

선박 기자재 적용을 위한 탄소나노튜브 면상발열체의 기술사업화 분석

배상은, 이운식(부경대학교)

1. 서론

CNT 면상발열체는 기존 선박에 사용하던 발열케이블을 대체하여 초경량 및 박판 형태의 면상 나노튜브 소재를 적용하여 용이하게 시공할 수 있으며, 일차원적 교차 케이블이 아닌 면상의 발열체를 이용함으로써 에너지 효율을 높이고 단위 체적당 발열면적을 극대화시킬 수 있는 신 개념의 발열체 적용 기술이다.

선박에 적용된 연구 사례는 북극항로를 운항하는 선박의 결빙방지를 위한 발열체 적용 기술 제안이 있었으나(이재기, 2017), 실제 제품화되어 납품된 실적은 없는 것으로 조사되었다.

본 연구는 산업체 분야의 가열, 건조 및 발전 등 모든 분야에서 다양한 제품과 결합되어 적용되고 있는 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube) 면상발열체 신소재를 선박 기자재에 적용하기 위한 타당성을 조사해보고, 실제 적용 및 사업화 가능 제품을 제안하고자 한다. 이에 국내 최초로 CNT 면상발열체 기술을 선박 기자재에 실제 적용하기 위해 LNG 선을 대상으로 먼저 선박 기자재의 의장시스템에 대한 기술을 분류한다. 또한 기술분야별 전문가를 통해 실제 적용이 가능한 아이템을 조사하여 실제 적용 및 사업화가 가능한 극지운항선박용 발열 갑판이동로, LNG선 코파담 히팅시스템, 선박 연료탱크 히팅시스템, 극지운항용 갑판 발열매트 등 4개 품목을 우선 선정하여 기술로드맵을 제시한다.

추가로 사업화 가능성이 가장 높은 품목으로 발열 갑판이동로를 선정하여, 갑판이동로에 대한 제품분석과 현재 설치상의 문제점 등을 조사하고, 특허분석을 실시한다. 또한 갑판이동로 개발에 필요한 기술개발 목표, 개발내용 및 개념도 등을 제시한다.

식의 면상발열체 개발 기술이며, 저항 조절을 통해 온도 200℃ 이하 범위까지 온도 조절이 가능한 유연 면상발열체 구현이 가능하다. 구동원리는 기본 물성이 탄소로 이루어져 있어, 탄소에 전기를 가하면 탄소의 저항성으로 인해 전기에너지를 열에너지로 변환되어 발열이 구동된다. CNT 면상발열체 제조기술은 우수한 발열 특성을 가지는 CNT의 배합 및 발열소재를 균일하게 도포하는 기술과 발열 페이스트 제조, 발열 균일도 유지, 발열체 전력 및 온도제어, 패턴설계 및 인쇄 등이 핵심기술이다.

CNT 면상발열체는 선상발열체와 달리 전체의 면상에서 고온 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 면상발열체 제조가 가능하다. 그림 1은 면상발열체와 선상발열체의 종류와 특성을 보여준다.


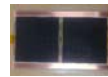


구분	면상발열체		선상발열체	
	CNT 기반	Carbon 계열	히터 코일	세라믹 히터
발열종류	CNT 기반	Carbon 계열	히터 코일	세라믹 히터
형상				
최대 발열온도	Max 395℃	Max 120℃	Max 227℃	Max 1,000℃
승온 속도	30sec @ 395℃	50sec @ 120℃	20min @ 227℃	60min @ 1,000℃
유연성	1R	50R	40R	측정불가

그림 1 Kinds and characteristics of surface heating element

2. 탄소나노튜브 면상발열체

2.1 탄소나노튜브 면상발열체 기술 개요

CNT 면상발열체는 나노탄소 소재를 이용한 액상 코팅 방

2.2 선행 연구 현황

CNT 면상발열체 기술이 선박 기자재에 적용되어 실제 납품되고 있는 의장시스템은 아직 실적이 없는 것으로 조사되었다. 다만 북극항로를 운항하는 선박의 결빙방지를 위한 발

열체 적용기술에 대한 연구 및 적용 기자재에 대한 연구가 있었다(이재기, 2017년). 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 선박에 실제 납품이 이루어지지 않은 사례이다.

3. 탄소나노튜브 면상발열체 적용 가능 제품 분석

CNT 면상발열체는 앞서 설명한 바와 같이 에너지 소비 효율이 높고, 고온에서의 발열 안정성을 가질 수 있도록 제조가 가능하기 때문에 우선적으로 선박 의장시스템에 들어가는 히팅시스템을 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 최근 확대되고 있는 극지운항선박의 수주로 인해 극지 해역(-60°C)을 운항하는 선박에 결빙을 방지하기 위한 외기 장치에도 적용 가능할 것으로 보인다. 이에 선박 의장시스템에 대한 세부 기자재 분류표를 기준으로 CNT 면상발열체 기술 적용이 가능한 품목을 선정하였다. 국내 조선소의 기술기획/의장설계/연구소 등 분야별 10여명의 전문가 인터뷰를 통하여 선박의 각종 히팅시스템 중 실제 적용 및 사업화 가능성이 가장 높다고 판단되는 4개 품목(갑판이동로, LNG선 코퍼담 히팅시스템, 선박 연료탱크 히팅시스템, 발열매트)을 선정하였다. 선정된 품목과 관련하여 CNT 면상발열체 적용이 가능한 제품 제작을 위한 개념도 및 아이디어를 도출하였다.

3.1 극지운항선박의 발열 갑판이동로

극지운항용 선박의 갑판이동로는 극지환경 온도 조건인 -62°C에서도 사람이 안전하게 이동할 수 있도록 선박의 갑판에 설치되는 통행로를 말한다. 현재 선박에 사용하고 있는 히팅케이블 적용 갑판이동로는 무겁고 내부에 설치되는 히팅케이블이 국내 제품품이 아니기에 가격 및 시간 등을 고려할 때 유지 보수에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 갑판이동로에 그림 2와 같이 CNT 면상발열체를 적용하여, 시공이 용이하고 제조원가를 낮출 수 있는 개념도를 제안하였다.

3.2 LNG선박의 코퍼담 히팅시스템

LNG선박은 -162°C의 액화천연가스를 화물창에 보관운반

시 화물창과 화물창 사이의 격벽에 코퍼담(Cofferdam)을 설치하여 저온에서의 화물창을 보호하기 위해 코퍼담 내부 온도를 상온 5°C 이상 유지하여 화물창 및 선박을 보호하고 있다. 현재 선박에 설치되고 있는 히팅시스템은 높은 격벽에 설치하기 때문에 설치시 많은 시수와 인력이 투입되는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 3과 같이 시공이 간편하도록 코퍼담 내부에 모듈형식으로 설치할 수 있도록 아이디어를 도출하여 개념도를 제안하였다.



그림 2 Conception design of walk-way

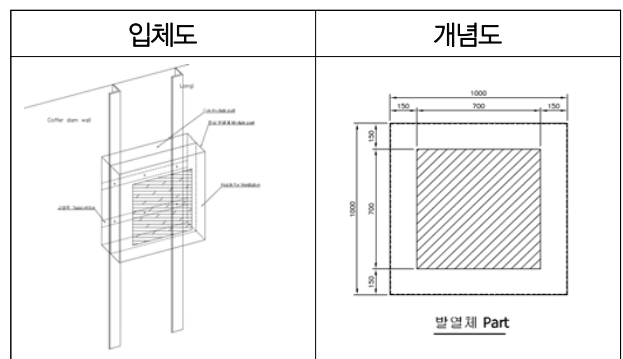


그림 3 Conception design of cofferdam heating system

3.3 선박 연료탱크 히팅시스템

선박 운용에 있어 디젤엔진은 HFO(Heavy Fuel Oil, 중유)를 연료로 사용하여 가동된다. 선박이 중유를 사용하기 위해서는 중유의 점성을 낮추기 위해 글리코일 히터와 보일러 등을 이용하여 중유는 상온 45~90°C까지 가열하여야 엔진의 추진 연료로 사용할 수 있다. 현재 히팅시스템은 Al-Brass 재질의 스팀 히팅파이프로 제작되고 있으나, 가공 제작, 응력 부식 균열, 고기능 용접인력 필요, 비싼 재료비, 특히 최근 친환경 규제강화로 유류에 의한 오염 등의 문제점을 안고 있다. 따라서 CNT 면상발열체를 활용한 중유 가열장치를 사

용한다면 제조원가 및 유지보수 비용 절감, 환경규제 대응, 사용 전력 절감 등의 효과를 기대할 수 있을 것이다. 그림 4는 연료탱크 내부의 방폭 환경하에서도 견딜 수 있도록 모듈 형태로 고안해서 제안한 것이다.

3.4 갑판 발열매트

지구 온난화로 인하여 북극 항로 및 지역 개발이 활발하게 진행되고 있는 상황이지만 기온의 급 하강으로 인해 여러 안전사고가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 안전사고를 예방하기 위해서는 이동 통로에 고무매트와 면상발열체를 활용한 Anti-icing 제품을 개발함으로써 안전사고를 미리 예방할 수 있을 것이다. 그림 5는 CNT 면상발열체를 적용한 갑판 발열매트의 개념도를 나타낸다.

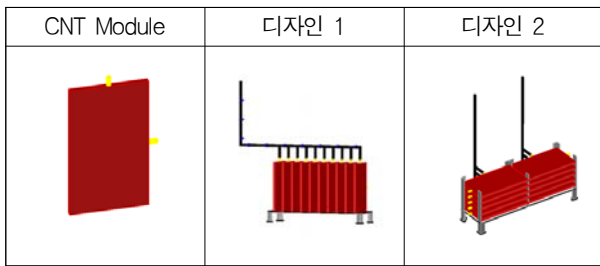


그림 4 Conception design of fuel tank heating system

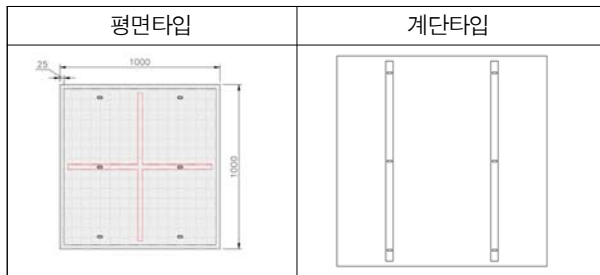


그림 5 Conception design of heating mat

3.5 기술개발 로드맵

CNT 면상발열체 적용이 가능하다고 판단되는 상기 4개 품목에 대하여 그림 6과 같이 기술개발 로드맵을 작성하였다. 4개 품목에 대한 사업화 우선 순위는 품목 선정시 참여 하였던 전문가들의 평가를 통하여 표 1과 같이 확정하였다. 또한 연료탱크 히팅시스템은 소형선박에도 적용 가능하도록 제작하고, 발열매트는 다목적 발열매트로서 다양한 사이즈로

육상이나 가정용에서도 사용가능하도록 제작하면 실용성 및 활용성이 높을 것이라 전문가의 기타 의견도 있었다.

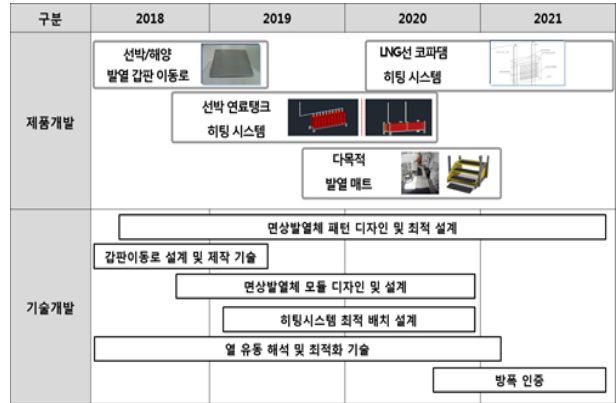


그림 6 Roadmap for technology development

표 1 Results of technology development priorities

품목	평가항목 (100, 평균점수)					평균 점수	우선 순위
	기술개발가능성			사업 화가 능성 (20)	시장 성 (20)		
	선진 기술 격차 (20)	독창 성 (20)	기술 경쟁 력 (20)				
갑판이동로	18,9	15,6	18,9	18,3	19,4	91,1	1
연료탱크	15,6	19,4	15,0	14,4	16,7	81,1	3
코파댐	11,1	13,3	10,6	11,1	14,4	60,6	4
발열매트	16,1	14,4	15,6	18,9	20,0	85,0	2

* 점수 : 상(20), 중(15), 하(10)

4. 선박 적용 및 사업화 가능성 분석

본 장에서는 표 1에서 1순위로 선정된 갑판이동로를 사례로 기술개발 및 사업화 가능성을 알아보기 위해 특허분석과 제품분석을 실시하고 이를 통해 제품 구상과 아이디어를 포함한 개념도를 제시한다.

4.1 갑판이동로 특허분석

(1) 특허분석 대상 특허 선정

국내 선박에 있어 갑판이동로에 발열체를 적용하는 특허군을 검색하고, 표 2에서와 같이 발열 발판 부재와 관련도가 높은 특허를 10건 선별하여 출원연도/출원인, 텍스트 마이닝, 기술계통도 등의 정량분석을 진행하였다.

(2) 주요 특허의 출원 연도 및 출원인 현황

표 2를 보면 2010년을 전후하여 주요 특허들이 다수 출원되었고 2011년과 2013년 각각 3건씩 출원되었다. 2008년 대우조선해양(주)의 기본 특허출원을 필두로 개량발명에 대한 출원이 지속적으로 이루어지고 있었으며, 2011년 삼성중공업에서 면상발열체를 갑판이동로에 활용한 최초 출원이 이루어졌다. 갑판이동로를 히팅케이블 형태로 제작하고 있는 (주)이테크에서 가장 많은 출원을 진행하고 있으며, (주)연일엔지니어링 2건, 삼성중공업 2건, 대우조선해양 1건 등이 존재하고, 삼성중공업의 출원을 제외하고는 모두 선상발열체를 활용하는 특허출원임을 알 수 있다.

표 2 Status of installation of heating cables for ships

출원일	출원인	발명의 명칭
2008.10.06	대우조선해양	발열기능을 갖는 선박의 통행로
2010.09.01	백철진	선박 갑판용 발열통행로
2011.01.27	(주)이테크	선박용 발열그레이팅
2011.08.09	삼성중공업	선박용 발열 통행로를 구비한 선박
2011.12.21	(주)연일엔지니어링	선박갑판용 온열통행로
2012.10.12	(주)연일엔지니어링	선박 통행로 온열 유닛
2013.07.02	(주)이테크	계단의 발열장치
2013.07.02	(주)이테크	선박 갑판에 설치되는 발열통행로
2013.07.25	(주)이테크	단열블럭 고정식 발열통행로
2015.06.25	삼성중공업	발열통행로

(3) 주요 특허의 국제특허분류(IPC) 및 권리존재 여부 현황

주요 특허의 IPC 분류결과 국제특허분류 상 B63B의 분류가 가장 많았으며, “선박 또는 그 밖에 물에 뜨는 구조물로서, 선적을 위한 장치(공조, 냉방, 난방, 환기장치 등)”가 이에 해당된다. 다음으로 많은 분류를 차지하고 있는 H05B는 “전기가열(달리 분류되지 않은 전기조명)”에 관한 것이다. 국제특허분류 상 B63J는 “선박용 보조장치”에 관한 특허분류로서, 주요 특허 10건 중 7건은 특허권이 유효하게 존속하고 있는 것으로 특허 권리 범위에 대한 분석과 회피설계방안 또는 기술참조 방안 마련이 필요하다. 주요 특허 10건 중 3건은 거절결정이 확정된 것으로 누구나 자유롭게 실시가 가능한 자유 실시기술에 해당되며, 기술개발 또는 실시에 있어 해당 발명 내용을 적극 참조할 필요가 있다.

(4) 주요 특허의 텍스트마이닝 및 기술관계도

주요 특허 10건에 있어 텍스트마이닝(가장 많이 등장하는

단어와 그 빈도에 따라 글자 크기로 표시)을 실시한 결과, 그림 7과 같이 발열, 선박, 통행로, 단열블럭, 단열, 갑판, (발열)케이블 등이 주로 등장하는 단어로 확인되었고, 면상발열체(삼성중공업) 등도 일부 존재하는 것으로 파악되었다. 주요 특허 10건의 기술관계도(서로 연결되어 있는 주요 키워드)를 살펴본 결과, 선박-결빙-상부, 노면-개별-배열-방지, 연결-고정 등이 주요 기술적 특징부로 함께 연관지어 자주 등장하고 있고, 면상발열체와 함께 언급되는 단어는 많지 않은 것으로 파악된다.



그림 7 Text mining of key patents

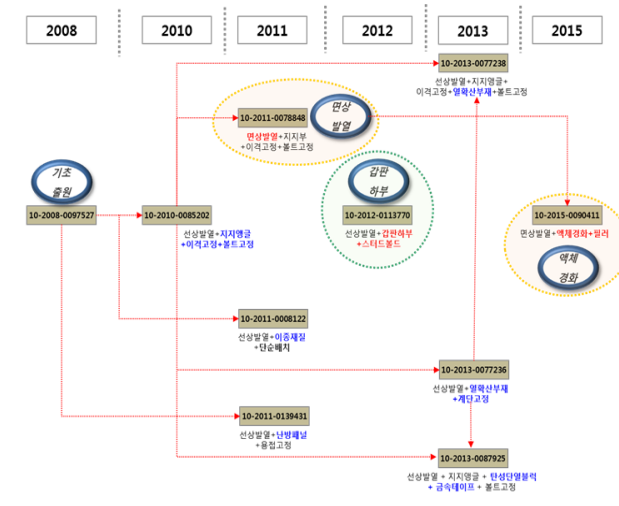


그림 8 Technical schematic

(4) 주요 특허의 기술계통도

주요 특허 10건에 있어 기술계통도를 통한 연도별 발전 추이를 그림 8에서 보여주고 있다. 2008년도부터 발열기술에 대한 출원이 시작되었으나, 선상발열체 적용 기술이 주를 이루고 있으며, 실제 면상발열체 특허는 많지 않다. 특히 CNT를

활용한 기술 부분은 언급되지 않고 있으므로 이에 대한 빠른 기술개발 및 우선 특허출원이 필요하다.

4.2 갑판이동로 제품 분석

극지운항용 선박의 갑판이동로는 극지환경 온도 조건인 -60°C에서도 사람이 안전하게 이동할 수 있는 통행로를 말한다. 본 연구의 외부 설계 온도 기준은 실제 사업화를 목표로, 국내 조선소에서 건조중인 YAMAL LNG운반선에 적용되고 있는 내부 규정을 기준으로 설정하였다. 실제 선박에 탑재되는 기자재의 성능은 외부 온도를 영하 52로 설정하고, 추가로 눈보라, 비 등 외부의 극한 환경조건을 감안하여 영하 10도를 추가하여 영하 62도에도 견딜 수 있도록 설정되어 있다.



그림 9 Status of installation of heating cables for ships

그림 9와 같이 기존 기술은 히팅케이블을 이용한 갑판이동로가 제작설치되어 있으나, 간접적인 열전달 방식을 사용하고 있다. 따라서 기존 기술은 낮은 열전달 효율에 따른 Anti/De-Icing 효과가 미흡하다. 히팅케이블 설치 조건 및 특성에 따른 적용 대상 제한(히팅케이블 시공 시 곡률반경에 대한 제한 : 직경의 6~8배의 곡률반경으로 시공해야 안전)과 케이블 보호 및 단열을 위한 추가 설비 필요 등은 다양한 시공시 불편한 요소들로 작용된다.

4.3 갑판이동로 기술개발

선박에서는 국내 최초로 CNT 면상발열체 기술의 적용이라는 측면과 기존의 히팅케이블 갑판이동로에 탄소계 발열체가 적용되는 이종 기술간 융합이라는 측면에서 CNT 면상발열 갑판이동로 제작이 우선 개발 제품으로 선정되었다. 그림 10은 기존에 적용되고 있는 히팅케이블을 적용한 갑판이동로

와 CNT 면상발열체를 적용했을 시의 특성을 비교분석한 결과를 보여준다.

기존 (히팅케이블)	특성구분	개발 (면상발열체)
	발열체 크기 (1m x 1m)	
12.7mm 이상	두께	12.7mm 이상
130°C	발열온도	130°C
16.7	발열면적	16.7%
734Wh	소비전력	344Wh
케이블 직경의 6~8배	발열간격	발열간격 조절가능
접촉면 전달(선발열)	열전달 방식	접촉면 전달(면발열)
2.1kg	중량	0.25kg
100%	가격	70~80%

그림 10 Comparison of Surface Heating Element and Heat Cable

본 연구에서 제안한 제품 개발의 최종 목표는 탄소계 발열체가 적용된 극지운항선박의 갑판이동로를 국산화하는 것이다. 이의 실현을 위해서는 극지선박적용 가능한 법령 및 국제규격 등의 조사 및 시뮬레이션을 통한 필요 발열량의 도출, 도출된 값을 기반으로 한 발열체 적용 발열모듈 제작, 선박에 적용 가능한 갑판이동로의 설계 및 제작에 있다. 그림 11은 CNT 면상발열체를 적용했을 시의 제품 구상과 아이디어를 포함한 개념도를 보여준다.

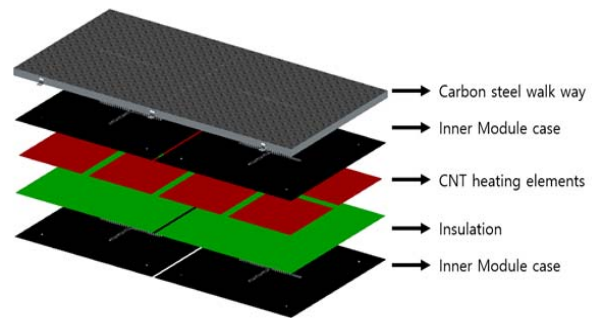


그림 11 Conception design of walk-way

발열체의 Heating Element는 갑판이동로 상부 Steel Plate

에 빠른 열전달과 필름 형태의 발열체를 보호하기 위해 Module 형식으로 구성된다. Module은 열전도가 빠른 알루미늄 케이스로 제작되며 내부는 CNT 면상발열체 그리고 하부로 빠져 나가는 열을 차단하기 위한 단열재가 적용되어 있다. 내부 Module은 갑판이동로 하부에 밀착 고정시켜 열을 발생시키고 극지에서 결빙이 되지 않도록 조선소의 요구조건인 영상 5°C를 유지하도록 설정되어 환경에 따라 변경된다. 현재 선박이나 해양시추선에서 사용하고 있는 갑판이동로는 무게 및 내부에 설치되는 히팅 케이블이 국내 제품품이 아니기에 유지보수 가격 및 시간 등의 제약이 있다. 이를 위해 설계 초기에 선박 갑판에 설치 및 유지보수가 용이하도록 하였으며, 사업화 및 납품을 위해서는 기존 제품 대비 원가경쟁력(20% 이상의 전력 소비량 절감)을 가질 수 있도록 하는 것이 CNT 면상발열체가 적용된 갑판이동로의 개발 목적이다.

5. 결론

CNT 면상발열체는 신 개념의 발열체라 할 수 있으나, 선박 기자재 중 의장시스템에 실제 납품된 실적이 없는 기술이다.

본 연구에서는 국내 최초로 선박에 적용하기 위해 국내 산업의 전문가 인터뷰 및 적용가능 아이템 분석을 통해 4개 품목(극지운항선박용 갑판이동로, LNG선 코파덤 히팅시스템, 선박 연료탱크 히팅시스템, 극지운항용 갑판 발열매트)을 선정하고 기술로드맵을 제시하였다.

추가로 사업화 가능 제품 검증을 위해 발열 갑판이동로를 선정하였으며, 갑판이동로에 대한 제품분석, 설치상의 문제점 조사, 특허분석을 실시하였고, 이를 통해 기술개발 목표, 기술개발 내용 그리고 개념도 등을 제시하였다.

이를 바탕으로 향후 4개 품목에 대하여 기술개발 세부과제 도출, 연구비 확보 방안, 공동연구기관 선정 등을 진행할 계획이며, 최종적으로 신규 창업 회사의 매출 발생을 위해 국내 조선소 납품 전략을 수립할 계획이다.

참고 문헌

- Cho, J. H., Hwang, H. S.(2018), Image Processing Technology for Analyzing the Heating State of Carbon Fiber Surface Heating Element, Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, 19(2), 683-688.
- Lee, J. G.(2017), A Study on Characteristics of Surface Heating Element for Preventing Freezing in Polar Marine Using CNT-based Advanced Materials, J. Korean Soc. Mech. Technol. 19(2), 274-280.
- