

Amorphous Metal Powder를 이용한 항만 물류 RFID 시스템용 전파흡수체 개발

최동수* · 유건석** · 김동일†

*,**,† 한국해양대학교 전파공학과

Development of EM Wave Absorber for Port Logistics RFID System by Using Amorphous Metal Powder

Dong-Soo Choi* · Gun-Suk Yoo** · Dong-Il Kim†

*,**,† Department of Radio communication Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 본 논문에서는 항만 물류 시스템에서 사용하는 중심주파수 433 MHz에서 동작하는 전파흡수체를 설계·개발하였다. 먼저 자성손실 재료인 AMP (Amorphous Metal Powder)와 지지재인 CPE (Chlorinated Polyethylene)를 이용하여 AMP : CPE의 조성비가 각각 80 : 20 wt.%와 85 : 15 wt.%의 전파흡수체 샘플을 제작한 후, 입력임피던스를 측정하여 샘플의 재료정수를 계산하고 시뮬레이션에 의하여 최적의 전파흡수체를 설계하였다. 그 결과 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%의 조성비에 두께 5.5 mm일 때 최적의 전파흡수특성이 얻어짐을 확인하고, 실제 제작하여 측정된 결과 433 MHz 주파수대역에서 17.5 dB의 흡수능이 얻어졌으며, 이는 본 연구에서 목표로 하는 15 dB 보다 우수한 결과이다.

핵심용어 : RFID, 전파흡수체, AMP (Amorphous Metal Powder), 흡수능, 재료정수

Abstract : In this paper, we developed an EM wave absorber having the absorption ability of more than 15 dB for port logistics RFID system by using AMP. Firstly, we fabricated EM wave absorber by using AMP and CPE(Chlorinated Polyethylene) with different composition ratios 80 : 20 wt.% and 85 : 15 wt.%. Secondly, we designed the optimum EM wave absorber using the calculated material constants obtained from measured input impedance of the samples. Therefore, EM wave absorber with absorption ability of 17.5 dB at 433 MHz when composition ratio of AMP : CPE = 85 : 15 wt.% and thickness of 5.5 mm.

Key words : RFID, EM wave absorber, AMP (Amorphous Metal Powder), absorption abilities, material constants

1. 서 론

개인용 PC, 휴대전화를 비롯한 무선통신기기 등 각종 전자·정보기기의 고속화 및 소형·경량화 추세에 따라 동작주파수의 고주파화, 회로부품의 고집적화 및 고밀도화가 급속히 이루어지는 동시에 발생하는 전자파 노이즈의 주파수도 GHz 대역으로 높아지고 있다. 이에 따라서 전자파 노이즈에 의한 내부 반사, 회로 기관간의 상호 간섭 및 주변 전자기기와의 간섭 등의 심각성도 크게 증대되어 다양한 EMI/EMC 대책들이 강구되고 있으며, 문제를 일으키는 발생원으로부터의 전자파를 원천적으로 흡수할 수 있는 전파흡수체의 사용이 확대되고 있다. 특히 정부의 IT839 정책 중 3대 인프라의 하나인 USN 기술이 현재 기술 수준에서 유비쿼터스 사회 실현을 가능케 할 가장 핵심기술로 주목받고 있다. 이러한 USN 기술에서 가장 핵심이자 기본이 되는 것이 바로 RFID 기술이다.

