

탄소나노튜브 면상발열체의 선박 기자재 적용 연구*

Application of a CNT Surface Heating Element to the Ship Equipment*

배상은¹, 이운식²

Sang-Eun Bae¹, Woon-Seek Lee²

〈Abstract〉

This study investigates the validity of applying new carbon nanotube (CNT, Carbon Nano Tube) surface heaters, which are applied in combination with various products, to the vessel's materials, and proposes the commercializable products accordingly. In order to actually apply a CNT surface heating system technology to the ship's equipment for the first time in Korea, we carried out the interview of experts in the technology field and the due diligence of the shipyard, and presented the technology road map for the selected three items. Finally, for "Heating System of Ship Fuel Tank" with the highest commercialization potential, we proposed a conceptual diagram to enable the final development of the product through the product analysis.

Keywords : CNT(Carbon Nano Tube), Surface Heating Element, Heating System, Heavy Fuel Oil Tank, Ship Equipment

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

1 정회원, 부경대학교, 기술경영협동과정, 박사과정, 부산광역시 남구 용소로 45

E-mail: sebe@cryogen.co.kr

2 교신저자, 정회원, 부경대학교, 시스템경영공학부 교수, 부산광역시 남구 용소로 45

E-mail: iewsllee@pknu.ac.kr

1 Interdisciplinary Program of Management of Technology, Graduate School, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-Gu, Busan, 48513, Republic of Korea

2 Professor, Division of Systems Management and Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-Gu, Busan, 48513, Republic of Korea

1. 서론

탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube) 면상 발열체는 나노 탄소 소재를 이용한 액상 코팅 방식의 면상발열체 기술로써 에너지 효율을 높이고 단위 체적 당 발열면적을 극대화시킬 수 있는 신 개념의 발열체 적용 기술이다.

면상발열체는 니크롬선을 이용한 전기 가열방식과 달리 세라믹, 유리, 금속 등에 나노발열체를 코팅하여 전기로 가열하는 새로운 방식이다. 면상발열체 가열방식은 니크롬선 방식보다 효율이 50~60% 우수하며 반응속도가 빨라 저온에서 500°C이상으로 상승시킬 수 있으며, 소재형상에 관계없이 다양한 디자인에 적용 가능하다. 또한 내화학성, 내습성, 내마모성이 우수하여 반 영구적이며, 장시간 사용하여도 효율변화가 거의 없어 에너지 절감에 큰 장점이 있다.

본 연구는 산업체의 모든 분야에서 다양한 제품과 결합되어 적용되고 있는 CNT-면상발열체 신 소재를 선박 기자재에 적용하기 위한 타당성을 조사하고, 사업화가 가능한 제품을 제안하고자 한다.

먼저, 선박 의장품에 대해 용도와 장치별 세부 기자재 분류, CNT-면상발열체 기술 적용 가능 아이템 조사, 사업화 가능 제품에 대한 제품분석 및 특허분석 등을 진행하였다.

선박에 적용된 연구 사례는 북극항로를 운항하는 선박의 결빙방지를 위한 발열체 적용 제품이 제안되어 개발을 진행하였으나, 조선소에 실제 납품된 실적은 없는 것으로 조사되었다. 이에 국내 최초로 CNT-면상발열체 기술을 선박 기자재에 적용하기 위해 조선소의 기술분야별 전문가 인터뷰 및 현장 실사를 통해 사업화가 가능한 아이템을 분석하였다.

최종 분석 결과, 사업화가 가능하다고 판단되는 제품으로 “극지운항선박의 발열 매트”, “선박 의

연료 탱크 히팅 시스템”, “LNG운반선의 코파텀 히팅 시스템”을 선정하여 각 제품별 제작 현황과 설치상의 문제점 등을 조사하였고, 특허분석을 실시하였으며, 이를 통한 아이디어를 도출하여 개념도를 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장 서론 이후 제2장에서는 CNT-면상발열체에 대한 기술개요와 제품선정 및 선행연구에 대하여 서술한다. 제3장에서는 “극지운항선박용 발열 매트”에 대한 제품분석과 개념도를 제안하고, 제 4장에서는 “LNG운반선의 코파텀 히팅 시스템”에 대한 제품분석과 개념도를 제안한다. 제 5장에서는 “선박 연료탱크 히팅시스템”의 제품분석을 통한 개념도를 제안하고, 제6장에서는 본 연구의 결론을 기술한다.

