

Elektromanyetik Girişim için Grafit/Genişletilmiş Grafit ve Serigrafi Mürekkebi Esaslı Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Kalkanlama Ölçümleri

Zeynep Ertekin⁽¹⁾, Mustafa Seçmen⁽¹⁾, Mustafa Erol⁽²⁾, Berker Çolak⁽³⁾

⁽¹⁾ Yaşar Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İzmir

zeynep.ertekin@yasar.edu.tr, mustafa.secmen@yasar.edu.tr

⁽²⁾ Dokuz Eylül Üniversitesi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

İzmir

m.erol@deu.edu.tr

⁽³⁾ İskenderun Teknik Üniversitesi

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü

Hatay

berkercolak.lee22@iste.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, elektromanyetik girişimi engellemek için serigrafi mürekkebi içerisine gömülmüş grafit ve genişletilmiş grafit esaslı yeni kompozitler geliştirilmiştir. Bu kompozitlerin kalkanlama performansları, X ve Ku bantları içerisinde araştırılmış ve dalga kılavuzu ortamında ölçülmüştür. İlk geliştirilen kompozitlerde, yüksek konsantrasyonlu genişletilmiş grafit içeren örneklerin 2 mm kalınlığı için Ku bantta (10-18.4 GHz) ortalama 60 dB seviyesinde yüksek kalkanlama elde edilmiştir. Malzeme maliyetini düşürmek için konsantrasyon seviyesi azaltılan 3 mm kalınlıklı ikincil (eniyelemiş) kompozitin X ve Ku bantlarda (8-18.4 GHz) yapılan dalga kılavuzu ölçümlerinde, TEM dalga ve elektronik birim kutusuna yönelik yapılan benzetimlerinde en az 32 dB kalkanlama değerleri bulunmuştur.

Abstract: In this study, new composites based on graphite and expanded graphite embedded in screen printing ink polymer material are developed for electromagnetic interference. The shielding performances of these composites are investigated in X and Ku bands and measured in waveguide environment. In first developed composites, high shielding of about 60 dB is obtained in Ku band (10-18.4 GHz) for 2 mm samples with high concentrations of expanded graphite. For 3 mm-thick secondary (optimum) composite, whose concentration level was decrease to reduce material cost, at least 32 dB shielding values are found in waveguide measurements in X and Ku bands (8-18.4 GHz), and in simulations done for TEM wave and electronic unit box.

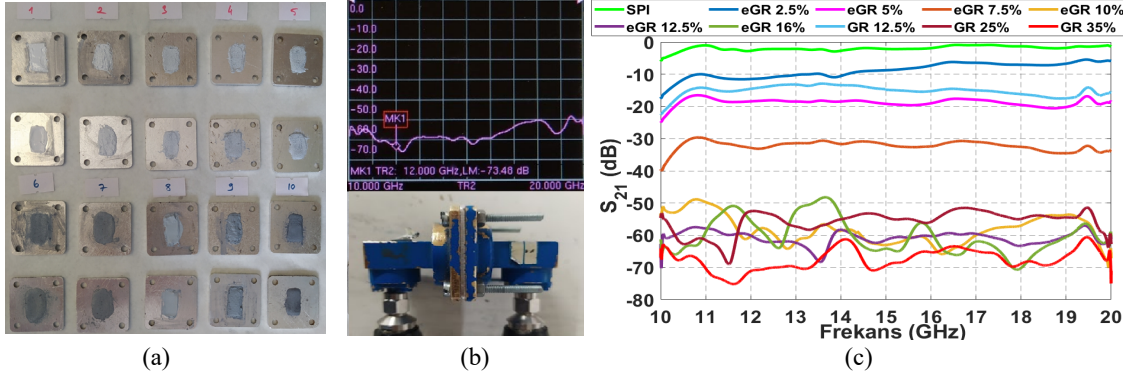
1. Giriş

Elektromanyetik dalgaların yayılımı prensibi ile çalışan elektronik cihazların yoğun kullanımı ile yeni bir kirlilik türü olan elektromanyetik girişim kavramı sıklıkla duyulur hale gelmiştir. Elektromanyetik dalgalar, kablosuz haberleşmede elektronik birim kutuları üzerinde hatalı veri veya veri kaybından başlayıp sistem çökmesine kadar uzanan olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Elektromanyetik girişimin olumsuz etkilerinden korunmaları için sinyallerin iletimini engelleyen bir kalkanlama mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Elektromanyetik girişim engelleme/kalkanlama (EMK) genellikle metal malzemelerle gerçekleştirilmektedir. Ancak metaller düşük korozyon dayanımı ve inert olmayan doğaları sebebiyle uzun ömürlü bir EMK malzemesi olmayı vaat etmemektedirler. Metaller alternatif olarak hafif ve inert yapılı polimerlere karbon siyahı ya da karbon türevleri katılarak eklenerek etkin EMK değerleri elde edilebileceği gözlemlenmiştir [1,2]. Karbon türevlerinden grafen ve karbon nanotüpler iletken ve polimerler ile uyumlu karakteristikleri nedeniyle ile dikkat çekici olmuştur. Ancak her iki katkı maddesinin de üretim prosedürlerinin zor ve pahalı olması, fayda/maliyet performansını düşük kılmaktadır. Diğer yandan genişletilmiş grafit (eGR), elektriksel ve mekanik özellikleri açısından grafen ile grafit malzemelerinin arasında yer alan bir form olarak nitelendirilebilir ve maliyeti grafene göre önemli derecede daha düşük olup DC iletkenlik değeri olan 2500 S/m ile kalkanlama potansiyeli vaat etmektedir [1,2].

Bu çalışmada, serigrafi mürekkebi içerisine grafit (GR) ve genişletilmiş grafit (eGR) tozları gömülerek elde edilen kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama değerleri dalga kılavuzu ortamında vektör ağ analizörü ile ölçülmüş ve incelenmiştir. 2 mm kalınlıklı bu malzemeler, Ku bant içerisinde (10-18.4 GHz) 60 dB seviyesine kadar yüksek EMK performansları vermiş olup bunun sonucunda maliyet/EMK dengesi gözetilen ikinci bir kompozit hazırlanmıştır. Dalga kılavuzu ölçümleri, TEM dalgası ve elektronik birim kutusu üzerinden yapılan benzetim çalışmaları, bu kompozitin 3 mm kalınlığı için X ve Ku bantta en az 32 dB EMK değeri vermiştir.

2. İlk Sentezlenen Kompozit Malzemeler ve EMK Değerleri Ölçümleri

Polimerik destek malzemesi olarak kullanılan serigrafik boyası (SPI) %40 oranında poliakrilik asit sodyum tuzu, %18 oranında Titanyum dioksit ve %3 oranında etilen gliserol içermektedir. Matrisin geri kalanı deiyonize su ile tamamlanmıştır ve su bazlı olması nedeniyle olsa çevre dostu olarak nitelendirilebilir. 5 gram serigrafik mürekkebi içerisinde, sırasıyla kütlece %12.5, % 25 ve %35 GR içeren kompozitler ile %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve saturasyon seviyesi olan %16'luk eGR içeren kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan su bazlı örnekleri kurutmak için etüv içerisinde 8 saat boyunca 85 °C'de bekletilmiş, ardından polimer özelliğini sabitlemek adına da 8 saat boyunca 250 °C'de kütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu ilk kompozit örnekleri, Ku bantındaki EMK performanslarının ölçülmesi için Şekil 1a'da görülen 2 mm kalınlıklı WR62 alüminyum tutuculara dökülmüştür. WR62 tutucular içerisine dökülen kompozitlerin EMK değerleri Şekil 1b'de gösterildiği gibi 2 adet WR62 adaptörün arasına konularak Anritsu MS2028C devre ağ analizörü (VNA) ile ölçülmüştür.



Şekil 1. Geliştirilen ilk kompozitlerin (a) fotoğrafları (b) adaptörler ve VNA ile ölçümleri (c) S_{21} değerleri.

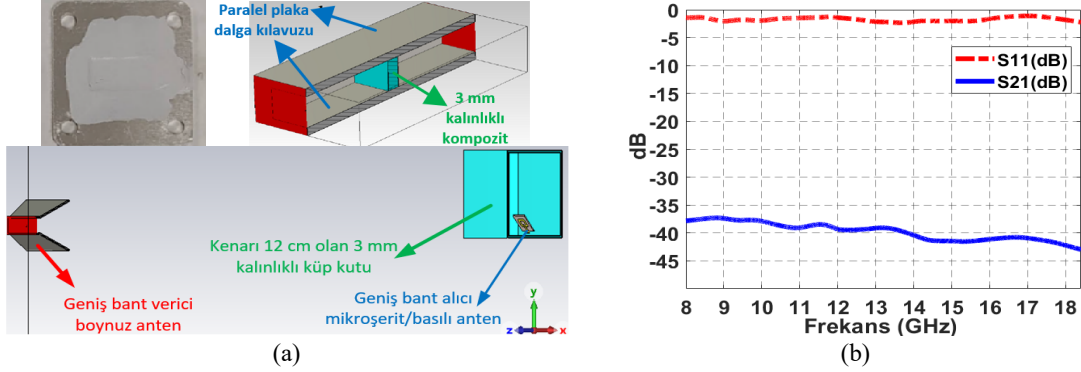
Bir malzemenin toplam elektromanyetik kalkanlama (EMK_{top}) değeri, denklem (1)'de verildiği üzere elektromanyetik dalganın yansınması (RL), soğurulması (AL) ve çoklu dahili yansımaların (MIR) dB cinsinden toplamına eşit olup Şekil 1b'deki gibi bir dalga kılavuzu ortamında bu değer, $-S_{21}(\text{dB})$ 'ye eşittir [3].

$$EMK_{top}(\text{dB}) = RL(\text{dB}) + AL(\text{dB}) + MIR(\text{dB}) = 10 \log RL + 10 \log AL + 10 \log MIR = -S_{21}(\text{dB}) \quad (1)$$

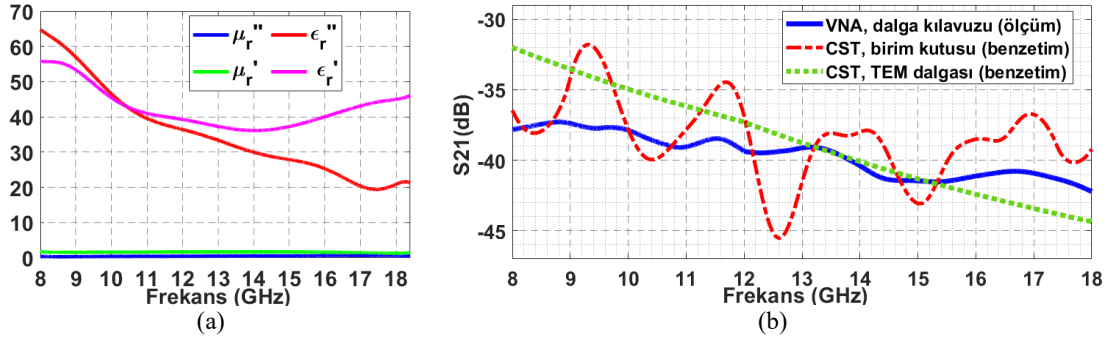
Üretilmiş kompozitlere ait ölçülmüş iletim katsayıları ($S_{21}(\text{dB})$ değerleri) Şekil 1c'de verilmiştir. Denklem (1) ile uyumlu bir şekilde GR ve eGR konsantrasyon yüzdeleri arttıkça toplam EMK değerlerinin arttığı görülmektedir. Ku bandında %12.5'lük GR ve eGR'nin S_{21} değerleri karşılaştırıldığında sırasıyla ortalama 15 dB ve 60 dB'lik EMK değerleri elde edilmiştir. eGR, grafitte kıyasla yüksek olan yüzey alanı sayesinde daha çok elektron hareketliliğine imkan vermekte ve bunun sonucu olarak daha fazla iletkenlik göstermektedir. Bununla ilişkili olarak GR esaslı kompozitlerin kalkanlama performansının eGR grafit esaslı kompozite yaklaşması için yaklaşık 2 ila 3 kat daha fazla katkı maddesi içermesi gerektiği Şekil 1c'deki grafiklerinden görülmektedir.

3. Eniyilenmiş (İkinci) Kompozit Malzeme ve Benzetim/Ölçün EMK Değerleri

Şekil 1c'deki EMK değerleri incelendiğinde, her ne kadar eGR esaslı kompozitler aynı katkı yüzdesindeki GR esaslı kompozitlere göre daha iyi sonuçlar (ya da aynı EMK değerleri için daha az kütleli, hafif malzemeler verse de) maliyeti GR'den fazladır. Bu sebeple, ikincil kompozit malzeme için eGR katkısı üzerinden gidilmiş olsa da maliyet ve EMK değerlerini dengede tutacak şekilde bir eniyileme yapılmıştır. Çoğu elektromanyetik girişim engelleme uygulaması için en az 30 dB EMK değerinin yeterli olduğu düşünüldüğünde, Şekil 1c üzerinden konsantrasyon seviyesi en az %7.5 eGR olan bir kompozit düşünülmüştür. Ölçüm bandı olarak X bantında eklenmesi ve bu banttaki EMK değerlerinin Ku banttan düşük olacağı öngörüsü ve bunun yanında Şekil 1c'deki %7.5 eGR'den %10 eGR'ye olan hızlı EMK değer artışları düşünülerek ikinci (optimize) kompozit, kalınlığı 3 mm'ye çıkartılarak ve konsantrasyon seviyesi %8 eGR olacak şekilde tekrar üretilmiştir. Bu ikincil kompozit, WR62'a ek olarak WR90 (22.86 mm × 10.16 mm kesit alanlı) tutucunun da içine dökülmüş ve Şekil 2a'daki gibi üretilmiş olup S_{11} ve S_{21} değerleri, VNA ve adaptörler ile X bant (8-12.4 GHz) ve Ku bantta (12-18.4 GHz) ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 2b'de verilmiş olup dalga kılavuzu ortamında en az 35 dB EMK değeri elde edilmiştir. Üretilen kompozitlerin EMK uygulamalarında, TE_{10} modu içeren dalga kılavuzu ortamı yerine TEM dalgası için serbest uzayda kalkanlama yapacağı düşünülerek Şekil 2a'daki CST Microwave Studio'da yapılan benzetimlerle ikincil kompozitin TEM dalgası ve elektronik birim kutusu için EMK değerleri bulunmuştur. Ölçülmüş S parametreleri (genlik, faz) ve Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritması [4] kullanılarak kompozitin X ve Ku bantları için Şekil 3a'daki bağıl elektriksel ve manyetik geçirgenlik katsayıları (ϵ_r ve μ_r) elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) Maliyet/EMK dengesi gözetilen ikincil kompozitin fotoğrafı, TEM dalgası ve elektronik birim kutusu (serbest uzay) için CST benzetimleri (b) X ve Ku bantta (8-18.4 GHz) VNA S-parametre ölçüm değerleri.



Şekil 3. Geliştirilen ikinci kompozitin (a) μ_r ve ϵ_r değerleri (b) VNA ölçüm ve CST benzetim S_{21} (dB) değerleri.

Bu katsayılar, Şekil 2a'da TEM modlu paralel plaka dalga kılavuzundaki 3 mm kalınlıklı malzemeye aktarılarak kompozitin TEM dalgası performansı; 12 cm kenarı olan ve 3 mm kalınlıklı bir küp kutuya aktarılarak serbest uzay elektronik birim kutu performansı bulunmuştur. Birim kutusunda, kazancı 16-19 dBi olan geniş bant boynuz anten, kutuya 1 m mesafeye konmuştur. Kutunun içerisine [5]'teki anten modifiye edilerek 8-18.4 GHz'de tepe kazancı 6.2 dBi olan 1.5 cm uzunluğunda bir yama/basılı anten konulmuş ve kutu var/yok durumlarındaki S_{21} (dB) değerlerinin farkından birim kutu EMK performansı bulunmuştur. Şekil 3b'den eniyelenmiş kompozitin EMK değeri, TEM ve birim kutu için 8-18.4 GHz'de en az 32 dB'dir (ortalama 38 dB).

4. Vargı

Bu çalışmada serigrafi mürekkebi içerisindeki genişletilmiş grafit parçacıklarının (eGR) elektromanyetik girişimi engelleme performansı, ilk kez araştırılmıştır. Yüksek konsantrasyonlu eGR içeren kompozitler, Ku bantta ve 2 mm kalınlık ile 60 dB'ye kadar EMK değerleri vermiştir. Maliyet/EMK dengesi gözetilen daha düşük eGR yüzdeleri kompozitin EMK değerleri ise, X ve Ku bantlar boyunca dalga kılavuzu ölçümlerinde, TEM (serbest uzay) birim kutu benzetimlerinde ortalama 38 dB olarak elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 122E616 no'lu proje ve 2211C programı kapsamında desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Wei B. ve Yang S., "Polymer composites with expanded graphite network with superior thermal conductivity and electromagnetic interference shielding performance", Chemical Eng. Journal, cilt.404, s.126437, 2021.
- [2] Kumar R., Sahoo S., Joanni E., Singh R.K., Tan W.K., Kar K., Matsuda A. "Recent progress on carbon based composite materials for microwave electromagnetic interference shielding", Carbon, cilt.177, s. 304-331, 2021.
- [3] Jaroszewski M., Thomas S. ve Rane A. V., Advanced Materials for Electromagnetic Shielding: Fundamentals, Properties, and Applications, New Jersey, A.B.D., 2018.
- [4] Weir W. B., "Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies", Proceedings of the IEEE, cilt.62 no. 1, s.33-36, Ocak 1974.
- [5] Chaudhary, A. K. ve Manohar M., "Design and analysis of a compact wideband monopole patch antenna for future handheld gadgets", Progress in Electromagnetics Research C, cilt.109, s.227-241, 2021.