RFID (Radio Frequency IDentification)란 라디오 주파수를 이용하여 라벨링 (labelling)과 무선인식을 가능하게 하는 무선 인식장치기술을 통칭하는 것으로 일반적으로 태그(tag)에 저장된 데이터를 리더 (reader)를 이용하여 수집한 뒤 소프트웨어를 이용하여 해당 정보를 해석하는 기술이다. RFID는 비접촉식 (contact-less), 비가시선 (non-line-of-sight)의 데이터 수취기술로서 초소형 IC칩에 식별 정보를 입력하고 무선주파수를 이용한다. 이 칩을 지닌 물체나 동물, 사람 등을 판독, 추적, 관리할 수 있으며 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 기반 기술의 하나이다. 최근 급속히 발전하고 있는 RFID 기술의 대표적인 이용 사례로는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 항만에서의 사용을 들 수 있다. 실제로 미국 및 유럽의 항만에서는 넓은 작업장에 산재한 컨테이너와 각종 장비들에 433MHz 능동형 태그를 부착하고, 이를 기반으로 게이트 자동화, 컨테이너 선적 및 하역의 자동화, 각종 장비의 위치 파악 및 관리를 수행하고 있다(이 등, 2005).

* 정회원, iamjustok@nate.com 051)410-4932

* 정회원, microwavel@hanmail.net 051)410-4932

† 교신저자 : 김동일(중신회원), dikim@hhu.ac.kr 051)410-4314

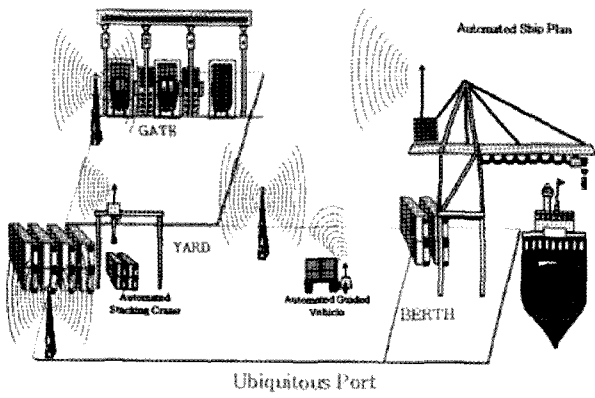


Fig. 1 RFID systems for port logistics.

그러나 RFID 리더와 Tag간의 통신을 함에 있어서 주위 환경이 많은 영향을 끼친다. 특히 항만 물류 시스템에서 사용되는 RFID 시스템의 경우 주위의 금속물체로 인한 다중반사의 영향은 직접파와 반사파의 위상이 일치할 경우 교신 가능한 영역을 증가시켜 불필요한 Tag 인식을 일으키며, 직접파와 반사파의 위상이 상쇄될 경우 교신 가능한 영역을 감소시켜 평상시 인식되고 있는 Tag를 인식할 수 없게 한다(박 등, 2008; 윤 등, 2009). 또한 Tag가 금속 물체에 부착될 경우, 금속 표면에서 신호의 반사와 경계 조건에 의하여 수신 전력이 감소되고, 금속 물체와 Tag 안테나 사이의 기생 커패시턴스 성분 때문에 안테나의 특성이 변화되어 통신 거리가 급격하게 줄어든다(박 등, 2009).

이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 방법들이 제시되고 있으나, RFID 리더와 Tag간의 통신 환경에 적합한 전파흡수체를 사용하거나 Tag 안테나와 금속 물체 사이에 전파흡수체를 부착하여 불필요한 간섭을 막음으로써 원천적으로 다중반사에 의한 페이딩이나 금속물체에 의해 통신 거리가 짧아지거나 오작동을 일으키는 문제를 해결할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 항만 물류 RFID 시스템용 전파흡수체를 개발하기 위하여, 자성손실재료인 AMP를 지지체인 CPE와 혼합하여 각각 80 : 20 wt.%와 85 : 15 wt.%의 전파흡수체 샘플을 제작하고, 각 조성비별 샘플로부터 재료정수 값을 계산하여 시뮬레이션 한 후 최적의 조성비 샘플로부터 이론적 설계를 하였다. 그리고 설계 된 전파흡수체를 바탕으로 항만 물류 RFID 시스템용 전파흡수체를 실제 제작하여 서로의 전파흡수능을 비교 및 분석 하였다.

