

Fotokatalitik teknoloji geliştirme ve uygulama

– Sürdürülebilir eko-teknolojinin endüstrileştirilmesi –

Hiroshi Taoda

[*Synthesiology* dergisi Cilt 1, No:4'ten çevrilmiştir]

Fotokatalistler, zehirli (toksik) ve biyo dirençli (bioresistant) kirleticiler gibi organik bileşikler toksik olmayan gazlara dönüştürerek parçalayabilir. Uygulama, maliyet ve yasal düzenlemeler de dahil olmak üzere birçok etken göz önünde bulundurularak bazı fotokatalist geliştirme ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Bu çabalar sonucunda, piyasada hâlihazırda çeşitli yeni fotokatalitik ürünler bulunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Çevre temizliği teknolojisi, fotokatalitik teknoloji, titanyum dioksit (TiO₂), su arıtma, hava arıtma, antibakteriyel ve antifungal (bakteri ve mantar öldürücü), çürüme önleyici

1 Fotokatalitik teknolojinin geçmişi

Son zamanlarda, çöp fırınlarından çıkan dioksin, gemi boyasında kullanılan organotin bileşikler, poliklorlu bifeniller (PCB'ler), tarımsal kimyasal, solventler (çözücü maddeler) ve deterjanlar da dahil olmak üzere zararlı kimyasal maddelerin yol açtığı çevre kirliliği küresel düzeyde görülmektedir ve insan varlığını tehdit eden önemli bir konu haline gelmiştir. Bu kimyasallar son derece düşük ppb düzeyindeki konsantrasyonda (derişim) zararlı olan maddeleri kapsamaktadır. Söz konusu maddeler su, hava ve toprağı küresel düzeyde kirletmektedir ve bunların yok edilmesi çok zordur.

Geleneksel olarak, çevre kirletici maddeler toplama, konsantrasyon ve yakma süreçlerinden oluşan pirolitik yöntemle (organik bileşiklerin çok yüksek sıcaklığa maruz bırakılması) işlenir. Ancak, kirlenme çok geniş bir alana yayıldığı için çevre temizliği çok büyük miktarda su, hava ve toprağın arındırılmasını gerektirir. Bu arındırmayı gerçekleştirmek için büyük miktarlarda fosil yakıtı gibi enerjiye ihtiyaç vardır ve bu enerjinin kullanımı büyük miktarda karbondioksit ortaya çıkarır. Bunun yanı sıra, atıkların yakılması süreci dioksin gibi zararlı maddelerin ortaya çıkması tehlikesini de arttırmaktadır. Dolayısıyla, çevrede düşük konsantrasyonla geniş bir alana yayılan kirleticileri geleneksel teknolojiyi kullanarak ortadan kaldırma çabaları enerji krizini, küresel ısınmayı ve hatta çevre kirliliğini arttırabilir.

Çevre kirliliğini ölçme ve analiz etme teknolojileri gelişmiştir ve çevre kirliliğinin mevcut durumu da gittikçe daha belirginleşmektedir, ancak kirlenmeyi küresel düzeye onarmak ve arıtmak için gerekli teknoloji gelişimi yavaş bir ilerleme kaydetmiştir. Fosil yakıtı veya zararlı kimyasallar kullanmadan çevrenin temizlenmesini sağlayabilecek sürdürülebilir çevre temizliği teknolojisi heyecanla beklenmektedir.

Sürdürülebilir çevre temizliği teknolojileri geliştirmek, büyük miktarlarda çevre kirletici yayan gelişmiş uluslar için bir zorunluluktur. Bilim ve teknolojinin lider ulusu olduğunu iddia eden Japonya'nın da endüstriyel bir teknoloji geliştirmesi gerekmektedir. Teknoloji geliştirilmesi ve ürünlerin ticarileştirilip dağıtımının sağlanması Japon endüstrisinin gelecekteki gelişimine katkıda bulunacak ve aynı zamanda küresel çevreyi de iyileştirecektir.

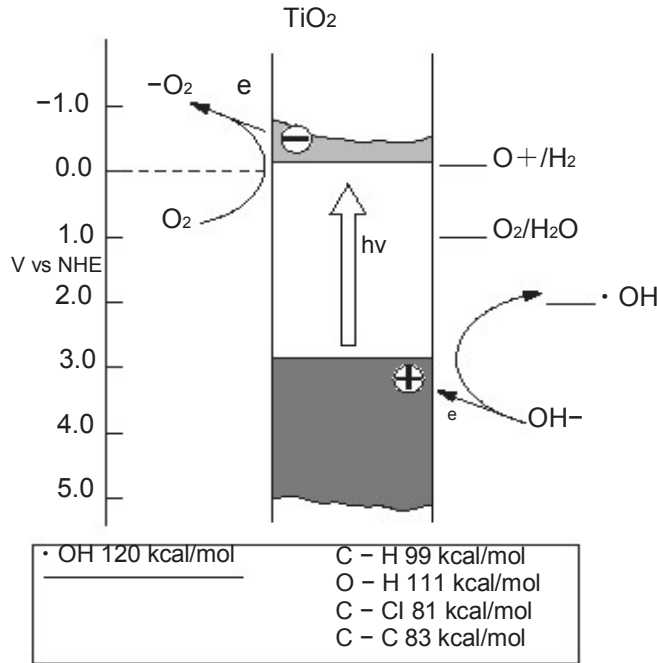
Işık mevcut olduğunda, fotokatalistler zararlı organik kimyasal maddeleri karbondioksit ve su olarak ayrıştırıp detoksifiye edebilir (zehirden arındırabilir). Fotokatalitik enerji kullanılarak çevre fosil yakıtları ve zararlı kimyasallar kullanılmadan temizlenebilir. Su arıtma, kötü kokulardan arındırma, uçucu organik bileşiklerden arındırma, hava temizliği, çürümeyi önleme, bakteri ve mantarları öldürme, tazeliği koruma ve dioksinleri yok etme için çeşitli uygulamalar mevcuttur.

Fotokatalist, farklı çevre kirleticiler üzerinde uygulanabilir ve küresel çevre temizliği için etkili bir yöntemdir. Ancak, yavaş reaksiyon (tepkime) hızı, kullanım zorluğu ve tekstil ve plastikte uygulama zorluğu gibi teknik meselelerin yanı sıra ekonomi ve güvenilirlik açısından da bir takım sorunlara çözüm bulunması gerekmektedir.

2 Fotokatalitik teknoloji geliştirme hedefleri ve amaçları

Fotokatalist, ışığı absorbe ederek/emerek yüksek enerjiyle yüklenen ve tepkenlere (belli bir tepkimeye giren maddelere) bu enerjiyi sağlayarak kimyasal tepkimeye neden olur. Yarı iletkenler ve metal karışımlar fotokatalist olarak kullanılır ve en sık kullanılan madde de titanyum dioksittir (TiO_2). Titanyum dioksit yaygınlıkla pigment olarak kullanılmaktadır. Güvenlidir, toksik değildir ve büyük bir dayanıklılığa sahiptir. Diş macunu ve kozmetiklerde kullanılmaktadır ve gıda katkıları olarak da onay almıştır.

