi tarafından bu konuda bir teknik rapor hazırlanması oldukça yararlı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazımızın hazırlanmasını destekleyen Doç.Dr. Sermin Onaygil'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] M. E. Eren, Tarihsel Mekanların aydınlatılmasında obje korunumu ve Dolmabahçe Sarayı örneği, 1. Ulusal Ayd. Kongresi, İstanbul (1996), s. 118-123.
- [2] M. Katano, The effect of light sources for galleries and museums on prevention from the discoloration of fabrics with natural dyes, Proc. Lux Pacifica'97, 3rd Pacific Basin Lighting Congress, Nagoya, Japan, (Oct. 13-16, 1997), pp. E- 74-78.
- [3] C. Cuttle, Damage to museum objects due to light exposure, Lighting Res.Technol., Vol. 28, No.1, (1996), pp. 1-9.
- [4] C. Hermann, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE): Nedir ve nasıl çalışır?, 1. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul (1996), s. 17-23 .
- [5] International Commission on non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 µm), Health Physics, Vol. 73, No. 3 (Sept. 1997), pp. 539-556.
- [6] ICNIRP, Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 µm), Health Physics, Vol. 71, No. 5 (Nov. 1996), pp. 804-819.
- [7] K. Kohmoto, The effects of UV radiation and its Guide at lighted environment, Proc. Lux Pacifica'97, 3rd Pacific Basin Lighting Congress, Nagoya, Japan, (Oct. 13-16, 1997), pp. F- 63-68.
- [8] T. Kawanishi, Sky distribution of ultraviolet radiation, Proc. Lux Pacifica'97, 3rd Pacific Basin Lighting Congress, Nagoya, Japan, (October 13-16, 1997), pp. E- 74-77.
- [9] T. Kawanishi, Ultraviolet radiation in a model house, Proc. Lux Pacifica'97, 3rd Pacific Basin Lighting Congress, Nagoya, Japan, (October 13-16, 1997), pp. F- 69-73.
- [10] C. Meyer, H. Nienhuis, Discharge Lamps, Philips Tech. Lib., Deventer, (1988).
- [11] P. T. Stone, Fluorescent lighting and health, Lighting Res.Technol., Vol. 24, No. 2 (1992), pp. 55-61.