2. 전파흡수체 설계이론 및 제작과정

2.1 전파흡수체 설계이론

Fig. 2와 같이 두께 l 인 전파흡수체가 도체판에 놓여 있는 경우 입사파와 반사파에 대한 반사 손실 (Return Loss: RL)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Kim et al., 2006; Snoek, 1948).

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z_{in} - 1}{z_{in} + 1} \right| \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

여기서 z_{in} 은 정규화 입력 임피던스이다.

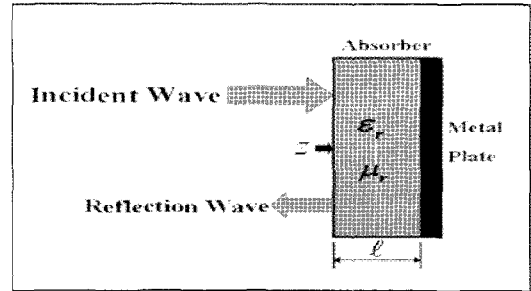


Fig. 2 Single layered EM wave absorber

전파흡수체의 입력임피던스 Z_{in} 은 식 (2)와 같이 주어지며, 전파흡수체의 특성임피던스 Z_c 와 전파정수 γ 는 식 (3) 및 식 (4)와 같이 나타낸다(Naito, 1987).

$$Z_{in} = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh \gamma l}{Z_c + Z_L \tanh \gamma l} \quad (2)$$

$$Z_c = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (3)$$

$$\gamma = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (4)$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 파장이며, ϵ_r 은 복소비유전율, μ_r 은 복소비투자율을 나타낸다.

식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하여 평면파의 수직입사에 대한 매질 내 정규화 입력임피던스를 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \quad (5)$$

반사가 없는 완전한 전파흡수체로 되기 위한 조건은 $\Gamma = 0$ 이므로 식 (5)의 정규화 임피던스가 1이 되는 것이다. 이를 무반사 조건식이라 하며, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 이 식을 이용하여 전파흡수체의 설계가 가능하다(김, 2006).

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) = 1 \quad (6)$$

2.2 전파흡수체 제작과정

본 논문에서는 전파흡수체의 주재료로 자성 손실재료인 AMP를 사용하였고 그 성분은 $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ at.%이며, 지지재료는 CPE를 사용하였다. Fig. 3에 전파흡수체 샘플의 제작 과정을 나타낸다. 먼저 AMP와 CPE의 조성비를 80 : 20

wt.%, 85 : 15 wt.%로 하고, 각각을 믹서를 이용하여 혼합한 후 실험실에서 자체 제작한 Open roller를 이용하여 두께 2 mm, 4 mm의 Sheet형 전파흡수체 샘플을 제작하였다(Moon et al., 2003).

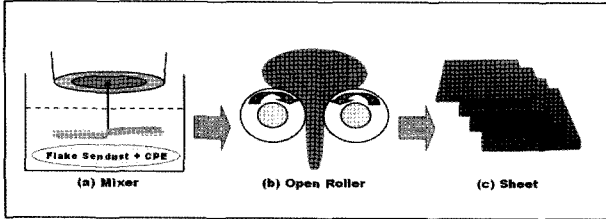
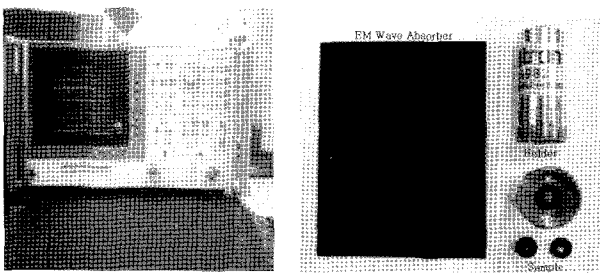