Titanyum dioksit ışığa maruz kaldığında, Şekil 1'de görüldüğü üzere, solar hücrelerdeki silikonda olduğu gibi negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü delikler oluşur. Bu elektron ve delikler son derece güçlü indirgeme (redüksiyon) ve oksitleme faaliyeti gösterir ve su ile çözünük oksijenin reaksiyonuyla OH radikali gibi aktif oksijen ve süper oksit anyon (negatif iyon) (O_2^-) oluşur. Delikler ve OH radikallerin güçlü oksidatif/oksidlendirici etkisi vardır. Organik maddeyi oluşturan moleküllerdeki karbon-karbon, karbon-hidrojen, karbon-azot, karbon-oksijen, oksijen-hidrojen ve azot-hidrojen bağlarının bağlama enerjileri sırasıyla 83 kcal/mol, 99 kcal/mol, 73 kcal/mol, 84 kcal/mol, 111 kcal/mol ve 93 kcal/mol iken delikler ve OH radikallerin enerjileri çok daha yüksek, 120 kcal/mol'dür veya daha yüksektir. Dolayısıyla bu bağları kolaylıkla kırabilir.



Şekil1:Titanyum dioksitin enerji düzeyi ve fotokatalizi.

V = Elektrik Potansiyeli, NHE = Normal Hidrojen Elektrotu. V karşı NHE

Normal hidrojen elektrotu karşısındaki potansiyeldir veya normal hidrojen elektrotu standart olarak kullanıldığındaki potansiyeldir.

h = Işık enerjisi.

Bu faaliyet sayesinde, suda çözünen toksik kimyasallar ve kötü kokulu maddeler gibi havada çözünen kimyasallar da dahil olmak üzere çeşitli zararlı organik maddeler ışığa maruz bırakılarak kolayca ayrıştırılıp detoksifiye edilebilir. Ayrıca, zararlı kimyasallar veya fosil yakıtları kullanmadan ve bunların yerine güneş ışığı gibi temiz ve tükenmeyen bir kaynak kullanarak dağılmış çevre kirleticilerin güvenli, verimli ve yarı kalıcı bir şekilde temizlenmesi gibi başka bazı avantajlar da bulunmaktadır.

Bu araştırmada, gerçek amaçlı kullanıma ve su arıtma, hava arıtma, bakteri ve mantarları öldürme ve çürümeyi önleme gibi özel amaçlara yönelik düşük maliyetli, yüksek performanslı fotokatalitik geliştirilmiştir. Geliştirilen fotokatalitik farklı çevre alanlarında uygulanmıştır ve amaç fotokatalitik ürünlerin yayılmasını sağlayarak dünya çevresini temizlemektir.

3 Hedefe ulaşmaya yönelik araştırma senaryosu

Yeni bir teknolojinin ticarileştirilebilmesi için aşılması gereken bir engel olduğu söylenmektedir. Bugüne kadar, engellerde yalnızca teknolojik boyutlar veya teknolojik atılımlar dile getirilmiştir, oysa engellerin ekonomik ve sosyal boyutları da bulunmaktadır.

Amaca ulaşmak için yalnızca performansı iyileştirmeye dayalı teknolojik engel değil, aynı amaca yönelik mevcut teknoloji karşısında maliyet performansı sağlama gibi bir ekonomik engel ve müşterilerin kullanımını ve kabulünü sağlamak için gerekli güvenilirlik ve güvenliği koruma gibi bir sosyal engel de bulunmaktadır. Bu nedenle, fotokatalitik teknolojiyi ticarileştirebilmek için teknolojik, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç engeli aşmak gerekliydi.

3.1 Teknolojik Engel

Fotokataliz, II. Dünya Savaşı öncesinde, boya güneş ışığına maruz bırakıldığında TiO_2 içeren beyaz pigmentin kabarıp dökülmesi nedeniyle boyanın bozulması olarak biliniyordu ve bu durum uzun bir süre sorun olarak kabul edilmişti. Bu nedenle, titanyum dioksit üreten pigment üreticileri, TiO_2 pigmentini fotokatalize uğramayan seramikle kaplayarak bozulmayı önlemek için çaba harcamıştır.

1950'lerde Kyoto Teknoloji Enstitüsü'nden Fujio Mashio, Shinichi Kato ve arkadaşları fotokataliz tepkimesini çevre temizliğinde ve yararlı maddelerin sentezinde kullanmak amacıyla bir araştırma yürüttüler^{[1]-[3]}. Bunu, dünya genelinde, fotokatalist kullanarak zararlı organik kimyasal maddelerin ayrıştırıp detoksifiye etmeye yönelik çalışmalar izledi. Hidrokarbon, organik klorür bileşikler, tarımda kullanılan kimyasallar ve sentetik deterjanlar gibi çeşitli çevre kirleticilerle deneyler yapıldı ve bunların sonucunda birçok başarılı ayrıştırma ve detoksifikasyon çalışması rapor edildi.

Ancak, bu deneylerde çok küçük parçacıklar kullanılmıştı ve arıtılmış su ve fotokatalisti ayırma zorluğu gibi bir takım dezavantajlar nedeniyle uygulama konusunda ilerleme kaydedilemedi. Fotokatalist su arındırma esnasında dağıldığı için ancak büyük miktarlarda arıtma yapılabiliyordu. Fotokatalistin uygulamaya dönük kullanımını geliştirmek için katalisti bir substrata (alt katmana) sabitlemek zorunluydu.

Fotokatalist, yüzeye yakınlaşana kadar hedef maddeyi ayrıştırıyordu ve aynı zamanda yüksek konsantrasyon ve kısa arıtma süresi durumunda kirleticilerin ortadan kaldırılmasında zorluğa neden olan yavaş tepkime hızı sorunu vardı. Ayrıca, katalist tekstil ürünleri veya plastiğe yapıştığında, fotokataliz maddelerin kırılmasına neden oluyordu ve bu nedenle fotokatalizin tekstil ve plastikte kullanımı mümkün değildi. Her ne kadar fotokatalist, çevre alanında yaygın olarak kullanılsa da kullanım amacına göre değişen farklı gereklilikler vardı (örneğin, çürümeyi önleyicilik için yüzeyin pürüzsüz olması gerekiyordu, kötü kokulardan arındırma için yüzey alanının attırılması amacıyla yüzeyin engebeli olması gerekiyordu) ve uygulama alanı sağlamak için özel kullanıma uygun fotokatalistler geliştirmek gerekiyordu.

Gerçek kullanıma uygun hale getirilmiş etkili fotokatalist ve fotokatalitik ürün geliştirilmesi teknolojik engel idi.

3.2 Ekonomik Engel

Yukarıda da belirtildiği gibi, fotokatalitik teknoloji her ne kadar yaygın olarak kullanılabilse de maliyet performansı mevcut teknolojiyle karşılaştırıldığında önemli bir sorun teşkil etmekteydi.

Titanyum, yer kabuğunda bulunan maddeler arasında bolluk açısından dokuzuncu sırada gelmektedir. Titanyum dioksit pigment olarak kullanılmaktadır ve bol bulunduğu için düşük maliyetli bir kaynaktır. Ne var ki, fotokatalistte kullanılan titanyum dioksit nano boyuttadır, çok küçük bir parçacıktır ve pigmentlerde kullanılan büyük TiO_2 parçacıklarından on kat daha pahalıya mal olmaktadır. Ayrıca, gece kullanımı veya araç imalatı için yapay ışık kaynağı kullanmak gerekmektedir. Yeni bir teknoloji olan fotokatalitik teknolojisini günlük kullanıma sokmak için maliyeti mevcut teknolojilerin maliyetinin altına düşürmek veya bunlara yaklaştırmak ya da mevcut teknolojiler karşısında avantaj sağlamak gerekmektedir. Fotokatalitik teknolojinin yaygın olarak kullanımının sağlanması için bireysel mühendislik alanlarında da yaygın olarak kullanılabilir olması gereklidir.

Dolayısıyla, mevcut teknolojinin yerini almaya olanak sağlayan bir maliyet performansı ile fotokatalist ve fotokatalitik ürün geliştirme ve düşük maliyetle büyük çaplı fotokatalist ve fotokatalitik ürün geliştirme ekonomik engelleri idi.

