

Research Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2017.21.1.001>

구리입자/메타아라미드 수지 복합재료 도포 스테인리스 철판의 적외선 방사 특성

오초롱^a · 김선미^b · 박규상^b · 최성만^{b,*} · 이대수^a · 명노신^c · 김원철^d

Infrared Emissivity of Stainless Steel Coated with Composites of Copper Particle and m-Aramid Resin

Chorong Oh^a · Sunmi Kim^b · Gysang Park^b · Seongman Choi^{b,*} · Dai Soo Lee^a ·
Rhoshin Myoung^c · Woncheol Kim^d

^aDivision of Semiconductor and Chemical Engineering, Chonbuk National University, Korea

^bAerospace Engineering Department, Chonbuk National University, Korea

^cAerospace Engineering Department, Gyeongsang National University, Korea

^dAgency for Defense Development, Korea

*Corresponding author. E-mail: csman@jbnu.ac.kr

ABSTRACT

As a part of studies to lower the infrared (IR) emissivity from the surface of exhaust nozzle in the turbo jet engine, stainless steel plate was coated with copper particle/meta-aramid resin composites and the IR emissivity of the plate were investigated. Binders of filler particles based on synthetic polymers generally undergo thermal decomposition before 300°C. It was found that the meta aramid resin was thermally stable after the test at 320°C, confirming the excellent thermal stability. Contents of copper particles in the composites were varied from 0 to 70% by volume. It was observed that the copper particle/meta aramid resin composites showed good adhesion after the tests at 320°C. The specimen coated with the composite containing 50 vol% of copper particles showed the lowest IR emissivity, 0.6, at 320°C.

초 록

항공기 엔진 배기노즐 표면으로부터 적외선 방사를 낮추기 위한 연구의 일환으로 스테인리스 스틸 표면을 구리입자/메타 아라미드 수지 복합재료로 도포하여 320°C에서 적외선 방사율을 측정하였다. 일반적인 충전제 입자 바인더 합성수지의 경우 300°C이전에서 대부분 열분해를 일으키지만 메타 아라미드 수지는 320°C에서도 열안정성을 보여 구리입자 분산 내열성 매트릭스 수지로 적합한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 첨가한 구리입자 함량은 부피기준으로 0 ~ 70% 까지 변화시켰다. 구리입자/메타아라미드 복합재료 수지로 도포된 시편은 320°C에서 적외선 방사율 측정 실험 후에 접착력이 우수하였다. 그리고 구리입자 함량이 부피 기준으로 50%인 구리입자/메타 아라미드 수지를 도포함으로써 시편의 320°C 적외선 방사율을 0.6 까지 낮출 수 있었다.

Key Words: Jet Engine(제트엔진), Exhaust Nozzle(배기노즐), Infrared Emissivity(적외선 방사율), Meta Aramid Resin(메타 아라미드 수지), Copper Particle(구리입자)

Received 26 September 2016 / Revised 18 November 2016 / Accepted 22 November 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

1. 서 론

열은 전도, 복사, 대류의 세 가지 형태로 이동한다. 이 중 복사에너지는 절대 온도 0 K 이상의 모든 물체에서 방출한다. 적외선 영역의 복사 에너지는 열상장비를 통해 가시적으로 물체의 온도 분포를 확인할 수 있으며 이를 통해 탐지하고 추적표적을 탐지하고 포착할 수 있어 군사적 탐지와 추적을 목적으로 많이 이용된다[1,2].

‘방사율(Emissivity)’이란 물체가 임의의 특정 파장을 갖는 에너지를 조사하였을 때 흡수, 투과 및 반사하는 비율을 의미한다. 적외선 방사율은 적외선 파장 영역에 있는 적외선 에너지의 흡수 정도를 나타내는 것으로 적외선 파장 영역 중 3에서 5 μm 영역과 8에서 12 μm 의 적외선 영역은 우수한 대기 투과 특성을 나타내어 적외선 표적 탐지에 주로 사용된다[3,4].