Fig. 3 Fabricating process of the EM wave absorber samples

3. 전파 흡수능의 측정과 재료정수의 계산

3.1 전파흡수능 측정

Fig. 4(a)와 같이 제작한 샘플을 HP사의 Fig. 4(b)8753D Network Analyzer에 연결하여 Fig. 5와 같은 시스템으로 반사 계수를 측정하였다. Fig. 6은 조성비 AMP : CPE = 80 : 20 wt.%, 두께 2 mm일 때 433 MHz 주파수대역에서 약 2 dB의 흡수능을 보이고, 두께가 4 mm일 때 433 MHz 주파수대역 약 5 dB의 흡수능을 보여준다. Fig. 7은 조성비가 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%인 경우에 두께 2 mm일 때 433 MHz 주파수대역에서 약 4.5 dB의 흡수능을, 4 mm일 때 약 7 dB의 흡수능을 보였다. 흡수능을 살펴보았을 때 각 조성비별 두께가 두꺼운 샘플의 전파흡수능이 433 MHz 주파수대역에서 더 나은 흡수능을 보였다.



(a) Samples and sample holders (b) HP8753D

Fig. 4 Measurement equipments.

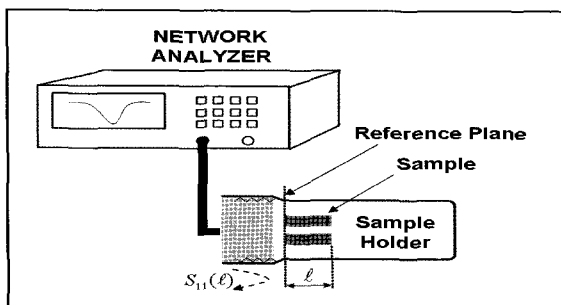


Fig. 5 Measurement system

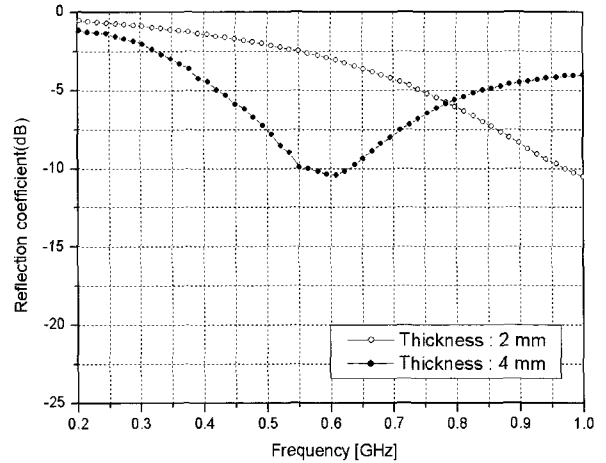


Fig. 6 Reflection coefficients of EM wave absorber when composition ratio is AMP : CPE = 80 : 20 wt.%.

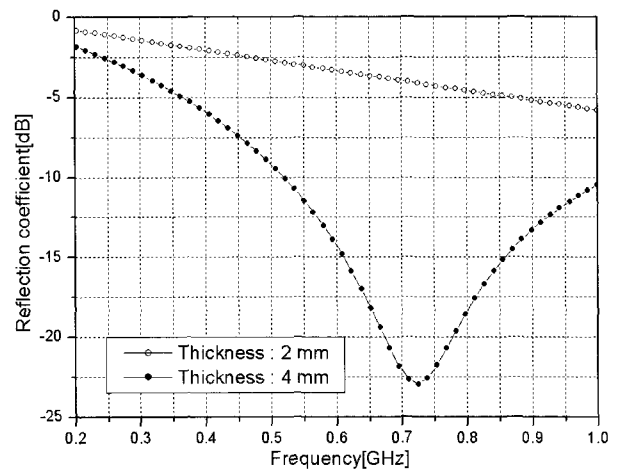


Fig. 7 Reflection coefficients of EM wave absorber when composition ratio is AMP : CPE = 85 : 15 wt.%.

3.2 재료정수의 계산

측정된 흡수능을 이용하여 각 샘플의 입력임피던스를 계산하고 Fig. 8과 같은 $l-2l$ 법으로 각 샘플의 복소비유전율과 복소비투자율을 계산하였다(Hashimoto et al., 2004).

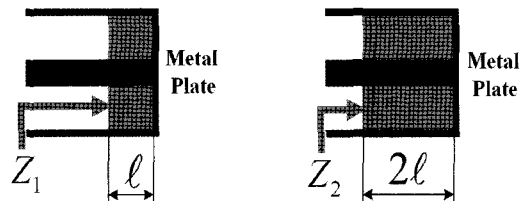


Fig. 8 The $l-2l$ method.

Fig. 8에서 정규화 된 입력임피던스 z_1 와 z_2 를 식으로 나타내면 식 (7), (8)과 같다.

$$z_1 = z_0 \tanh(\gamma l) \tag{7}$$

$$z_2 = z_c \tanh(\gamma_c 2l) \quad (8)$$

$$= \frac{2z_c \sinh(\gamma_c 2l)}{1 + \tanh^2 \gamma_c 2l} = \frac{2z_1}{1 + \tanh^2 \gamma_c 2l}$$

식 (3), (4)를 이용하여 z_c 와 γ_c 를 정리하면 식 (9), (10)과 같다.

$$z_c = z_1 \sqrt{\frac{z_2}{2z_1 - z_2}} \quad (9)$$

$$\gamma_c = \frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2z_1 - z_2}{z_2}} \quad (10)$$

식 (3), (4), (9), (10)으로부터 복소비유전율과 복소비투자율은 아래와 같이 계산되어진다(김, 2006).

$$\epsilon_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\gamma_c}{z_c} \quad (11)$$

$$\mu_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot z_c \cdot \gamma_c \quad (12)$$

Fig. 9(a)는 AMP : CPE = 80 : 20 wt.%인 전파흡수체의 입력임피던스를 측정하여, 식 (11)과 (12)에 의하여 계산한 각 샘플의 복소비 유전율과 복소비투자율 (electric loss tangent = ϵ''/ϵ' , magnetic loss tangent = μ''/μ')을 나타낸다. Fig. 9(b)는 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%인 경우를 나타낸다. AMP의 경우 자성 손실재료로써 복소비투자율의 허수항이 흡수능에 큰 영향을 끼치므로 $\tan\delta\mu$ 의 loss tangent가 1보다 큰 구간에서 전파흡수능이 뛰어나다. Fig. 9의 (a)와 (b)를 비교해 보았을 때 433 MHz 주파수대역에서 Fig. 9(b)의 magnetic loss tangent 값이 비록 1보다 크지는 않지만 Fig. 9(a)보다 약간 더 높은 값을 가짐을 알 수 있고, 433 MHz대역이 최대 흡수능을 가지는 지점으로 전파흡수체를 설계 했을 때 AMP : CPE의 조성비가 85 : 15 wt.%일 때 최적의 전파흡수체가 설계될 수 있는 유리한 조건임을 예측할 수 있다.

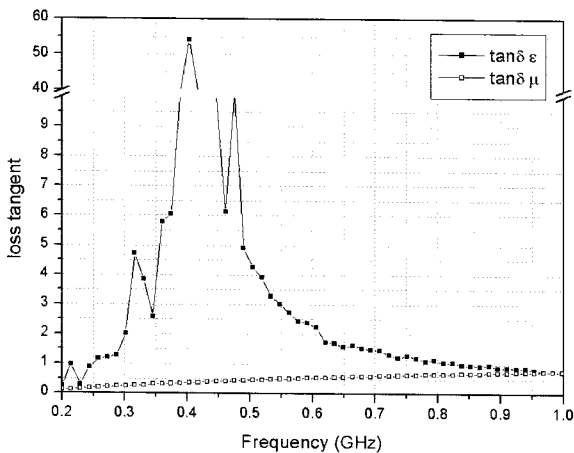


Fig. 9(a) Loss tangent of EM wave absorber with AMP : CPE = 80 : 20 wt.%.

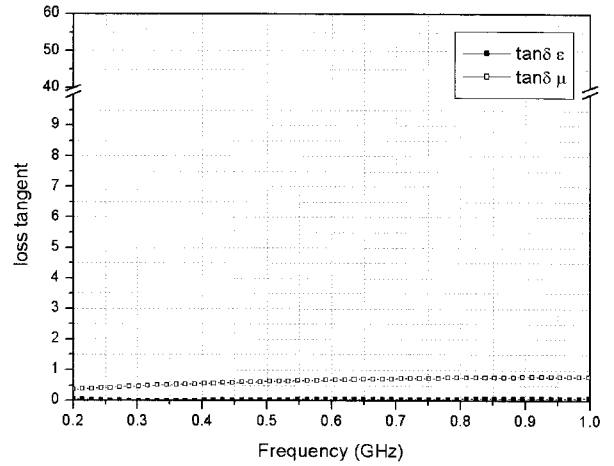


Fig. 9(b) Loss tangent of EM wave absorber with AMP : CPE = 85 : 15 wt.%.

4. 시뮬레이션 결과와 측정결과 분석

4.1 시뮬레이션 결과

Fig. 10은 433 MHz 주파수대역에 최대흡수능을 가지도록 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다. AMP : CPE = 80 : 20 wt.%인 경우 433 MHz 주파수대역에서 두께가 10.2 mm 일 때 흡수능이 36 dB로 예측 되었으며, 조성비가 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%인 경우 두께가 5.5 mm일 때 흡수능이 22.5 dB로 예측 되었다. 80 : 20 wt.%의 조성비를 가질 때는 아주 뛰어난 흡수능을 나타내지만 두께가 10.2 mm로 너무 두꺼워 실제로 제작하거나 현장에서 적용할 때 어려움이 많아 목표한 주파수대역에서 적합하다고 할 수 없으며, 조성비 85 : 15 wt.%인 경우 80 : 20 wt.%인 경우보다 흡수능은 떨어지지만 목표한 15 dB 보다 뛰어난 흡수능을 보이고 있으며, 두께 또한 5.5 mm로 더 얇아서 목표한 주파수대역에서 적합한 전파흡수체임을 알 수 있다.

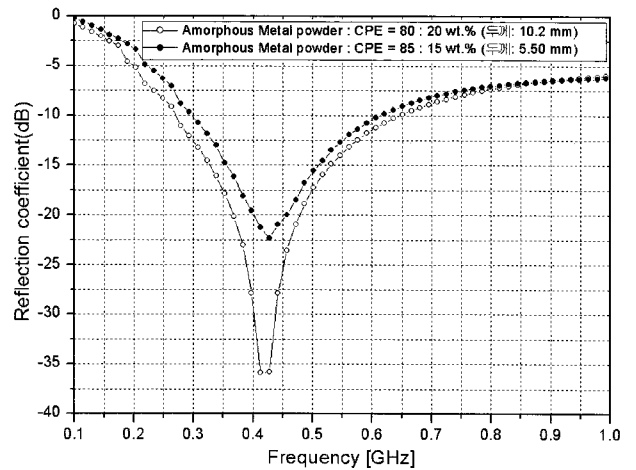


Fig. 10 Simulated results of absorption abilities.

4.2 실측치와 시뮬레이션 결과의 비교

Fig. 11은 조성비 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%, 두께 5.5 mm로 제작한 전파흡수체 샘플의 흡수능과 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내고 있다. 실제 측정 했을 때 흡수능이 최대가 되는 주파수대역이 시뮬레이션 결과와 비교해서 약 10 MHz 이동하였지만 대체적으로 시뮬레이션 결과와 유사한 형태로 측정이 되었으며 433 MHz 주파수대역에서 17.5 dB의 흡수능을 나타내고 있다.

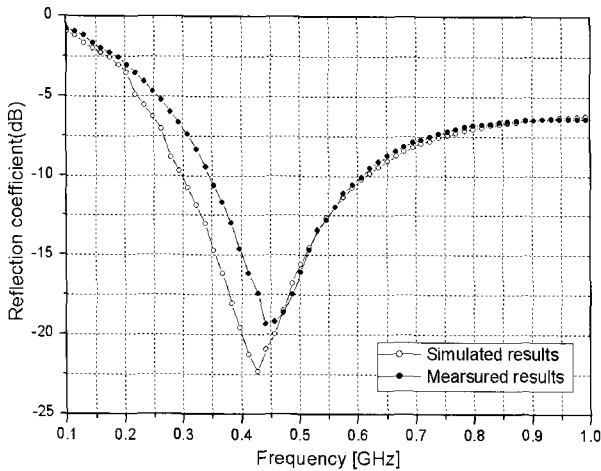


Fig. 11 Comparison of simulated results and measured results

5. 결 론

본 논문에서는 최근 사용되는 항만 물류용 RFID 시스템에 적용할 수 있는 전파흡수체를 설계 및 개발 하였다. 항만 물류용 RFID 시스템은 주위의 전파환경과 금속물체들로 인하여 통신 거리가 감소하거나 오작동을 일으킬 우려가 있고, 이를 예방하기 위하여 원천적으로 불요전자파를 차단하는 전파흡수체를 적용하여 이 문제들은 해결할 수 있다. 전파흡수체의 조성비가 AMP : CPE = 85 : 15 wt.%이고 두께 5.5 mm일 때 주파수 433 MHz에서 시뮬레이션에 의한 설계 예측치 22.5 dB인 전파흡수체를 실제로 제작하여 측정한 결과 17.5 dB의 전파흡수능이 얻어졌으며, 이는 목표한 15 dB 이상의 전파흡수능이므로 RFID 시스템에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 중소기업청과 부산광역시가 지원하는 2008년도 산학협력실지원사업과 교육과학기술부의 2단계 BK21 사업지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] 김동일(2006), 전파흡수체 공학, 대영사.

[2] 박수훈, 김동일, 윤상길, 유건석(2009), "RFID 시스템의 통신 거리 증대를 위한 전파흡수체 개발," 한국전자과학회 논문지, 20권, 3호, pp.222-229.

[3] 박수훈, 최창목, 송영만, 김동일, 정지원, 김기만(2008), "UHF대역 RFID 리더 간섭방지용 전파흡수체 개발," 한국항해항만학회지, 32권, 5호, pp.349-353.

[4] 윤상길, 김대훈, 박수훈, 김동일(2009), "2.4GHz 무선LAN 전자파 환경대책용 전파흡수체 개발," 한국항해항만학회지, 3권, 3호, pp.193-197.

[5] 이은주, 성낙선, 최길영, 표철식(2005), "항만 물류용 능동형 RFID 기술," 전자과학기술, 제16권, 제3호, pp.26-32.

[6] Hashimoto, O., Jōhō, D., and Gakkai, T.(2004), "Technologies & Applications of Wave Absorber", CMC Publication co.

[7] Kim, D. H., Kim, D. I., Choi, C. M., and Son, J. Y. (2006), "A Study on Design and Fabrication of Complex Type EM Wave Absorber with Super Wide-band Characteristics," International Journal of Navigation and Port Research., vol. 30, no. 2, pp. 161-166.

[8] Moon, S. H., Shin, S. J., Song, J. M., Kim, D. I., and Kim, K. M. (2003), "Development of composite a ferrite EM wave absorber for GHz frequency," journal of Korea Electromagnetic Engineering Soc., vol. 14, no. 12, pp. 1329-1334.

[9] Naito, Y. (1987), "Electromagnetic Wave Absorbers", New Ohm.

[10] Snoek, J. L. (1948), "Dispersion and Absorption in Magnetic Ferrite at Frequency above one Mc/s," Physica, vol. 14, pp. 207-217.

원고접수일 : 2010년 1월 28일
 심사완료일 : 2010년 2월 24일
 원고채택일 : 2010년 2월 24일