3.3 Sosyal Engel

Bir teknoloji, ne kadar kusursuz olursa olsun, toplumda kullanım alanı bulmadığı sürece faydasızdır. Fotokatalist kullanan ürünler etkilerinin anında fark edilmemesi özelliğine sahiptir. Örneğin, kendi kendini temizleme etkisinin görünür hale gelmesi için uygulamanın üzerinden birkaç ay geçmesi gerekmektedir. Bu nedenle, birçok sahte ürün piyasaya sürülmüştür ve gerçek ürünler tüketicinin güvenini kazanamamıştır. Bunun yanı sıra, fotokatalistlerin performansını değerlendiren tek ve güvenilir bir test yöntemi bulunmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır ve bu da yüksek performanslı fotokatalist geliştirilmesini engellemiştir. Bu nedenle, fotokatalitik teknoloji konusunda eğitim faaliyetleri ve performans değerlendirme testlerinin standartlaştırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Fotokatalistler kullanıma bağlı olarak performans farklılığı gösterdiği için farklı kullanımlara yönelik performans testleri geliştirme ihtiyacı doğmuştur. Değerlendirme testi, yüksek performanslı katalist geliştirmede bir “ölçek” olarak yer almak zorundadır.

Fotokatalistler, toplumda kabul görmeden önce tüketicilerin güvenini kazanmalıdır. Ayrıca, RoHS (Zararlı Madde Kısıtlamaları) Direktifi ve Avrupa Konseyi'nin elektrikli ve elektronik aletlerdeki zararlı maddelerle ilgili WEEE (Atık Elektrikli ve Elektronik Cihaz) Direktifi'nin yanı sıra Farmasötik Kanunu, kirlilikle ilgili kanunlar ve PRTR (Kirleticilerin Serbest Bırakılması ve Aktarımı/Taşınması Kayıtları) gibi güvenlik ve çevre düzenlemelerine uymak da gerekliydi. Bu da sosyal engel idi.

3.4 Hedefe ulaşma senaryosu

Fotokatalitik teknolojinin toplumda kabul görebilmesi için yukarıda belirtilen engelin aşılması gerekiyordu. Aşağıdaki senaryonun bunların üstesinden geldiği düşünülmektedir.

İlk olarak, teknolojik engel konusunda, teknolojik gelişmenin genellikle 1. Tip Temel Araştırma'dan 2. Tip Temel Araştırma'ya ve daha sonra ürün geliştirmeden uygulamalı kullanıma doğrusal bir yol izlediği düşünülür. Ancak, fotokatalitik teknolojide, 25 yıl önce biz araştırmaya başladığımızda, hemen hemen hiç 1. Tip Temel Araştırma sonucu yoktu.

Her ne kadar Honda-Fujishima etkisi fotokataliz ilkesi olarak çok ünlü olsa da bu aslında titanyum oksidin foto-elektrot tepkimesiyle oluşan hidrolizdi ve burada fotokatalist kullanımı söz konusu değildi. Ayrıca, ışıklandırma olduğunda fotokataliz tepkimesine yol açmak üzere elektron ve deliklerin oluştuğu haricinde, fotokataliz mekanizması hakkında pek bir şey bilinmiyordu. Fotokatalistin performans ve tepkime hızını arttırmak için bilinen tek yöntem elektron ve delikleri yeniden bağlayarak bunların ortadan kaybolmasını önlemektir, ancak bunun nasıl gerçekleştiği de pek bilinmiyordu.

Dolayısıyla, belli kullanım alanlarına yönelik yüksek performanslı fotokatalistler gerçek kullanım alanını hayal ederek deneme-yanılma yoluyla geliştirilmekteydi. TiO_2 bazından yüksek performanslı kataliz yaratmak için eklenmesi gereken maddeler de deneme-yanılma yoluyla aranmaktaydı. Daha sonra, katkı maddesini bularak özel amaca yönelik yüksek performanslı fotokatalist geliştirdik, bunu uyguladık, alınan sonuçtan beslenerek daha yüksek performanslı fotokatalist geliştirdik ve daha yüksek performanslı fotokatalisti kullanarak yeni uygulamalar yaptık.

Bu durumda, fotokatalistin araştırma ve geliştirme (AR&GE) süreci disiplinlerarasıydı ve farklı alanlardan uzmanların yanı sıra teknoloji uzmanları ve ileri teknolojiye sahip şirketlerle de işbirliği yapma gereksinimi vardı. Onların katılımını teşvik ettik ve stratejik ve işbirliğine dayalı bir AR&GE yürüttük.

Ekonomik engeli aşmak amacıyla, endüstriyel atıkları matriks olarak kullanarak ucuz, güvenli ve büyük miktarlarda sağlanabilir TiO_2 'ye dayalı düşük maliyetli fotokatalist ve fotokatalitik ürün geliştirdik. Mevcut teknolojide bulunmayan avantajlar sağlayan uygulama ve geliştirme süreçleri üzerinde çalıştık. Bu yöntem, endüstriyel atıklardan çevre arıtma malzemesi üretilmesini sağladı ve endüstriyel atıkların geri dönüşümüne katkıda bulundu. Ayrıca, daha önce denenmemiş özgün uygulamalara da olanak sağladı.

Sosyal engeller konusunda, yüksek performanslı fotokatalist geliştirmek için gerekli değerlendirme testlerini standartlaştırmak amacıyla araştırma grupları ve endüstri kuruluşları kurduk. Ayrıca, sergi ve seminerler düzenleyerek veya bunlara katılarak fotokatalitik teknolojinin toplumda destek görmesi için çaba harcadık. RoHS ve WEEE, Farmasötik Kanunu, kirlilik hakkında kanunlar ve PRTR kanunları gibi güvenlik ve çevreyle ilgili düzenlemeleri de dikkate alarak fotokatalitik teknoloji geliştirdik.

Bu stratejileri kullanarak teknolojik, ekonomik ve sosyal engelleri aşmak için çaba harcadık.

4 Fotokatalistlerin kullanımına yönelik AR&GE yürütülmesi

4.1 Yüksek performanslı fotokatalist geliştirme ve uygulama

AR&GE ve uygulama çalışmalarını kronolojik sırayla açıklayalım.

4.1.1 TiO_2 şeffaf film fotokatalist geliştirilmesi^[4]

Fotokatalistlerde, hedef madde ışıkla temasa geçmeden ayrışma olmaz ve fotokataliz yüzeyde gerçekleştiği için yüzey alanı arttıkça verimlilik de artar. Bu nedenle, parçacık çapı küçük ancak yüzey alanı geniş çok ince toz şeklinde yüksek etkinliktir. Ancak, parçacık halindeki fotokatalist rüzgârda kolayca uçtuğu için işleme ve toplanma zorluğu dezavantajını taşımaktadır. Pratik uygulama için TiO_2 fotokatalistini bir substrata sabitlemek zorunluymuştu ve bunun için farklı yöntemler denendi.

TiO_2 tozunu organik bağlayıcılarla karıştırarak sabitleme yönteminde kalıcılık sorunu ortaya çıktı çünkü yapıştırıcı olarak kullanılan organik malzeme fotokataliz sürecinde ayrıştı ve TiO_2 tozu yavaş yavaş ayrıldı. TiO_2 tozunun çimento veya sırt gibi inorganik maddelerle karıştırıldığı yöntemde TiO_2 karışımının içine gömüldü ve ışığa ulaşamadı. Hedef kimyasal madde TiO_2 'yle temas edemedi ve fotokatalitik performans düştü. Kullanılan diğer yöntemler CVD, PVD ve püskürtme idi ancak bunlarda da vakumlu kap gerektiği için geniş yüzey alan üretme zorluğu ve sürecin çok miktarda enerji gerektirmesi gibi zorluklar ortaya çıktı.