일반적으로 저 방사 코팅은 은(Ag), 구리(Cu), 금(Au) 등과 같이 적외선 영역에서의 방사율이 낮은 금속을 사용하며, 실란 화합물들을 이용한 표면 처리를 통하여 성능 개선을 위한 노력이 보고되었다[5-7]. 본 연구에서는 경제성을 고려하여 구리 입자를 바인더에 첨가한 복합 재료를 스프레이 코팅 공정을 통하여 엔진 노즐과 동일한 재질의 철판에 도포하여 적외선 방사 특성을 고찰하였다. 도포 재료의 바인더로 우수한 기계적 물성과 내구성 때문에 폴리우레탄 수지, 아크릴수지, 그리고 테프론 공중합체 등이 주로 사용된다. 이러한 유기 바인더의 경우 일반적으로 300 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서는 열분해를 보여 고온에서 사용이 곤란하다. 그리고 특징적인 관능기에 의해 높은 적외선 방사율을 갖는 편이다[8,9]. 따라서 고온의 엔진 노즐 코팅에 적용할 수 있을 것으로 기대되는 메타 아라미드 수지를 바인더로 사용하였다. Fig. 1에는 메타 아라미드 수지의 화학 구조를 나타내었다. 일반적으로 아라미드 수지는 방향족 구조로 이루어져 액정 거동을 보이며, 내열성이 우수하여 항공기 내장재 제조에 사용하는 소재이다. 파라 아라미드는 황산에만 녹는 성질을 보여 철판에 도포하는 것이 어렵지만 메타 아라미드는 dimethyl acetamide (DMAC)에 용해되어 도포가 용이한 복합재료 코팅재 제조가 가능한 점을 이용할 수 있었다.

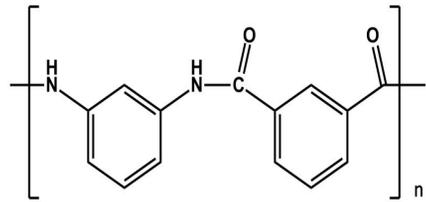


Fig. 1. Chemical structure of meta aramid.

2. 실험

2.1 실험재료

구리/메타 아라미드 코팅 재료를 제조하기 위해 사용된 재료들과 특성을 Table 1에 명시하였다. 구리 분말(Cu, 20 μm)은 아세톤(Acetone)으로 세척 후 건조하여 사용하였다. 메타 아라미드수지는 삼양사의 시제품약을 제공받아 사용하였으며, 고형분이 중량 기준 17%이고 용매는 DMAC로 이루어진 것이었다. 본 연구에서는 구리 입자를 첨가함에 따라 점도가 증가하는 경우 추가로 DMAC를 첨가하여 도포성을 조절하였다. 스테인레스 스틸 판에 코팅 소재를 도포하기 전에 이물질들은 아세톤으로 세척 후 사용하였다.

2.2 실험방법

구리 분말의 세척을 위하여 아세톤을 1 리터 용량의 비커에 구리/아세톤 혼합물을 0.1 g/ml 농도로 투입한 후 초음파장치(Ultrasonicator - 50 kHz)를 이용하여 300 watt로 1시간 동안 진동으로 세척하였다. 구리 분말을 여과 분리한 후 상온에서 감압하에 하루 동안 건조시켰다. 메타 아라미드에 분산된 구리 분말 함량은 부피 기준으로 0 ~ 70로 조절하여 구리입자들의 영향을 고찰하였다. 한편 혼합물들의 기포를 효과적으로 제거하기 위해서 고점도 혼합물 탈포 장치(Paste Mixer-1000 rpm)에서 혼합하였다. 얻어진 혼합물은 닥터 블레이드를 이용하여 철판면에 도포하였다. 질소 분위기 하에서 2일 동안 상온 건조를 진행 한 후 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 감압하여 하루 동안 건조시켰다. 실험 조건에 따른 샘플 코드와 조성은 Table 2에 명시하였다.

