



Medikal Test Yutucularının Karşılaştırılması Comparison of Medical Test Absorbers

İbrahim Çatalkaya¹, Sedef Kent¹

¹Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
{catalkaya, kents}@itu.edu.tr

Özetçe—Düşük yansımaya sahip mikrodalga yutucular, yansımaz oda testlerinin performansını arttırmak için önemlidir. İstenilen düşük yansımalı yutucular için kullanılan malzeme kadar yutucunun şekli de önemlidir. Piramit ve kama şeklindeki yutucular çok bilinen ve medikal cihazların yansımaz oda testlerinde de kullanılan mikrodalga yutucu türlerindedir. Bu çalışmada yutucu şeklinin içbükey veya dışbükey olmasının yansımaya karakteristiğine etkisi incelenmiştir. İçbükey yutucu şeklinin yansımaya katsayısı değerleri kama ve dışbükey şeklindeki yutucuların değerleri ile karşılaştırılarak daha iyi karakteristiğe sahip olduğu gösterilmiştir. Yutucu yapılar Periyodik Moment Yöntemi (PMM) kullanılarak analiz edilmişlerdir. Yutucu yapıların 2-8 GHz frekans bandındaki yansımaya değerleri normal geliş durumu için karşılaştırılmıştır. Farklı geliş açılarındaki yansımaya değerlerinin karşılaştırılması da 2 GHz frekansında yapılmıştır. Kama tipi yutuculara alternatif olabilecek bir yutucu yapısının analiz edilmiş olması çalışmanın önemli bir katkısıdır.

Anahtar Kelimeler — *medikal test yutucuları; elektromanyetik dalga yutucu; yansımaz oda; periyodik yapılar; elektromanyetik saçılma.*

Abstract—Low reflection microwave absorbers are important to improve anechoic chamber measurements. Beside used material, shape of the absorber is important as well for desired low reflection absorbers. Pyramidal and wedge type absorbers are well-known microwave absorbers used for anechoic chamber measurements. They are used as medical test absorbers for anechoic chamber measurements of medical devices as well. In this study, effect of being shape of the absorber concave or convex on reflection characteristic of the absorber is investigated. Reflection coefficient values of the convex-shaped absorber are compared with the reflection coefficient values of the concave and wedge-shaped absorbers and shown that convex-shaped absorber has better characteristics. Absorber structures are analyzed by using Periodic Moment Method (PMM). Reflection values of the absorber structures for the 2-8 GHz frequency band are compared for the normal incidence case. Their bistatic pattern comparisons are presented at 2 GHz. Analysis of an alternative absorber structure to the wedge type absorber is an important contribution of the study.

978-1-5090-2386-8/16/\$31.00 ©2016 IEEE

Keywords — *medical test absorbers; electromagnetic wave absorber; anechoic chamber; periodic structures; electromagnetic scattering.*

I. GİRİŞ

Elektromanyetik dalga yutucuları elektromanyetik uyumluluk (EMC), elektromanyetik girişim (EMI) testlerinin yansımaz odalarda gerçekleştirilmesinde kullanılan önemli yapılar [1-5]. Yansımaz oda duvarına kaplanan bu yutucu yapılar, testlerin yansımaz olarak doğru şekilde yapılmasını sağlarlar. Tıp alanında kullanılan birçok cihazın da EMC / EMI testlerinin yansımaz odalarda yapılması gereklidir ve elektromanyetik dalga yutucuları bu amaçla da kullanılmaktadırlar [6, 7]. Düşük yansımaya sahip yutucular bu testlerin daha iyi yapılmasını sağlarlar [5, 8]. Yutucu yapıların yansımaya karakteristiğini etkileyen yutucunun şekli, elektriksel parametreleri gibi birçok faktör vardır. Çok sayıda yutucu tipinin yanında kama ve piramit şeklindeki yutucular EMC / EMI testlerinde kullanılan en çok bilinen yutuculardır [9]. Kama tipi yutucunun şekli yutucunun bir empedans yudurma devresi gibi davranmasını sağlar [10]. Burada içbükey yutucu şeklinin kama ve dışbükey şeklindeki yutucularla yansımaya katsayısı değerleri karşılaştırılarak daha iyi karakteristiğe sahip olduğu gösterilmiştir.

Kama tipi yutucuların empedans geçişi boşluğun empedansından kayıplı ortam tabanının empedansına kadar doğrusal olarak değişir. Daha iyi empedans geçişi ve elektromanyetik dalganın kama yüzeyleri arasında defalarca yansiyarak enerjisinin büyük kısmını kaybetmesi için, yutucu yüksekliğinin artırılması gerekir. Yutucu yüksekliğinin artması yansımaz odanın kullanılabilir alanının azalmasına sebep olacaktır [12]. Daha iyi yansımaya değerlerine sahip farklı yutucu şekilleri kullanılarak yansımaz odanın kullanılabilir alanını sınırlamadan EMI / EMC ölçümlerinin iyileştirilmesi sağlanabilir [12].

Elektromanyetik dalga yutucuları ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalar 1930'ların ortalarında başlamıştır. 1950'lerde ise yansımaz odalarda kullanılmaya başlamışlardır [1-5, 8-11]. Elektromanyetik yutucular yansımaz ortam şartlarını kapalı bir ortamda oluşturmak amacıyla kullanılırlar. Bilinen ilk patentli yutucu Hollanda'da geliştirilen ve 1936 yılında patenti alınan 2 GHz bandında çalışan çeyrek dalga rezonatörü tipinde bir



Biyoinformatik 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

yutucudur [11]. Kama veya piramit tipinde karakteristik empedansı boşluğun empedansından kayıplı ortam tabanının empedansına kadar kademeli olarak artan geniş bantlı yutucular İkinci Dünya Savaşı sırasında kullanılmaya başlanmıştır [11]. Piramit yutucu, empedans uydurma tekniğini kullanan savaş yıllarında patenti Neher tarafından alınan ilk yutucudur [11, 13]. Sonrasında bu tekniği temel alan kama ve farklı tiplerde yutucular geliştirilmiştir [14].

Bu çerçevede çalışmanın katkısı, içbükey periyodik yutucu yapıların daha iyi yansıma karakteristiğine sahip yutucular olduğunu göstermektedir. Yutucu yapılardan saçılan elektrik alanlar PMM yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. enine elektrik (TE) modu değerleri, enine manyetik (TM) modu değerlerine göre daha iyi olduğu için yansıma değerleri hesaplanırken yutucu yapının eksenini boyunca kutuplu TM modlu düzlem elektromanyetik dalgalar kullanılmıştır ve çalışma TM modu ile sınırlı tutulmuştur [15].

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: Kama tipi, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların bir fonksiyon olarak nasıl ifade edildiği açıklanmış, her yutucu yapıya ait fonksiyonların sınır koşulları yardımıyla nasıl elde edildiği belirtilmiştir. Düzlem elektromanyetik dalga tarafından aydınlatılan periyodik yutucu yapıların PMM yöntemi kullanılarak analizi detaya girmeden kısaca açıklanmıştır. Kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapılara ait yansıma katsayıları değerleri sonuçlar ve tartışma bölümünde verilmiştir. Sonraki bölümde ise çalışmanın özeti, özet ve sonuç başlığı altında ifade edilmiştir.

II. YÖNTEM

A. Periyodik Yutucu Yapıların Elde Edilmesi

Periyodik yutucu yapılar “L” periyotlu “h” yüksekliğine sahip yapılar olarak ele alınmıştır. Yutucu yapıların birim hücresi $[-L/2, L/2]$ aralığında $[-L/2, 0]$ ve $[0, L/2]$ kısımları simetrik olacak şekilde ele alınmıştır. Bu sebeple yutucu yapıların sadece $[0, L/2]$ aralığındaki bölümü bir fonksiyon olarak ifade edilerek yutucu yapılar matematiksel olarak tanımlanmıştır. Kama tipi yutucu yapı, içbükey ve dışbükey yutucu yapıları ifade eden matematiksel ifadeler sırası ile aşağıdaki (1), (2) ve (3) denklemlerinde verilmiştir.

$$f(x) = -\frac{2h}{L}x + h \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{a}{2}x^2 + \left(-\frac{aL}{4} - \frac{2h}{L}\right)x + h \quad (2)$$

$$f(x) = -\frac{a}{2}\left(x - \frac{L}{2}\right)^2 + \left(-\frac{aL}{4} - \frac{2h}{L}\right)\left(x - \frac{L}{2}\right) + h \quad (3)$$

Kama yutucu yapı (1) denkleminde de görüldüğü gibi doğrusal bir fonksiyona sahiptir. Doğrunun denklemini sınır koşulları $f(0)=h$ ve $f(L/2)=0$ yardımıyla belirlenmiştir.

İçbükey ve dışbükey yutucu yapıların denklemleri ikinci derece fonksiyon temel alınarak oluşturulmuştur. İkinci derece fonksiyon içbükey ve dışbükey yutucuların kolaylıkla oluşturulabilmesi amacıyla örnek olarak seçilmiştir. İçbükey ve dışbükey fonksiyonlar (2) ve (3) denklemlerinden görülebileceği gibi x-eksenine göre simetrik seçilmişlerdir. Denklemler sınır koşulları $f(0)=h$ ve $f(L/2)=0$ yardımıyla belirlenmiştir.

B. Periyodik Yutucu Yapıların Analizi

Düzlem dalga tarafından aydınlatılan periyodik yutucu yapıların yansıma değerleri PMM yardımıyla elde edilebilir. TM modlu $e^{j\omega t}$ zaman bağımlılığına sahip düzlem elektromanyetik dalganın 1-boyutlu periyodik “L” periyotlu yutucu yapıyı aydınlattığını göz önüne alalım. Yutucu yapıdan saçılan elektrik alan vektörünün herhangi bir noktadaki değeri, oldukça iyi bilinen (4) denklemi ile ifade edilir [16].

$$\mathbf{E}^s(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = -j\frac{k^2}{2L} \sum_{p=-\infty}^{\infty} \iint (\epsilon_r - 1) \quad (4)$$

$$E_0(\mathbf{x}', \mathbf{y}') \frac{e^{-j(x-x')\beta_{1p}} \cdot e^{-j(y-y')\gamma_{1p}}}{\gamma_{1p}} dx' dy'$$

burada,

$$\beta_1 = ks_x, \quad \beta_{1p} = \beta_1 + p \frac{2\pi}{L}, \quad \gamma_{1p} = \sqrt{k^2 - \beta_{1p}^2} \quad (5)$$

Saçılan ve gelen elektrik alan vektörlerinin vektörel toplamı (6) denkleminde ifade edildiği gibi herhangi bir noktadaki toplam elektrik alanı oluşturacağından, saçılan alan PMM kullanılarak hesaplanabilir.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}^i + \mathbf{E}^s \quad (6)$$

Saçılan alanın PMM kullanılarak hesaplanması için, yutucu yapının birim hücresinin kesiti dielektrik sabiti ve elektrik alan yoğunluğunun sabit kabul edilebileceği kadar küçük boyutta çok sayıda hücreye bölünür. Her hücre için elde edilen saçılan alan ifadelerinden hücre sayısına eşit denklemden ve bilinmeyen saçılan alan terimlerinden oluşan lineer bağımsız denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sisteminin çözümü ile saçılan alan değerleri bulunabilir. Gelen elektrik alanın genliği “I” seçilirse saçılan alan yansıma katsayısını verecektir. PMM için daha ayrıntılı açıklamalar [12] çalışmasında verilmiştir.

Bu çalışmada yansıma katsayılarını elde etmek için PMM temel alınarak bir MATLAB kodu geliştirilmiştir. MATLAB, vektör ve matris işlemlerini verimli bir şekilde gerçekleştirdiği için, karmaşık matris işlemleri hızlı bir şekilde hesaplanabilmiştir.

Biyoinformatik 2

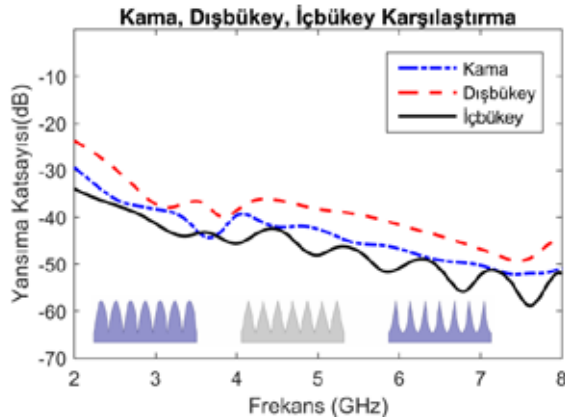
3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

PMM yönteminin toplam hesaplama zamanı yansıma değerlerinin hesaplanmasında önemli bir parametredir. MATLAB ortamında matris tersi işlemleri “CGS(Conjugate Gradients Squared Method)” yöntemi önkoşul ile birlikte kullanılarak hesaplama süresi kısaltılmıştır.

III. BULGULAR

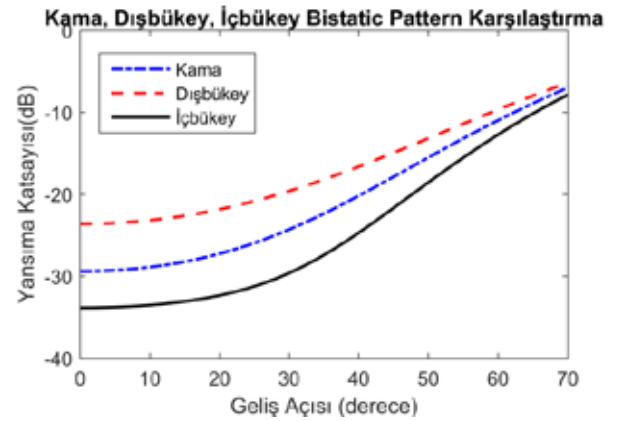
Kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların yansıma katsayıları PMM yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Daha düzgün grafikler elde etmek için, hesaplanan değerler temel alınarak enterpolasyon tekniği yardımıyla çok sayıda ara frekans değerine ait yansıma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Periyodik yapıların periyotları 76.2 mm (3 inch), taban kalınlıkları 50.8 mm (2 inch) ve yükseklikleri 165.1 mm (6.5 inch) olarak alınmıştır. İçbükey ve dışbükey yutucu yapılar için (2) ve (3) denklemlerinde belirtilen “a” değeri örnek bir değer olarak $a = 0.09952$ olarak seçilmiştir. PMM hesaplamalarında kullanılan malzemenin frekansa bağımlı dielektrik sabiti olarak [11] çalışmasında verilen değerler temel alınmıştır.

Yansıma katsayılarının karşılaştırılması şekil 1 de gösterilmiştir. Yutucu yapılar, normal geliş açısına sahip 2-8 GHz frekans aralığında 0.1 GHz frekans aralıkları ile TM modlu düzlem elektromanyetik dalga ile aydınlatılmıştır. Şekil 1 de görülen yansıma sonuçlarına göre, içbükey yutucu yapının yansıma karakteristiği, dışbükey ve kama yutucu yapıların yansıma karakteristiğine oranla dikkate değer şekilde daha iyi değerlere sahiptir. İçbükey yutucu yapı 2 GHz frekans değeri için olarak -33.91 dB yansıma değerine sahiptir. Bu değer yaklaşık olarak dışbükey yapıdan 10 dB, kama yapıdan ise 4 dB daha iyi bir yansıma değeridir. İçbükey yutucu yapının, 2-8 GHz frekans bandı boyunca bazı frekans değerlerinde yaklaşık olarak kama yutucudan 7 dB, dışbükey yutucudan 11 dB daha iyi yansıma değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca içbükey yutucu yapı frekans bandının hemen hemen her noktasında dışbükey ve kama yutucu yapılardan daha iyi değerlere sahiptir.



Şekil 1. Kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların 2-8 GHz frekans bölgesi için yansıma performanslarının karşılaştırılması.

Şekil 2 de 2 GHz frekans değeri için geliş açısına bağlı olarak 0-70 derece geliş açısı aralığında kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların yansıma katsayısı değerleri grafiği verilmiştir. İçbükey yutucu yapı normal geliş açısı için -33.91 dB yansıma değeri sağlamaktadır. Bu değer yaklaşık olarak dışbükey yutucunun yansıma değerinden 10 dB, kama yutucunun yansıma değerinden ise 4 dB daha iyi bir değerdir. İçbükey yutucu yapı, eğik geliş açısı durumlarında da daha iyi yansıma katsayısı değerlerine sahiptir. Geliş açısının 70 derece değeri için, dışbükey yutucu yaklaşık olarak -6.4 dB ve kama yutucu -7 dB yansıma değerine sahipken içbükey yutucu -7.9 dB yansıma değerine sahiptir.



Şekil 2. Kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların 2 GHz için bistatic pattern karşılaştırması.

İçbükey yutucunun 30 dereceden daha küçük geliş açısı değerleri için de yaklaşık olarak kama yutucudan 5.5 dB, dışbükey yutucudan ise 10 dB daha iyi yansıma katsayısı karakteristiği sağladığı görülmektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapıların yansıma katsayısı karakteristikleri karşılaştırılmıştır. İçbükey ve dışbükey yutucu yapılar, ikinci derece fonksiyonlar temel alınarak oluşturulmuştur. Fonksiyon parametreleri sınır koşulları ve en iyi sonucu sağlayan parametreler kullanılarak belirlenmiştir. Kama, içbükey ve dışbükey yutucu yapılara ait yansıma katsayısı değerleri tüm frekans bandı boyunca elde edilmiştir. Ayrıca 2 GHz için farklı geliş açısı değerlerine bağlı olarak yansıma katsayısı değerleri de sunulmuştur.

İçbükey yutucu yapı dikkate değer şekilde daha iyi yansıma karakteristiğine sahiptir. Bu yönüyle medikal cihazların düşük işaret seviyelerindeki EMI testlerini iyileştirmek için ideal bir yutucu olarak kullanılabilir. Yansıma katsayısı değerinin yeterli olduğu durumlarda yüksekliği daha az içbükey yutucu kullanılarak testlerin yapıldığı yansız odaların kullanılabilir alanı artırılabilir. İçbükey yutucu yapı geniş bir frekans bölgesinde hem normal geliş açısı hem de eğik geliş açısı



Biyoinformatik 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

durumları için kama ve dışbükey yutucu yapılardan daha iyi karakteristiğe sahiptir.

Farklı içbükey periyodik yutucu yapıların yansıma karakteristikleri gelecek dönem yapılacak çalışmalar olarak incelenecektir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya İTÜ Modelleme ve Simülasyon (MoSim) araştırma grubu katkıda bulunmuştur.

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi BAP birimi tarafından 36033 proje numarası ile desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Kuester, E.F. and C.L. Holloway, A Low-Frequency Model for Wedge or Pyramid Absorber Arrays .I. Theory. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1994. 36(4): p. 300-306.
- [2] Holloway, C.L. and E.F. Kuester, A low-frequency model for wedge or pyramid absorber arrays-II: Computed and measured results. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1994. 36(4): p. 307-313.
- [3] Tong, X.C., Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding. 2016: CRC Press.
- [4] Nornikman, H., et al. Performance simulation of pyramidal and wedge microwave absorbers. in 2009 Third Asia International Conference on Modelling & Simulation. 2009. IEEE.
- [5] Dash, G. and L. Ampyx, How rf anechoic chambers work. glendash.com, 2005.
- [6] <http://www.eccosorb.com/industries-served-medical.htm>
- [7] <http://www.fralock.com/medical/materials-technical/medical-emirfi-shielding/medical-3m-emi-absorbers/>
- [8] Chuah, B.-K.C.H.-T., Modeling of RF absorber for application in the design of anechoic chamber. Progress In Electromagnetics Research, 2003. 43: p. 273-285.
- [9] Nornikman, H., et al., Investigation of an agricultural waste as an alternative material for microwave absorbers. PIERS Online, 2009. 5(6): p. 506-510.
- [10] Severin, H., Nonreflecting absorbers for microwave radiation. IRE Transactions on Antennas and Propagation, 1956. 4(3): p. 385-392.
- [11] Emerson, W., Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through the years. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1973. 21(4): p. 484-490.
- [12] Yang, C.-F., W.D. Burnside, and R.C. Rudduck, A periodic moment method solution for TM scattering from lossy dielectric bodies with application to wedge absorber. IEEE transactions on antennas and propagation, 1992. 40(6): p. 652-660.
- [13] Nonreflecting background for testing microwave equipment. 1953, Google Patents.
- [14] Rudduck, R.C., W.D. Burnside, and C.-F. Yang, Serrated electromagnetic absorber. 1993, Google Patents.
- [15] Yang, C.-F. and W.D. Burnside, Periodic moment method solutions for scattering from arrays of lossy dielectric bodies. 1992.
- [16] Richmond, J., Scattering by a dielectric cylinder of arbitrary cross section shape. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1965. 13(3): p. 334-341.