Bu nedenle, düşük maliyetli sol-jel yöntemi kullanılarak sadece TiO_2 'nin substrata sabitlenmesinden oluşan film biçiminde fotokatalist geliştirdik (Fotoğraf 1). Titanya sol titanyum alkoksidinden yapılmıştı. Cam substrat üzerine daldırma yöntemiyle kaplanan bu madde kurutuldu ve katılaştırıldı. Bu süreci tekrarlayarak mükemmel kalıcılığa ve yüksek performansa sahip şeffaf TiO_2 ince film fotokatalisti üretebildik.



Fotoğraf 1. TiO_2 şeffaf ince filmle kaplı fotokatalist sahip işlevsel cam eşyalar.



Fotoğraf 2. Fotokatalitik silika jeli (sağda) (soldaki sıradan silika jel) ve dioksin ayrıştırma cihazı

TiO_2 ile sabitlenmiş bu fotokatalist tamamen TiO_2 'den oluşan bir yüzeye sahiptir ve bu nedenle temas ettiği kimyasal maddeleri etkili bir şekilde parçalayabilir. TiO_2 ince film fotokatalist şeffaf cam substrata sabitlendikten sonra substrattan geçen ışık kullanılabilir ve daimi olarak su arıtması yapılabilir. Ayrıca, bunun bakteri önleme ve süper hidrofili (nem tutma/önleme) özellikleri de vardır.

Kusursuz şeffaflık ve kalıcılığa sahip yüksek performanslı TiO_2 ince film fotokatalist üretmek için substrat üzerine eşit dağılmış, çok ince titanya sol kaplanmalıdır. Fırçayla uygulama fırça izlerine veya filmin gölgeli olmasına neden olan ince veya kalın bölgelere yol açmıştır. Daldırma yönteminde çekme hızı çok yüksek olduğunda film tabaka çok kalın oldu ve yüzeyde gölge ve kırılma oluştu. Çekme işlemi çok akıcı bir şekilde yapılmadığı sürece film tabakanın kalınlığı eşit olmadı ve bozulmalar oldu ve tabaka ayrıldı. Bu nedenle, yavaş ve özenli bir şekilde çekmek gerekti. Piyasada uygun bir daldırma yöntemi bulunmadığı için cihazı Aichi Prefecture'daki bir şirketle ortak geliştirdik ve TiO_2 şeffaf ince film fotokatalist üretmeyi başardık.

Bu TiO_2 şeffaf ince film fotokatalistin uygulanması için araştırmamıza devam ettik ve su arıtmak için fotokatalist cam eşyalar ve fotokatalist topraklar ve çürümeyi önleme, kötü kokuları giderme ve bakteri öldürme işlevlerine sahip fotokatalist floresan lambalar geliştirdik.

4.1.2 TiO₂ şeffaf gözenekli fotokatalist geliştirilmesi

Fotokataliz yüzey tepkimesi olduğu için fotokatalist yüzeyde tutma özelliğine sahip (adsorban) geniş yüzey alanlı bir gözenekli maddeyle sabitlendiğinde hedef madde adsorpsiyon (yüzeye çekme/yüzeyde tutma) ile çekilebilir ve ardından fotokatalizle etkin bir şekilde ayrıştırılabilir. Ancak, sıradan gözenekli maddeler ışık karşısında şeffaf olmadığı için fotokatalist gözenekli maddenin arkasına yerleştirildiğinde tepkime gerçekleşmez. Dolayısıyla fotokataliz işlevini arttırmak için matriks olarak ucuz, şeffaf ve gözenekli silika jel kullanmayı düşündük ve TiO₂ şeffaf ince filmle kaplı fotokatalist geliştirdik.

Fotokatalitik silika jelde, jel içindeki küçük gözenekler TiO₂ filmle kaplıdır. 450 m²/g yüzey alanına sahip olduğu ve ışık küçük gözeneklerin içine girebildiği için jel etkili bir şekilde kokuyu ayrıştırabilir ve suyu arıtabilir. Ayrıca emilen zararlı kimyasal maddeler de güvenli bir şekilde parçalanıp karbondioksit ortaya çıkarabilir. Bu gözenekli fotokatalist kendi kendini yeniden canlandıran adsorban olarak adlandırılabilir.

Bu fotokatalitik silika jelin şirketlerce patenti alınmıştır ve jel ticari olarak kullanılmaktadır. Bu jeli kullanarak egzoz gazı ve endüstriyel atık fırınlarından gelen atık sudaki dioksinleri verimli bir şekilde ayrıştırıp bunların %90'ını ortadan kaldıran su arıtma ve egzoz gazı arıtma cihazı geliştirdik (Fotoğraf 2)^{[5][6]}. Ayrıca, renkli atık sular için renklerden arındırma sistemi ve fotokatalitik insan atığı arıtma sistemi geliştirdik^[7].

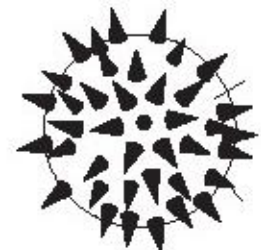
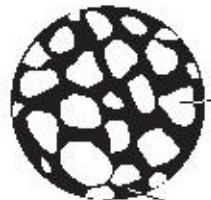
Gözenekli beton blokların yüzeyine uygulanan fotokatalistle fotokatalitik geçirgen bloklar geliştirdik (Fotoğraf 3)^[8]. Bu bloklar, hem bakteri öldürücü, mantar öldürücü ve çürüme önleyici etkiye sahiptir hem de havadaki NO_x ve SO_x'i adsorbe eder/yüzeyde tutar, ayrıştırır ve ortadan kaldırır. Ayrıca, yağmur suyunu da tuttuğu ve yüzey sıcaklığı buharlaşmayla düştüğü için ısı adası (yüksek sıcaklığa sahip ayrı bir alan) önlemlerinde de kullanılabilir. Maliyeti düşürmek için kömür külü gibi atık maddeler matriks olarak kullanılmaktadır. Fotokatalitik, ses bariyerlerinde ses emici blok olarak kullanılmakta, egzoz gazından arındırmak için park alanlarına kurulmakta ve ısı adası önlemi olarak kullanılmaktadır.

4.1.3 Tekstil ve plastikte kullanılabilecek fotokatalist geliştirilmesi^[9]

Tekstil ürünleri ve plastikler, fotokatalistle karıştırıldığında, fotokataliz sürecinde ayrıştığı için fotokatalistleri tekstil ve plastikte kullanmak mümkün değildi. TiO₂'nin yüzeyini fotokatalitik faaliyet barındırmayan seramikle kaplamanın yollarını denedik ve misk kavunu veya kompeito (deniz mayını şeklinde Japon şekeri) biçiminde fotokatalist parçacıklar geliştirdik (Şekil 2).



Photo 3. Antifouling effect on surface of photocatalytic permeable block (right).



Şekil. 2 Misk kavunu ve kompeito biçiminde TiO₂ fotokatalitik parçacıklar.

Misk kavunu şeklindeki parçacık, TiO_2 'nin yüzeyini fotokatalitik faaliyet göstermeyen silikayla kavunun yüzeyindeki ağlar gibi kaplayarak oluşturulmuştur. Bu, tekstil ürünleri veya plastiklerle karıştırıldığında, fotokatalitik faaliyet göstermeyen silika yüzeyde TiO_2 'nin tekstil veya plastikle temasını engeller ve ayrıştırma kontrol edilir. Bu parçacık, TiO_2 'nin yüzeyini üzerinde çok küçük gözenekler bulunduran kalın bir silika tabakasıyla kaplayarak oluşturulabilir.