Table 1. Raw Materials for the Cu/Meta Aramid Composite.

Materials	Characteristics	Supplier
Copper (Cu) particle	20 μm	Avention
Meta aramid resin	Solid content 17%	Samyangsa
Dimethyl acetamide	98%	Dae-Jung

Table 2. Sample Code for Cu/Meta Aramid Composite.

Sample code	Composition (v/v)	
	Cu	Meta aramid
Control (Binder)	0	10
C-10	10	90
C-50	50	50
C-70	70	30

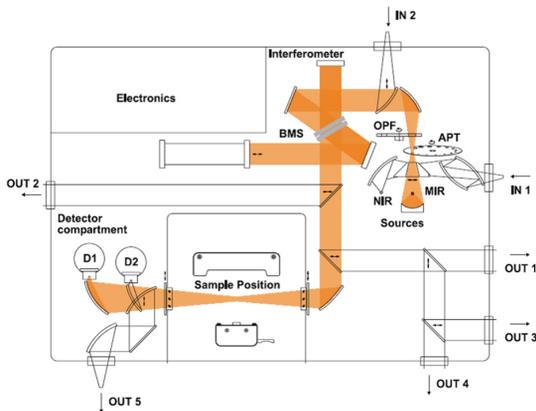


Fig. 2 Layout of a FT-IR spectrometry for the measurement of emissivity of samples.

2.3 물성조사

구리 분말의 크기와 구리 분말과 메타 아라미드 복합재료의 표면 및 단면을 확인하기 위해 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM)를 사용하였다. 코팅 재료의 열안정성을 확인하기 위해 열중량 분석(Thermogravimetric Analysis: TGA, TA Q600)을 이용하였고 방사율 측정을 위해 적외선 분광기(Fourier Transform

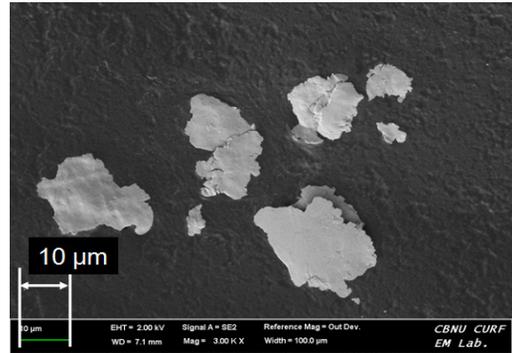


Fig. 3 SEM Image of Copper Particles.

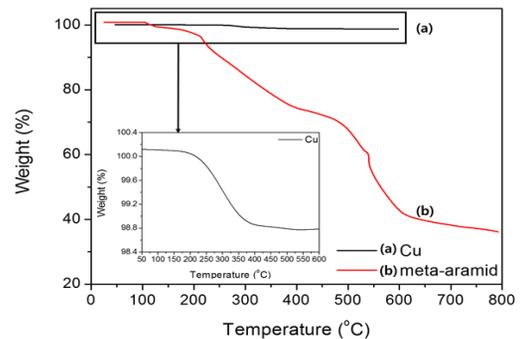


Fig. 4 TGA Thermograms of Copper Particle (a) and Meta Aramid (b).

Infrared Spectroscopy: FT-IR, Vertex 70)를 사용하였다. 열중량 분석은 질소분위기에서 상온부터 800°C 까지 승온 속도(Heating Rate)를 20°C/min로 하여 측정하였고, 방사율은 100°C 및 320°C에서 측정하였다. Fig. 2에는 적외선 분광기를 이용한 방사율 측정 장치 구성을 나타내었다. 시료 물질 (Sample)과 흑체 기준 물질(Black body)의 방사에너지(Emission) 측정값으로부터 방사율(Emissivity)을 Eq. 1과 같이 계산하였다.

$$Emissivity = \frac{Emission\ from\ Sample}{Emission\ from\ Blackbody} \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 3에 실험에 사용한 구리 분말의 세척 후

SEM으로 관찰한 구리 분말의 이미지를 나타내었다. Fig. 3에서 구리 분말은 약 20 μm 의 직경을 가지며 판상인 것으로 나타나 코팅 소재 충전 첨가제로 적절한 것으로 판단되었다.

Fig. 4에 세척한 구리 분말과 용매를 제거한 메타 아라미드의 열중량 분석 데이터를 나타내었다. 구리 분말은 아세톤에 의해 세척되지 않은 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 분해되는 유기물질에 의한 중량 감소를 보였다. 따라서 본 논문에 사용된 구리 분말은 약 2.2 wt의 불순물을 가지고 있다고 볼 수 있었다. 메타 아라미드 제품의 열중량 분석 데이터에서 구리 입자/메타아라미드에 포함되어있는 DMAC는 모두 건조되었으며 메타 아라미드 수지는 400 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서 열분해가 일어나는 열안정을 보임을 확인할 수 있었다.

Fig. 5에 SEM으로 관찰한 스테인레스 스틸 기판에 코팅된 구리/메타 아라미드 복합재료의 단면 이미지를 나타내었다. Fig. 5의 단면 사진에

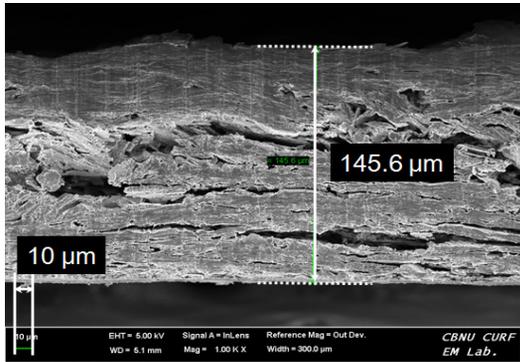
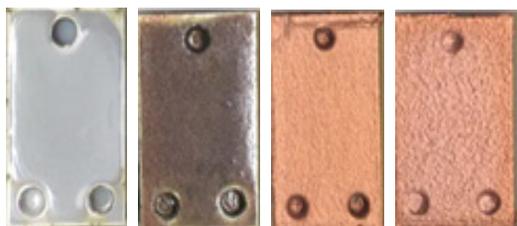


Fig. 5 SEM Image of Coating Thickness.



(a) Control (b) C-10 (c) C-50 (d) C-70

Fig. 6 Images of Stainless Steel Plate Coated with Different Copper Particle/Meta Aramid Composites after Drying Before the Emissivity Measurement.

서 도포된 복합 재료 코팅 소재의 두께는 약 145.6 μm 인 것으로 확인되었다.

Fig. 6는 방사율을 측정하기 위해 스테인레스 스틸 기판에 구리입자/메타 아라미드 복합재료를 도포한 사진이다. 구리 입자 함량 증가에 따라 구리 입자 색깔이 강하게 관찰되었으며, 도포는 균일함을 확인할 수 있었다. 도포의 균일성은 우선 육안으로 관찰이 가능하고 전자현미경으로 판단이 한 바, 균일한 도포가 이루어진 것으로 볼 수 있었다. 도포면이 균일하지 못한 경우에는 건조 후 표면 형상이 불균일하게 관찰되기 때문이다. 그리고 구리 입자 함량이 10인 경우 메타 아라미드 수지가 응집되는 현상을 보이는 바, 용융된 상태에서 유동성을 가짐에 기인하는 것으로 추측되었다.

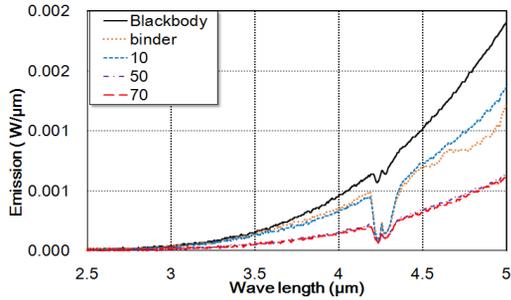
적외선 분광기를 이용하여 100 $^{\circ}\text{C}$ 와 320 $^{\circ}\text{C}$ 에서 방사율을 측정 후의 구리입자/메타 아라미드 복합재료 코팅 표면 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 구리입자/메타아라미드 도포면은 320 $^{\circ}\text{C}$ emissivity 측정 후 산화반응으로 회색을 띠는 경향이 관찰되었다. 구리 입자들이 산화되었지만 메타 아라미드 수지는 기판들에 대한 부착력을 유지하고 있어 열안정이 우수함을 확인할 수 있었다.

Fig. 8에 코팅 소재를 도포한 시편 기판의 100 $^{\circ}\text{C}$ 와 320 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 적외선 방사 스펙트럼을 나타내었다. 본 연구는 고온 적외선 방사율 저감을 위한 실험적 고찰이어서 적외선 분광기에서 최대한 승온시킬 수 있는 온도인 320 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 특성을 조사하였다. 연구실험에서 먼저 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서

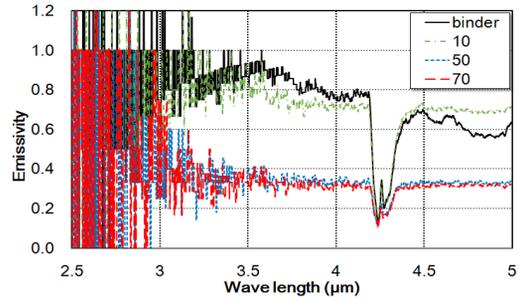


(a) Control (b) C-10 (c) C-50 (d) C-70

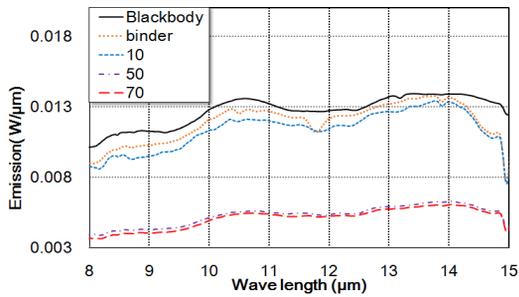
Fig. 7 Images of Stainless Steel Plate Coated with Different Copper Particle/Meta Aramid Composites after the Emissivity Tests at 320 $^{\circ}\text{C}$.



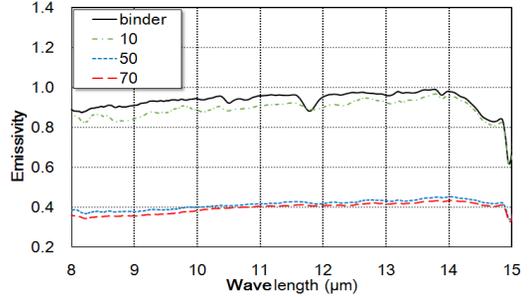
(a) 100°C at 2.5 ~ 5 μm



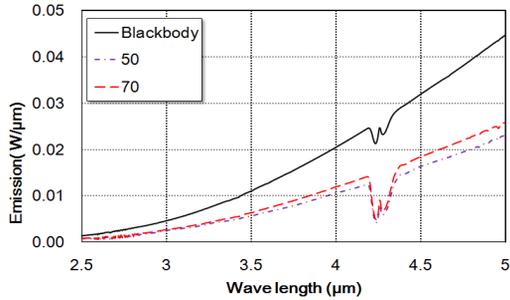
(a) 100°C at 2.5 ~ 5 μm



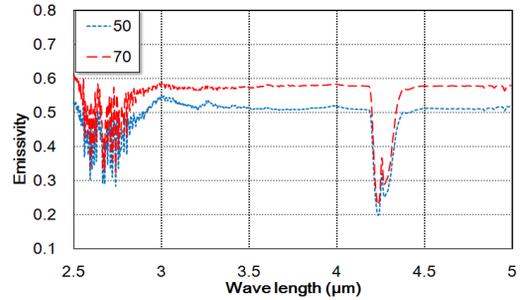
(b) 100°C at 8 ~ 15 μm



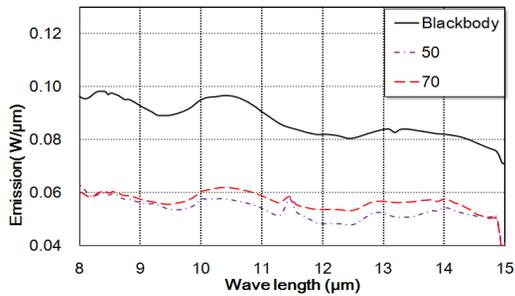
(b) 100°C at 8 ~ 15 μm



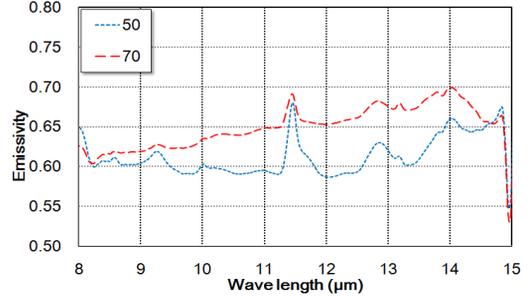
(c) 320°C at 2.5 ~ 5 μm



(c) 320°C at 2.5 ~ 5 μm



(d) 320°C at 8 ~ 15 μm



(d) 320°C at 8 ~ 15 μm

Fig. 8 Infrared Emission Spectra of the Plates Coated with Different Copper/Meta Aramid Composite.

Fig. 9 Infrared Emissivity of the Plates Coated with Different Copper/Meta Aramid Composites.

는 흑체 기준 물질에 비하여 기판 코팅 소재의 구리 함량이 증가함에 따라 시편들로 부터 적외선 방사가 감소하는 것으로 나타났다. 320℃에서도 유사한 경향을 보이거나 구리 함량이 부피 기준으로 70%인 경우보다 50인 경우 적외선 방사가 약간 낮게 나타나는 특징이 관찰되었다. Fig. 9는 제조한 시편의 100℃와 320℃에서 적외선 방사 스펙트럼 데이터로부터 계산된 방사율을 나타내었다. 방사율의 경우 100℃에서는 메타 아라미드 바인더 수지에 비하여 기판 코팅 소재의 구리 함량이 증가함에 따라 시편들로 부터 적외선 방사율이 감소하는 것으로 나타났으며 구리 함량이 부피 기준으로 50% 및 70% 인 경우 0.3 ~ 0.4로 나타났다. 320℃에서는 구리 함량이 부피 기준으로 70% 인 경우보다 50%인 경우가 적외선 방사율이 0.6 수준으로 약간 높게 측정되었다. 구리 함량이 높은 70%인 시편의 방사율이 구리함량이 50% 인 경우보다 높은 것은 바인더 수지 함량이 낮아짐에 따라 구리 입자 도포가 부분적으로 충분치 못한 상태에서 방사율이 높은 산화구리 생성이 증가하였기 때문인 것으로 추측할 수 있다. 이것은 구리와 m-Aramid의 비중이 각각 8.96, 1.38이고 부피기준 70%의 구리 입자를 포함한 경우 바인더인 m-Aramid의 중량 기준 함량이 6.2%에 불과하기 때문이다. 정확한 판단을 위하여는 바인더 조성물인 m-Aramid 함량이 구리 입자를 커버한 두께가 얼마나 되는지를 확인하는 것이 요구되는 바, 추후 정밀 분석을 통하여 고찰할 예정이다. 일반적으로 구리 입자와 같은 것들이 바인더 수지에 충분한 계면적임이 가능한 첨가량의 척도는 최대충전율(maximum packing volume fraction)으로 평가하며, 일반적으로 부피기준 70%는 상한치에 근접하고[10], m-Aramid의 밀도는 바인더 수지 중 매우 높은 편에 속하여 위와 같은 추측이 가능하다.

4. 결 론

항공기 배기노즐의 재료로 이용되는 스테인리

스 스틸 표면을 구리입자 함량을 부피기준으로 0 ~ 70% 까지 변화시킨 구리입자/메타 아라미드 수지 복합재료로 도포하여 적외선 방사율의 변화를 고찰한 결과 다음과 같이 나타났다.

- 1) 메타 아라미드 수지는 320℃에서 열안정성을 보여 구리입자 분산 고온 내열성 매트릭스 수지로 적합한 것으로 나타났다. 320℃에서 적외선 방사율 측정 실험 후 도포된 시편을 확인한 결과 접착력은 양호함을 확인하였다.
- 2) 구리입자 함량이 부피 기준으로 50% 인 구리입자/메타 아라미드 수지를 도포함으로써 시편의 320℃ 적외선 방사율을 0.6까지 낮출 수 있었다.
- 3) 구리입자 부피분율이 70%인 경우 320℃에서의 방사율이 구리입자 분율이 50%인 경우보다 낮게 관찰되는 바, 바인더 함량이 충분치 못하여 구리입자 표면을 충분히 도포하지 못하여 산화구리가 생성되었기 때문인 것으로 해석할 수 있으나, 추가 연구가 필요할 것으로 나타났다.

향후 본 코팅방식을 항공기 표면 또는 추진기관의 배기노즐에 적용하여 항공기 작동시의 적외선 신호에 대한 특성연구를 계속적으로 수행하고자 한다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. Park, G.S., Choi, S.M. and Kim, W.C., "Infrared Measurement of the Micro Turbojet Engine," *Proceeding of the 2014 KSPE Spring Conference*, Seoul Korea, pp. 486-488, May. 2014.
2. Liu, R., Ji, C., Mock J.J., Chin, J.Y., Cui T.J. and Smith, D.R., "Broadband

- Ground-Plane Cloak," *Science*, Vol. 323, Issue 5912, pp. 366-369, 2009.
3. Mahulikar, S.P., Sonawane, H.R. and Rao, G.A., "Infrared signature studies of aerospace vehicles," *Progress in Aerospace Sciences*, Vol. 43, Nos. 7-8, pp. 218-245, 2007.
 4. Liou, K.N., *An Introduction to Atmospheric Radiation*, 2nd Edition, Academic Press, Cambridge, M.A., U.S.A., 2002.
 5. Yan, X. and Xu, G., "Influence of silane coupling agent on corrosion-resistant property in low infrared emissivity Cu/polyurethane coating," *Progress in Organic Coatings*, Vol. 73, Issues 2-3, pp. 232-238, 2012.
 6. Yan, X. and Xu, G., "Synergy effect of silane and CTAB on corrosion-resistant property of low infrared emissivity Cu/polyurethane coating formed on tinplate," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 204, pp. 1514-1520, 2010.
 7. Chou, K.S. and Lu, Y.C., "The application of nanosized silver colloids in far infrared low-emissive coating," *Thin Solid Films*, Vol. 515, Issue 18, pp. 7217-7221, 2007.
 8. Chen, J., Zhou, Y., Nan, Q., Ye, X. and Wang, Z., "Synthesis, characterization and infrared emissivity study of polyurethane/TiO₂ nanocomposites," *Applied surface science*, Vol. 253, Issue 23, pp. 9154-9158, 2007.
 9. Yu, H., Xu, G., Shen, X., Yan, X. and Cheng, C., "Low infrared emissivity of polyurethane/Cu composite coatings," *Applied Surface Science*, Vol. 255, Issue 12, pp. 6077-6081, 2009.
 10. H. A. Barnes, J. F. Hutton and K. Walters, "Introduction to Rheology," Chapter 7, Elsevier-Amsterdam, Amsterdam, Netherlands, 1989.