2. CNT-면상발열체 적용 제품 선정

2.1 CNT-면상발열체 기술개요

CNT-면상발열체는 나노 탄소 소재를 이용한 액상 코팅 방식의 면상발열체 개발 기술이며, 저항 조절을 통해 200°C 이하 범위까지 온도 조절이 가능한 유연 면상발열체 구현이 가능하다. 구동 원리는 기본 물성이 탄소로 이루어져 있어, 탄소에 전기를 가하면 탄소의 저항성으로 인해 전기 에너지가 열에너지로 변환되어 발열이 구동된다. (J. Cho, 2018)

CNT-면상발열체는 선상발열체와 달리 전체의 면상에서 고른 발열이 발생하는 특징이 있다. 선상발열체에 비해 발열체의 빠른 온도 조절이 용이하며 우수한 열확산 및 발산 특성으로 인해 에너지 소비 효율이 높고, 1/3 이하 가격 수준으로 제조가 가능한 장점이 있다. 또한 카본블랙 발열체에 비해 고온안정성을 확보할 수 있기 때문에

200℃ 이상 고온에서 발열 안정성을 가지는 면상 발열체 제조가 가능하다.(K. Yang, 2016) Fig. 1 은 선상발열체 및 면상발열체의 특성을 비교하여 요약한 내용을 보여준다.

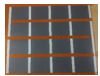


구분	면상발열체		선상발열체
발열종류	CNT 기반	Carbon 계열	히터 코일
형상			
최대 발열온도	Max 395℃	Max 120℃	Max 227℃
승온속도	30sec @ 395℃	50sec @ 120℃	20min @ 227℃
유연성	1R	50R	40R

Fig. 1 Kinds and characteristics of surface heating element

2.2 CNT-면상발열체 적용 제품 선정

CNT-면상발열체는 에너지 소비 효율이 높고, 고온에서의 발열 안정성을 가질 수 있도록 제조가 가능하기 때문에 우선적으로 선박 의장시스템에 들어가는 히팅 시스템을 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 특히 극지 해역(-60℃)을 운항하는 선박에 결빙을 방지하기 위한 외기 장치에도 적용 가능할 것으로 보인다.(J. G Lee, 2017)

이에 선박 의장시스템에 대한 세부 기자재 분류표를 기준으로 CNT-면상발열체 기술 적용이 가능한 품목을 조사하고, 국내조선소의 연구기획/의장설계/기술연구소 등 각 분야별 20여명의 전문가 인터뷰 및 현장 실사를 실시하였다. 이를 통해 “극지운항선박용 발열 매트”, “선박 연료탱크 히팅시스템”, “LNG운반선의 코파덱 히팅시스템”을 선정하였고 제품분석과 아이디어 도출을 통한 개념도를 제시하였다.

최종적으로 사업화 가능성이 가장 높다고 판단되는 “선박 연료 탱크 히팅 시스템”에 대하여 추가로 자체 특허분석 및 최종 제품을 제안하였다.

2.3 선행연구

선박에 설치되는 기자재는 선박으로서의 기능을 완전하게 발휘할 수 있도록 많은 장비들이 설치되고 있다. 핵심 장비인 엔진부터 발전기장치 및 동력 전달장치, 항해에 필요한 항해기기와 조타장치, 정박에 필요한 계선계류장치, 화물을 싣고 내리는 하역장치, 조난과 화재에 대비한 구명설비, 승객과 선원이 생활할 수 있도록 하는 거주설비 등이며, 이러한 기자재들은 조선 기자재업체들이 제공하고 있다.

선박 기자재는 철강 및 화학 등의 기초 소재 산업과 기계 및 전기·전자산업에 이르기까지 수많은 산업과 연계되어 있는 다품종 소량 생산품이다. 선박 기자재의 특징은 우수한 내진특성, 내식성 및 내후성, 유지보수가 용이하여야 하며 높은 신뢰성과 국제적 품질기준에 적합해야 된다.

선박 기자재를 용도와 기능별로 분류하면 선체부(금속제품, 용접재료, 주단강품 등), 기관부(선박 추진기관), 의장부(조타장치, 항해장치, 주거설비 등), 전기전자부(통신장비, 조명장비 등)로 나눌 수 있으며, 의장부와 전기전자부를 합쳐서 선박 의장시스템이라고 칭하기도 한다.

CNT-면상발열체 기술이 선박 기자재에 적용되어 실제 납품되고 있는 제품은 아직 실적이 없는 것으로 조사되었다. 다만 북극항로를 운항하는 선박의 결빙방지를 위한 발열체 적용기술에 대한 연구 및 적용 기자재에 대한 연구가 있었다(J. G. Lee, 2017). 이 연구 사례는 선박 내 선실 구역에 설치되는 일체형 화장실의 바닥재에 적용하는 것으로 제안되었으나, 면상발열체의 설계 및 제작의

어려움보다는 화장실 바닥재 시공방법과 유지보수 측면에서 적용이 어렵기 때문에 실제 납품이 이루어지지 않은 사례이다.

그 외에도 북극운항 선박 및 해양플랜트에 적용하고자 “Accommodation Ladder Step Heater” (-62℃에서 상온 구동), “Air Intake Louver Heater” (-50℃에서 상온 구동), “HeliDeck Heating System” (-32℃에서 상온 구동)에 대한 제품개발이 진행중이나 현재까지 실제 적용된 사례는 없는 것으로 확인되었다.(J. H. Jung, 2016, S. E. Bae, 2019)

3. 극지운항선박용 발열 매트

3.1 기존 제품 분석

극지방을 운항하는 선박의 경우, 갑판에 노출된 작업자의 이동용 통로가 결빙되어 작업자의 안전에 큰 위험을 줄 수 있으며, 급기온 강화로 인한 여러 안전사고가 빈번히 발생하고 있다. 따라서, 저온 환경에서도 이동 통로의 상면이 얼지 않도록 Fig. 2와 같이 히팅케이블을 이용한 갑판이동로가 제작되어 설치되고 있다.



Fig. 2 Deck walk-way

3.2 개념 설계

현재 적용되고 있는 갑판이동로는 내부 히팅케이블의 비싼 가격 및 시공 시 불편한 요소들이 많이 있다. 이에 고무매트와 CNT-면상발열체를 활용한 Anti-icing 제품으로 Fig. 3과 같이 개념도를 제안한다. 본 개념도는 최근 연구조사선과 국내 연안선박에 적용하기 위한 국책과제로 제안되기도 했다.

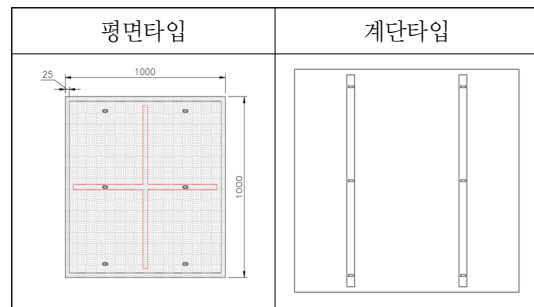
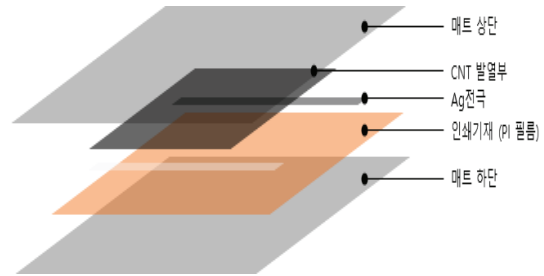


Fig. 3 Conception design of heating mat

4. LNG운반선의 코파댐 히팅시스템

4.1 기존 제품 분석

LNG운반선에는 초저온 상태로 액화시킨 LNG

의 보관 및 운송을 위해 일반적으로 멤브레인형(Membrane Type) LNG 탱크가 건조되는데, 이러한 저장탱크는 극저온 온도에 견딜 수 있는 물질로 구성되어야 한다. LNG 온도와 외부온도조건에 이르는 광범위한 온도 변화에 적합하고, 외부의 열 유입을 방지하며, 선박의 기본적인 선체 구조물을 냉각으로부터 방지하는데 효과적인 단열물질을 가지도록 설계되어야 한다.

LNG 화물은 -163°C의 초저온 상태에서 보관되므로 만약 저장 탱크의 횡 격벽 사이에 온도 상승을 위한 히팅 장치가 없을 경우에는 LNG 화물의 열전달에 의해 약 -50°C~-100°C 정도의 저온 상태가 되며, 일반 강 구조물은 재질의 저온 취성 특성에 의하여 선체 손상이 발생된다.

이에 멤브레인 LNG 탱크의 전 후에는 Fig 4와 같이 코퍼댐(Cofferdam)이 설치되며, 저온에서의 화물창을 보호하기 위해 코퍼댐 내부에 별도의 히팅 장치를 사용하여 코퍼댐의 공기 온도를 최소한 0°C~5°C까지 올려 사용하고 있다.

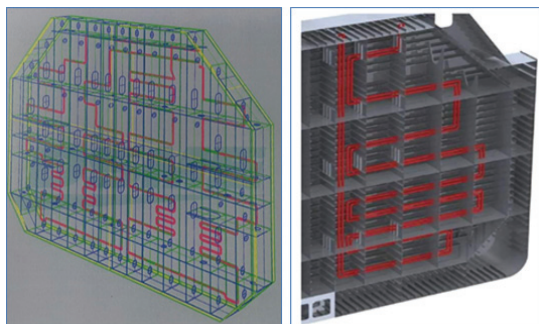


Fig. 4 Section of Cofferdam heating system

4.2 개념 설계

상기 Fig. 4는 선박의 코퍼댐 내부 히팅 장치의 단면도를 보이는 것으로, 히팅 장치로는 코퍼댐 내부에는 히팅 코일이 설치되어 있으며, 상기 히

팅 코일의 내부에는 부동액으로 사용되는 글리콜 워터(Glycoled Water)가 채워져 있다.

일반적으로 히팅 코일 내의 부동액으로 사용하는 글리콜 워터란 에틸렌글리콜을 말하는데, 197°C에서 끓는 비 휘발성 액체로서, 점조하고 감미로운 무색 액체로 습기를 잘 흡수하는 성질이 있다. 그러나 에틸렌 글리콜은 매우 치명적인 독성으로 인해서 인체는 아주 소량의 양으로도 생명을 위협받을 수 있으며, 환경친화적이지 못하고 폐기물 처리상에도 많은 문제점이 있다.

또한, 히팅 코일을 사용하는 경우에는 코퍼댐 내부에 많은 코일이 장치되어야 하며, 설치에도 시간이 많이 소요되고, 복잡한 구조에 의한 유지보수도 어렵다는 문제점이 있다.

이를 개선하고자, Fig. 5와 같이 글리콜 워터를 사용하지 않고, 시공이 간편하도록 코퍼댐 내부에 CNT-면상발열체를 모듈 형식으로 고안하였고, 모듈 내부에 통풍 팬을 설치하여 코퍼댐 내부로 열이 전달될 수 있도록 아이디어를 도출하여 개념도를 제안한다. 통풍팬과 결합된 CNT-면상발열체 모듈은 코퍼댐 내부 온도를 최대 5°C까지만 유지하면 되기 때문에 격자구조 모양의 코퍼댐 설치는 각 격자구조마다 1개씩 설치해도 가능할 것으로 보인다.

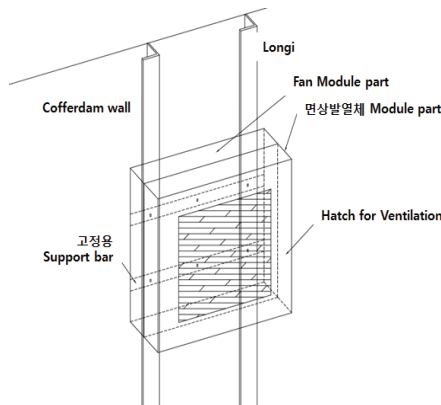


Fig. 5 Conception design of Cofferdam heating system

5. 선박 연료탱크 히팅시스템

5.1 기존 제품 분석

선박 운용에 있어 디젤엔진은 벙커C유를 연료로 사용하여 가동된다. 벙커C유는 외부 연료탱크에서 주입 후 선박 내 3개의 연료탱크를 거쳐서 엔진에 공급되어지고 있다.

각각의 역할이 다른 3개의 연료 탱크에서 메인탱크(Main Tank)는 45°C, 세틀링탱크(Settling Tank)는 60°C, 서비스탱크(Service Tank)는 80°C의 온도를 유지하여야 하며, 다른 탱크로 연료 이송 시 히팅시스템을 통해 더 가열 후 저장하게 된다.

현재 사용중인 히팅시스템은 Fig 6과 같이 보일러를 통해 스팀을 가열하여 히팅 코일로 구성된 라인을 따라 상승된 온도의 스팀이 관을 따라 열을 전달해주는 형식으로 구성되어 있다. 황동합금소재(Al-Brass)를 사용하여 파이프 내부로 150~170°C 고온 스팀을 전달하여 히팅을 하는 시스템이다.

벙커C유는 액체 상태이지만 휘발유와 경유 같은 기름에 비해 점성이 높아 끈적임이 심하다. 연료유 점성이 높을 경우, 배관 내 유류 흐름이 힘들고 펌프에 과도한 부하를 일으켜 동력 소비가 늘어나게 되는 요인이 된다. 특히 연료가 각 탱크의 적정온도를 벗어나게 되면 폭발의 위험성이 존재하여 온도 유지가 매우 중요하다



Fig. 6 Steam pipe in fuel tank

그러나 최근 황동합금소재(Al-Brass) 가공 제작의 어려움으로 제작기간이 오래 걸리고, 고기능의 용접 가능 인력이 필요함에 따라 단가 상승의 원인이 되고 있다. 파이프용 히팅을 사용하게 되면 Fig. 7과 같이 스팀에 의한 부식과 밴딩과 용접 시 균열 발생이 자주 일어나고, 용접 후 결합 발생 시 수정이 어렵고 용접이 실패하게 된다면 절단 후 재부착해야하는 번거로움이 빈번히 발생하고 있다.

또한 기존 히팅 파이프시스템을 유지하게 되면 파이프 내부의 부식으로 인해 내부 액체는 차후 폐기물로 분리 배출하여야 한다. 이때 발생할 수 있는 해양 오염에 대해서도 항상 노출되어 있어, 최근 친환경 규제강화로 유류에 의한 오염 등의 문제점을 안고 있다.



Fig. 7 Pipe line damage status

5.2 개념 설계

최근 조선소 내에서 코파덤 히팅 시스템 제작 및 유지보수상의 문제점들을 개선하고, 원가절감과 환경규제에 대응하기 위한 새로운 방안에 대한 노력이 진행 중이다. 이에 CNT-면상발열체를 활용한 중유 가열장치를 제안하고자 한다.

면상발열체의 Protection Case 디자인 설계는 Fig. 8과 같이 면상발열체를 보호하고, 발열이 외부로 잘 전달되기 위한 재질과 유지보수 및 설치이동이 간편하도록 디자인하였다. 연료탱크 내부의 방폭 환경하에서도 견딜 수 있도록 CNT-면상

발열체를 모듈 형태로 고안하였다.

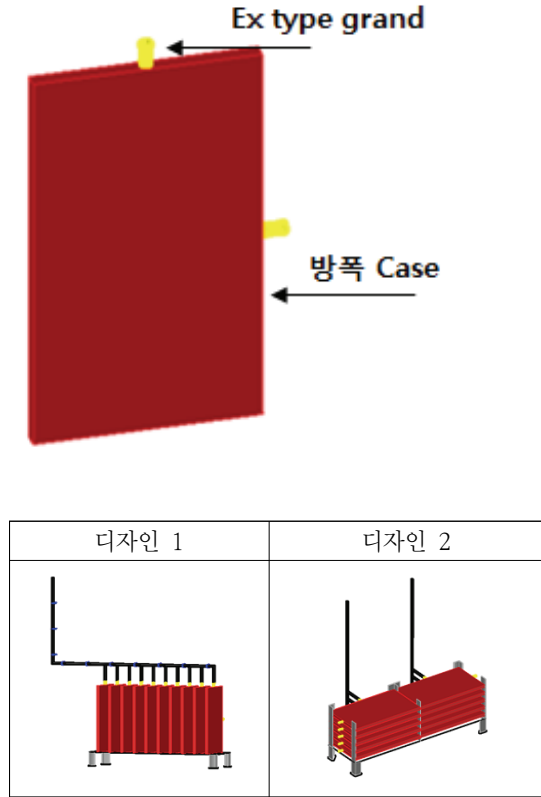


Fig. 8 Conception design of fuel tank heating system

CNT-면상발열체를 활용한 선박 연료 히팅 시스템은 Fig 9와 같이 구성도를 제안하였다. Main Tank 45°C, Settling Tank 60°C, Service Tank 80°C의 온도를 유지하기 위해 각 탱크별 설치되어야 될 발열모듈 개수 및 제작(안)을 제시하였다. 아울러 선박 탱크 내 폭발을 방지하기 위하여 방폭(Ex) 기준(IEC 60079-0,1 등)을 적용한 Case 디자인이다.

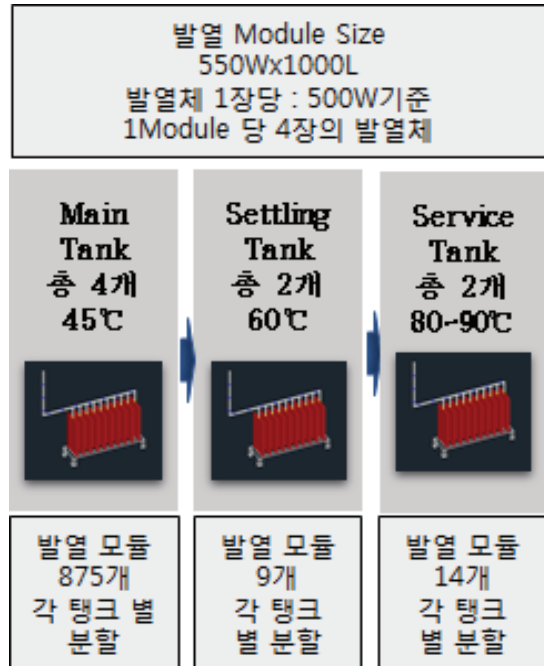


Fig. 9 Composition diagram of fuel tank heating system

6. 결론

산업체의 모든 분야에서 다양한 제품과 결합되어 적용되고 있는 나노 탄소 소재를 이용한 액상 코팅 방식의 면상발열체 기술을 국내 최초로 선박에 적용하기 위해 국내 조선소의 기술분야별 전문가 인터뷰 및 현장실사를 통해 3개 제품을 선정하였다. CNT-면상발열체가 적용된 실적은 극지운항 선박의 기자재를 대상으로 연구개발이 진행되었으나, 실제 제품으로 납품된 실적이 없는 기술이다.

본 연구에서는 CNT-면상발열체 기술이 적용 가능한 제품으로 선정된 “극지운항선박용 발열 매트”, “선박 연료탱크 히팅시스템”, LNG운반선의 코파텀 히팅시스템” 등의 제품에 대한 제품 분석 및 개념도를 제안하였다.

특히 우선 적용 제품으로 선정된 “선박 연료탱크 히팅시스템”은 기존 제품은 제작 단계에서의 소재의 부식이나 어려운 작업성 및 친환경 규제 강화로 인한 유류에 의한 오염 등의 문제점을 안고 있다. 이를 개선하고자 면상발열체를 보호하고, 발열이 외부로 잘 전달되기 위한 재질과 유지보수 및 설치 이동이 간편하도록 디자인하였고, 연료탱크 내부의 방폭 환경하에서도 견딜 수 있도록 모듈 형태로 제안하였다.

본 연구에서 제안한 CNT-면상발열체 적용 신제품에 대하여 향후 기술개발 및 시험인증을 통한 신시장 창출이 가능하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] J. G. Lee, A Study on Characteristics of Surface Heating Element for Preventing Freezing in Polar Marine Using CNT-based Advanced Materials. J. Korean Soc. Mech. Technol. Vol. 19 No. 2, p, 274-280, (2017).
- [2] J. H. Jung, Technical Trends of Polar Ship Equipment Materials Using CNT Nanotechnology. Ministry of Science, ICT and Future Planning. (2016).
- [3] K. Yang, K. Cho, K. Im, S. Kim, Temperature Maintenance of an ITO Nanoparticle Film Heater, Journal of IKEEE. Vol. 20, No. 2, p, 171-173, (2016).
- [4] J. Cho, H. Hwang, Image Processing Technology for Analyzing the Heating State of Carbon Fiber Surface Heating Element. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 19, No. 2 p, 683-688, (2018).
- [5] S. E. Bae, S. G. Cho, W. S. Lee, Development of a Low-power Walk-way for Anti-Icing, J. Korean Society of Industry Convergence, Vol. 22 No. 3, p, 353-364, (2019).

(접수: 2019.10.18. 수정: 2019.11.22. 게재확정: 2019.12.02.)