Kompeito şeklindeki parçacık, TiO_2 'nin yüzeyini fotokatalitik faaliyet göstermeyen apatitle kompeitonun boynuzları gibi kaplayarak oluşturulmuştur. Apatit kemik ve dişte bulunmaktadır ve mükemmel bir biyo uyumluluğa sahiptir. Apatit kalsiyum ve fosfat iyonları çözeltisindeki TiO_2 parçacığını emerek, kemik veya dişin büyümesi gibi TiO_2 yüzeyinde doğal bir şekilde büyürken enerji tasarrufu sağlar. Kavun şeklindeki parçacıklarda olduğu gibi, tekstil ürünleri ve plastiklerle karıştırıldığında fotokatalitik faaliyet göstermeyen apatit yüzeyde tekstil ve plastiğin TiO_2 ile ayrışmasını önler. Apatit bakteri ve mantarları absorbe ettiği için TiO_2 fotokatalist kullanarak verimli bir antibakteriyel ve antifungal etki de sağlanır. Ortaya çıkan apatit geniş bir yüzey alanına sahip gül şeklindedir ve kötü kokuları giderme etkisine sahiptir.

Her iki TiO_2 fotokatalist parçacığının da patenti şirketler tarafından alınmıştır ve bunlar ticari olarak piyasada mevcuttur. Aynı zamanda, perde, takım elbise, öğrenci üniforması, çorap, yatak döşegi, havlu, nevresim, ayakkabı, dolgu oyuncak, yapay çiçek (Fotoğraf 4), yapay bitki ve duvar kâğıdı gibi birçok tekstil ürünü ve plastik ürün imal edilmiştir ve Japonya'da ve diğer ülkelerde satılmaktadır. Fotokatalistlerin günlük yaşamda kullanımını da hızla yaygınlaştırmaktadır.



Fotoğraf 4. Kompeito şeklinde TiO_2 fotokatalitik parçacık bulunduran çevre temizleyici yapay çiçek



Fotoğraf 5. İç mekan dekorasyonunda da kullanılabilecek fotokatalitik işlevli bir adsorban.

Aktifleştirilmiş karbona kompeito şeklinde TiO_2 fotokatalist ekleyerek tekrar tekrar kullanılabilir işlevsel adsorban geliştirdik. Aktif karbon, zararlı kimyasalları, kötü kokuları ve uçucu organik bileşikleri adsorbe ederek çevreyi temizleyebilir, ancak adsorpsiyon doygunluğa ulaştığında işlevini kaybeder. Aktif karbona fotokatalist eklendiğinde, karbon ışık olmadığında zararlı kimyasalları, kötü kokuları ve uçucu organik bileşikleri adsorbe eder ve ışığa maruz kaldığında fotokatalist bunları parçalar ve böylece çevre etkili bir şekilde temizlenmiş olur. Ancak, fotokatalizle aktif karbon oksitlenerek karbon monoksit ve karbondioksit ortaya çıkarır. Bu nedenle, kompeito şeklinde TiO_2 fotokatalist parçacıklar kullanıp ayrıştırmayı kontrol ederek yeniden kullanılabilir işlevsel adsorban geliştirdik. Aktif

karbonun mavi renkte güzel bir görünümü vardır ve arındırma işlevi taşıyan cazip bir iç mekân dekorasyon öğesi olarak kullanılabilir (Fotoğraf 5). Bu işlevsel adsorbanı kullanarak farklı uygulamalar üzerinde çalıştık ve seranın üzerine bunları kurarak tarımsal kimyasallar olmadan domates yetiştirmeyi başardık^{[10][11]}. İşlevsel adsorban kullanımı sayesinde seradaki havadan gelen bakteri ve mantarlar azaldı ve hastalık ve küflenmeler önlendi.

4.1.4 Fotokatalist ve oksitleyicilerin bileşimi^[12]

Atık sular fotokatalist kullanılarak arıtılırken tepkime süresi başlangıçta yüksektir, gittikçe düşer ve sonunda tepkime durur. Bunun nedeni sudaki zararlı maddeler oksidatif ayrışmaya maruz kalırken çözünen oksijenin tüketilmesidir ve fotokatalizde zararlı maddeleri ayrıştırırken oksijenin gerekli olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, fotokatalizin durmasını engellemek için, havalandırmayla çözülmüş oksijeni arttırmaya çalıştık ve fotokatalist ile oksitleyiciyi birleştirdik. Hidrojen peroksit ve ozon gibi oksitleyiciler fotokatalistle kullanıldığında, oksitleyiciler fotokatalizde etkili bir şekilde aktif oksijene dönüşmektedir ve oksidatif ayrışma hızlanmaktadır.

Bu tepkimeyi kullanarak uygulamalar yaparken dişleri beyazlatmada kullanılacak bir ağartıcı geliştirdik. Bu, TiO_2 ve düşük konsantrasyonlu hidrojen peroksidin bileşimidir ve diş üzerindeki leke bu bileşim dişe uygulanıp ışığa maruz bırakıldığında parçalanmaktadır. Hidrojen peroksitle birleştirilerek temizleme daha kısa sürede yapılabilir. Diş beyazlatma önceleri tehlikeli ilaçlarla yapılıyordu, ama şimdi bu yöntem sayesinde güvenli bir şekilde yapılabilir. Fotokatalitik diş beyazlatıcıyı ticarileştirirken Farmasötik Kanunu engel olarak karşımıza çıktı. Güvenlik verilerini hazırladıktan sonra Sağlık, İşgücü ve Refah Bakanlığı'nın onayını almak üç yıl sürdü ve ürün Aralık 2006'da piyasaya sürüldü.

İlaçlar, ilaç benzeri maddeler ve tıbbi cihazlarda uygulamalar konusunda sosyal engeller bulunmaktadır ve güvenlik standartlarını açıklamak gerekmektedir.

Fotokatalitik diş beyazlatıcıyı geliştirdikten sonra dış duvarların temizliğinde kullanılacak fotokatalitik deterjan geliştirdik. Çürümeyi önleme ve kendi kendini temizleme işlevleri dış duvarları fotokatalistle kaplayarak sağlanabilir, ancak toprak fotokatalistle ayrışır ve kabarıp dökülür. Bu nedenle, fotokatalist uygulamaları substratın temizlenmesi son derece önemlidir. Ancak kullanılan yüksek basınçlı su genellikle çok büyük miktarda su gerektirmektedir ve bu da dış duvara zarar verebilir. Bunun için fotokatalist ve oksitleyici bileşiminden oluşan bir su çözeltisi geliştirdik. Bu duvara uygulandı, bir süre bekledikten sonra toprağı temizlemek için su ve süngerle yıkandı (Fotoğraf 6).



Temizlik öncesi

Temizlik sırasında

Temizlik sonrası

Fotoğraf 6. Fotokatalitik deterjan kullanılarak yapılan dış duvar temizliğinin sonucu.



Oksijen absorbe etmeden önce (mavi)

Oksijen absorbe ettikten sonra (beyaz)

Fotoğraf 7. TiO_2 deoksidan oksijen absorbe etmeden önce (mavi) ve oksijen absorbe ettikten sonra (beyaz).

Bu fotokatalitik deterjan güvenli ve zararsızdır; kullanımdan sonra çok az miktarda TiO_2 ve inorganik iyon kalır. Ayrıca, 300 000 kuş gribi virüsü fotokatalitik deterjanla karıştırıldığında, bunların %99'u 30 dakika sonra etkisiz hale gelmiştir ve kuş gribi karşısında çok üst düzeyde bir etkililik sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, antibakteriyel etkiyle birlikte kötü kokuları giderme etkisi de sağladı ve bu deterjanı kullanan kötü koku giderici ve antibakteriyel cihaz ve sistemler geliştirdik. Deterjan, çöp arıtma tesisleri ve bakımevlerinde kötü koku giderici ve antibakteriyel olarak ve karides ve balık çiftliklerinde hastalık önleme aracı olarak kullanılmaya başlamıştır.

Deterjandaki gözenekli malzemeyi ıslatarak bu fotokatalitik deterjanı su arıtmada kullandık. Nehir ve okyanus sularını arıtmak için büyük miktarda arıtıcıya ihtiyaç duyulduğu için maliyet önemli bir etken haline gelmektedir. Sanshu çatı kiremitlerinin temel üreticilerinden biri olan Aichi Prefecture'da yılda 380 000 ton atık kiremit elden çıkarılmaktadır. Bu kiremitleri matriks olarak kullanarak düşük maliyetli fotokatalitik su çevresi arıtıcısı geliştirdik. Çatı kiremitlerini öğütürük yapılmış güvenli ve zararsız tabletleri fotokatalitik deterjanın içinde ıslattık ve ardından kuruttuk. Bunlar nehir veya okyanustaki tortular üzerine yayıldığında tortular ayrışıp temizleniyor. Bu düşük maliyetli fotokatalitik deterjan kg başına yılda 100 yenden daha ucuza mal olmaktadır ve gelişmekte olan ülkelerde de kullanılması beklenmektedir.

4.1.5 Görünür ışık fotokatalisti ve yeni malzemeler ilmesi

Yukarıda da belirtildiği gibi, TiO_2 fotokatalistlerin birçok avantajı vardır, ancak bunlar büyük bir enerjiye sahip ultraviyole ışına maruz kalmadıkları sürece işlev görmezler. Güneş ışığında yalnızca %3~4 oranında, florasan ışıkta ise çok daha düşük oranda ultraviyole ışık vardır. Bu nedenle, fotokatalisti iç mekânlarda daha verimli olarak kullanmak için görünür ışıkta da çalışan fotokataliste ihtiyaç vardır. Hâlihazırda görünür ışıkla çalışan fotokatalistte oksijenden yoksun ve azot katkılı TiO_2 fotokatalist ve ender bulunan metaller kullanan fotokatalist bulundurmaktadır ve bunlar da yüksek maliyet nedeniyle kolayca kullanılamaz.

Bu nedenle, TiO_2 ve demiri birleştirerek düşük maliyetli, güvenli ve zararsız görünür ışık fotokatalisti geliştirdik^[13]. Bunun maliyeti geleneksel görünür ışık fotokatalistinin üçte biridir ve özellikle iç mekân kullanımında yaygınlaşması beklenmektedir.

Fotokatalist bakteri öldürücü, mantar öldürücü ve tazeliği koruma cihazlarında kullanılabilir ve deoksidasyon (oksijen giderme) işlevi de eklendiğinde tazelik ve kalite koruması daha da iyileştirilebilir. Bu amaçla, oksijenden yoksun TiO_2 fotokatalistlerini geliştirerek oksijenin TiO_2 'den çıkarıldığı TiO_2 deoksidanı geliştirdik^[14].

Fotoğraf 7'de görüldüğü gibi, bu fotokatalist mavidir ve oksijen aldığı beyaz TiO_2 'ye dönüşür; böylece oksijen indikatörü olarak kullanılabilir. Geleneksel demir deoksidanın aksine, gıdayla karıştırıldığında kırmızı renk almamak, mikrodalga fırında yanmamak ve manyetik olmadığı için metal detektöründe ses çıkarmamak gibi avantajlar taşımaktadır. Bu deoksidan tamamen yeni bir TiO_2 uygulamasıdır ve geleneksel deoksidanlarda görülmeyen bazı avantajlara sahiptir.

4.2 Endüstri, akademi ve hükümet işbirliği ve fotokatalitik performansı test etme yöntemlerinin standartlaştırılması

Deneme-yanılma yöntemiyle yüksek performanslı fotokatalist geliştirilebilir, ama hızlı ve verimli bir araştırma yürütmek için kataliz bilimi, malzeme mühendisliği, sentetik kimya, analitik kimya, uygulamalı kimya, kimya mühendisliği ve reaksiyon mühendisliği gibi farklı alanlardan araştırmacı ve teknoloji uzmanlarının işbirliği gerekmektedir. Fotokatalist geliştirmek için çok iyi bir üretim teknolojisine sahip şirketlerin işbirliği de gerekmektedir.

Japonya'nın endüstri başkenti olan Chubu bölgesinde mükemmel AR&GE kapasitesine sahip birçok şirket, üniversite ve test-araştırma merkezi bulunmaktadır. Stratejik bir şekilde, bu ileri üretim teknolojileri ve AR&GE kapasitesinden faydalanıp bu kurumlarla işbirliği yaparak yüksek performanslı fotokatalist geliştirmeye karar verdik. Sergiler, seminerler, gazeteler, dergiler ve televizyon aracılığıyla aktif bir bilgi aktarımı sağladık. Fotokatalistler için işbirliğine dayalı AR&GE sağlamak amacıyla endüstri, akademi ve hükümet işbirliğini destekleyen araştırma seminerleri düzenleyerek çeşitli şirket, üniversite ve test-araştırma enstitülerinden araştırmacı ve teknoloji uzmanlarının bunlara katılımını teşvik ettik.

Bu araştırma semineri yaklaşık 350 üyesiyle Japonya'nın ilk fotokatalist endüstri grubuydu ve endüstri, akademi ve hükümetin işbirliğini sağlayan en büyük fotokataliz organizasyonu olan Fotokatalitik Maddeler için Endüstriyel Teknoloji Topluluğu'na (SITPA) ve ardından Japonya Fotokataliz Endüstrisi Birliği'ne (PIAJ) dönüştü. Fotokatalitik ürünler için kalite standardı belirleme, fotokatalitik performans değerlendirme testlerinin standartlaştırılması, SITPA markası oluşturma ve etiketleme ve terminolojiler konusunda standart oluşturma üzerinde çalıştık. Hedeflerimiz kalitesiz ürünlerin artmasını engellemek, fotokatalitik ürünlere güveni arttırmak ve fotokataliz endüstrisinin sağlıklı bir şekilde gelişmesini desteklemektir. Bunların yanı sıra, fotokatalitik malzemeleri değerlendirme testlerinin Japonya'da standartlaştırılması (Japon Endüstriyel Standardı) ve uluslararası alanda standartlaştırılması (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) üzerinde çalıştık, uluslararası fotokataliz sergileri düzenledik ve düzenlenen sergilere katıldık ve fotokatalitik teknoloji konusunda eğitim faaliyetleri düzenlemek ve bu teknolojiyi yaygınlaştırmak için çalıştık. Bunlar araştırmacı, teknoloji uzmanları, şirketler ve tüketicilerin ilgisini çekti ve böylece yeni girdiler sağlandı ve birbirleriyle işbirliği yapan daha fazla sayıda araştırmacı, teknoloji uzmanı ve şirket ortaya çıktı. Her yıl farklı şirketlerle fotokataliz alanında 40 ila 50 ortak araştırma yaptık ve teknolojik danışmanlık sağladık.

Fotokatalitik performansı değerlendirmek için Japon Endüstriyel Standardı olarak aşağıdaki standartlar kabul edilmiştir:

- İnce seramik (ileri seramik, ileri teknik seramik) – Fotokatalitik malzemelerin havayı temizleme performansı için test yöntemi – Bölüm 1: nitrik oksidin çıkarılması (JIS R1701-1)
- Fotokatalitik ürünlerin radyoaktif etkisi olan ışınlar altında antibakteriyel faaliyeti için test yöntemi (JIS R1702)
- Fotokatalitik malzemelerin kendi kendini temizleme performansı için test yöntemi – Bölüm 1: Suyula temas açısının ölçülmesi (JIS R1703-1) ve Bölüm 2: Islak metilen mavisinin ayrıştırılması (JIS R1703-2)
- Aktif oksijenin biçimlendirme yeterliğini ölçerek fotokatalitik malzemelerin su arındırma performansını test etme yöntemi (JIS R1704)
- Ultraviyole ışıkta kullanılan fotokatalitik malzemelerin testi için ışık kaynağı (JIS R1709)

Bunlar arasında, nitrik oksitten arındırma performansı ISO olarak belirlenmiştir.

5 Sonuçlar ve tartişma

Mevcut fotokatalistlerden daha yüksek performans gösteren fotokatalistler geliştirmek için çalışmalar yürüttük ve çeşitli yeni uygulamalar üzerinde çalıştık. Sonuç olarak, Japonya’da ve başka ülkelerde yaklaşık 200 fotokatalist patenti için başvuruda bulunuldu ve bunların yaklaşık yarısı patent olarak kaydedildi. Yaklaşık 40 patent ve mülkiyet hakkı mevcuttur ve çeşitli ürünler imal edilip satılmaktadır^[15].

Her ne kadar fotokatalistler farklı yerlerde uygulanabilse de her bir uygulama için ürün gerçekleştirme düzeyinde en uygun biçim ve tasarımı bulmak önemlidir. Örneğin, kendi kendini temizleme ve rmeyi nleme için fotokatalistin yüzeyi przszse kirlilik de kendiliğinden ortadan kalmış olur; su arıtma ve kötü kokuları giderme için ise przsl ve gözenekli bir yüzey daha fazla zararlı kimyasal madde emecektir. Asit, nötr ve alkalın gibi birçok farklı türde kötü koku bulunmaktadır ve bunların her birine uygun fotokatalist gerekmektedir.

rnlerin zel kullanım alanlarını dikkate alarak özel amaçlar için yüksek performanslı fotokatalist ve fotokatalitik ürünler geliştirdik ve fotokatalizden yararlanarak su arıtma, kötü koku giderme, havayı temizleme, kendi kendini temizleme, rmeyi nleme, buğulanmayı nleme, bakteri ve mantarları yok etme ve dioksin arıtma işlevlerini de içine alan farklı evre temizliği teknolojileri geliştirdik. rnlerin ticarileştirilmesinde maliyet önemli bir konu olduğu için atık maddeleri ve enerji tasarruflu üretim yöntemini kullanarak maliyeti düşürmeye çalıştık. Sonuç olarak, günlük kullanıma ve piyasaya sürülmeye uygun ve belli bir lde evre temizliği sağlayan fotokatalist üretmeyi başardık. Ne var ki, küresel arıtma hedefine ulaşmak için hala yol kat edilmesi gerekmektedir ve daha fazla araştırmaya ve ürünlerin daha yaygın kullanımına ihtiyaç vardır.

6 Gelecekte ne yapılabilir?

Fotokatalist kolay ve güvenli bir şekilde kullanılabilir ve ışık olduğu sürece dünyanın her yerinde kullanıma uygundur. Bu nedenle, gelişmiş uluslar kadar gelişmekte olan ülkelerde de kullanılabilir ve dünyaya büyük katkılarda bulunabilecek bir bilimsel teknolojidir.

Dünya evresinin temizlenmesini sağlamak için fotokatalistin farklı ülkelerde yaygınlaşması gerekmektedir. Dolayısıyla, hızlı ekonomik büyüme nedeniyle evre kirliliğinin son derece önemli bir sorun haline geldiği Doğu Asya ve Güneydoğu Asya lkelerindeki araştırma enstitüleri ve şirketlerle işbirliği yapmak ve her bir ülkenin kendi gereksinimlerine cevap verecek fotokatalitik teknolojiler üretmek gerekmektedir. Örneğin, evre kirleticilerin yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde fotokatalist performansı veya yüzey alanı arttırılmalı ya da diğer teknolojilerle birleştirilmelidir. Ayrıca, fotokatalistlerin yaygınlaşması için maliyetin düşürülmesi de önemlidir ve bu amaçla söz konusu ülkenin atık maddelerinden ve kullanılmayan kaynaklarından faydalanmak gerekmektedir. lkeye uygun bir fotokatalist geliştirebilirsek bunu kullanan yeni uygulamalar ilerleme kaydeder ve fotokatalitik teknoloji gelişir.

Hâlihazırda in, Tayvan ve Kore’de fotokatalist birlikleri kurulmuştur ve fotokatalitik teknoloji gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ancak, bu teknolojiyi dünyanın geri kalan kısmına da yaymak için farklı ülkelerdeki teknoloji uzmanlarıyla işbirliği yapmak gerekmektedir. in, Tayvan, Kore, Tayland, Filipinler, Vietnam, Avrupa lkeleri ve başka ülkelerdeki araştırma enstitüleri ve şirketlerle aktif bir şekilde işbirliği yapmak ve onlara danışmanlık sağlamak için çaba harcıyoruz.

Teşekkür

Bu araştırma ve geliştirme sürecinde sağladıkları işbirliği ve destek için Japonya ve yurtdışındaki araştırmacı ve teknoloji uzmanlarına, şirketlere, üniversitelere ve araştırma enstitülerine teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] F. Mashio and S. Kato: Manufacture method of hydrogen peroxide (Hidrojen peroksit üretme yöntemi), Japan Patent Gazette, Showa 34-500 (1959) (Japonca).
- [2] F. Mashio and S.Kato: Method for the simultaneous production of hydrogen peroxide and carbonyl compounds (Eş zamanlı hidrojen peroksit ve karbonil bileşikler üretme yöntemi), US PATENT 2, 910, 415 (1959).
- [3] F. Mashio and S. Kato: Sankachitan o hikarishokubai tosuru sankahanno ni kansuru kenkyu (dai 1 po) Sankachitan o hikarishokubai tosuru tetorarin no ekisosanka (Research on oxidation reaction using titanium oxide as photocatalyst (first report) – liquid phase oxidation of tetralin using titanium oxide as photocatalyst) (Fotokatalist olarak titanyum oksit kullanarak oksitlenme tepkimesi hakkında araştırma), Kogyo Kagaku Zasshi, 67, 1136-1140 (1959) (Japonca).
- [4] H. Taoda: Fabrication and application of titanium dioxide transparent thin film photocatalyst (Titanyum dioksit şeffaf ince film fotokatalistinin üretimi ve uygulanması), Environmental Management, 32-8, 943-949 (1996) (Japonca).
- [5] H. Taoda, Z. Yamada, and K. Aizawa: Development of dioxins decomposition apparatus with photocatalytic silica- gel (Fotokatalitik silika jelle dioksin ayrıştırma cihazı geliştirilmesi), Environmental Research Quarterly, 2001 No.123, 10-15 (2001) (Japonca).
- [6] H. Taoda: Hikarishokubai o katsuyo shita daiokishin jok yog ijut su (Dioxin removal technology using photocatalyst) (Fotokatalist kullanarak dioksinde arındırma teknolojisi), Sangyo to Kankyo, 376, 35-38 (2004) (Japonca).
- [7] H. Taoda: Hikarishokubai niyor u mizushori eno oyo (Application to water treatment by photocatalyst) (Fotokatalistle su arıtma uygulaması), Sangyo to Kankyo, 394, 27-30 (2005) (Japonca).
- [8] H. Taoda: Special series – Evolving photocatalysts (Fotokatalistlerin Gelişimi), Monthly Journal of Global Environment, 450, 104-105 (2007) (Japonca).
- [9] H. Taoda: Environmental purification technology using ceramics photocatalyst (Seramik Fotokatalist kullanarak çevreyi temizleme teknolojisi), Journal of Japan Solar Energy Society, 26-2, 13 (2000) (Japonca).
- [10] H. Taoda: Special series - Use development of photocatalysts (Fotokatalistlerin Gelişimi), Monthly Journal of Global Environment, 439, 96-97 (2006) (Japonca).
- [11] H. Taoda: Application of photocatalysts to agriculture (Fotokatalistlerin tarımda kullanımı), Optronics, 305, 110-115 (2007) (Japonca).
- [12] H. Taoda: Special series – Photocatalysts, Monthly Journal of Global Environment, 463, 98-99 (2008) (Japonca).
- [13] H. Taoda, K. Kato, K. Fujita, S. Imaizumi, Y. Sugawara, H. Kato, K. Okumura, Y. Kawashima and N. Yamashita: Photocatalytic particles and their manufacture method (Fotokatalitik parçacıklar ve bunları üretme yöntemi), Japan Patent No. 2945926 (Japonca).
- [14] H. Taoda: Application of photocatalysts to agriculture, forestry, fishery, and food (Fotokatalistlerin tarım, ormancılık, balıkçılık ve gıdada kullanımı), Techno Innovation, 61, 38-43 (2006) (Japonca).
- [15] H. Taoda: Tokoton yasashii hik ari shokubai no hon (Thoroughly Easy Book on Photocatalyst) (Fotokatalistler hakkında Bir kitap), 102-133, Nikkan Kogyo Shimibun, Tokyo (2002) (Japonca).

Yazar

Hiroshi Taoda

1977 yılında Kyoto Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Nagoya'da Hükümet Endüstriyel Araştırma Enstitüsü ve Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı, Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Dairesi'ne katıldı. 1993 yılında Çok Fonksiyonlu Malzemeler Bölümü'nde Eko-Malzeme Araştırma Grubu'nun başına geçti. 2001'de AIST (Demir ve Çelik Teknolojileri Birliği) Seramik Araştırma Enstitüsü'nde Eko-Malzemeler Kimya Araştırma Grubu'nun lideri oldu. Nisan 2004'ten beri AIST Sürdürülebilir Kalkınma için Malzeme Araştırma Enstitüsü'nde Çevresel Seramik Araştırma Grubu'nun lideridir. 2000'de Bilim ve Teknoloji Dairesi Genel Müdürlüğü ödülünü, 2001'de Nagai Bilim ve Teknoloji Vakfı ödülünü aldı. 2001'de Çevre Ödülü aldı. Çalışma alanları güneş enerjisinden faydalanma teknolojisi, özellikle güneş enerjisinin depolanması (ısı depolama teknolojisi), karbondioksitin azaltılması ve fotokatalistlerdir. Mühendislik alanında doktora derecesi bulunmaktadır.

Okuyucularla Tartışma

1. AR&GE'nin gelişimi

Yorum (Hisao Ichijo)

Temel teknoloji seçimini anlamanın zor olduğunu düşünüyorum. AR&GE'nin 1. Tip ve 2. Tip Temel Araştırma arasında gidip gelmesi önemli bir süreçtir. Uzmanlık alanı dışından okuyucuların da daha iyi anlamasını sağlamak için 1. Tip Temel Araştırma orijinal çalışmalardan alıntı yapılarak kısaca açıklanmalıdır.

Yanıt (Hiroshi Taoda)

Katalist ve yeni ilaçlar geliştirirken hangi maddeleri ekleyerek verimlilik ve performansın nasıl arttırılabileceği olasılığını yükseltmek için bir destek sistemi vardır, ancak bu deneme-yanılma yoluyla yürütülür. Bu, aynı zamanda keşfe yönelik bir araştırmadır ve 1. Tip Temel Araştırma olarak bilinir. Teknolojik gelişimin genellikle 1. Tip Temel Araştırma'dan 2. Tip Temel Araştırmaya ve ardından geliştirmeden gerçekleştirmeye doğrusal bir yol izlediği düşünülür. Ancak her zaman 1. Tip Temel Araştırma bilgisini mutfak tezgâhında özenli bir şekilde hazırlanmış halde bulup bu bilgiyi bir araya getirip tencerede pişiremezsiniz (2. Tip Temel Araştırma). 1. Tip Temel Araştırma deneme-yanılma yoluyla yürütülür ve sonuçlar 2. Tip Temel Araştırmayı yürütüp ürün geliştirme/gerçekleştirme için kullanılır. Ardından elde edilen sonuçları beslemek için 1. Tip Temel Araştırma yeniden yapılır. Bu araştırmayı nasıl yaptığımı 4. Bölümün alt başlıklarında olabildiğince açıkladım. Ayrıca, 1. Tip Temel Araştırma'yı içine alan kısmı açıklığa kavuşturmak için patentleri de kaynakçaya ekledim.

2. Üç “engel”

Yorum (Yoshiro Ohwadano)

Fotokatalitik teknoloji toplumda yaygınlaşmadan önce önümüzde teknolojik, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç engel bulunduğunu ortaya koymanız oldukça ilginç bir bakış açısı. Bu yapının tanımını verirsiniz makalenin tamamını anlamanın daha kolay olacağını düşünüyorum. Lütfen, özellikle, (1) teknolojik engelin nerede olduğunu ve bunun üstesinden nasıl gelindiğini, (2) ekonomik engelin nerede olduğunu ve bunun üstesinden nasıl gelindiğini ve (3) sosyal engelin nerede olduğunu ve bunun üstesinden nasıl gelindiğini açıklayınız.

Bu açıklama, konu hakkında başka alanlara da aktarılabilecek genel bilgi sağlayacak ve makalenizi daha değerli hale getirecektir.

Yanıt (Hiroshi Taoda)

(1) Teknolojik engel, fotokatalist tozunun kullanımının zor olması ve fotokatalitik performansın düşük olmasıydı. Bu sorunları, fotokatalisti şeffaf gözenekli bir matrikse sabitleyip etkili yüzey alanı arttırmak için bir yöntem kullanarak aştık. Matriksin ayrışmasını önlemek için de yöntemler bulduk ve görünür ışığa duyarlılığı arttırarak da performansı geliştirdik. Fotokatalistlerin işlevi önemli ölçüde arttı ve kullanımı kolaylaştı.

(2) Ekonomik engeli ise maliyet açısından bakıldığında mevcut teknoloji karşısında fotokatalistlerin rekabet gücünün düşük olmasıydı. Bunu maliyeti düşürerek ve orijinal kullanım alanları yaratarak aştık. Atık maddeler gibi ucuz malzemeler kullandık ve fotokatalisti şeffaf bir temel ve tekstil üzerine sabitleme yolları geliştirdik.

(3) Sosyal engeli, önümüzdeki yasal düzenlemeler ve toplumda ürünlerin düşük oranda kabul görmesiydi. Bu sorunu, onay almak çaba harcayarak aştık. Ayrıca, performans değerlendirme yöntemi oluşturduk ve endüstri, akademi ve hükümetin işbirliğiyle teknoloji birliklerini örgütleyerek JIS ve ISO standardizasyonu sağlamak için çalıştık. Bunun yanı sıra, fotokatalistlerin uygun bir şekilde kullanımı sağlayarak eğitim faaliyetleri için ve fotokatalitik teknolojinin yaygınlaştırılması için çaba harcadık.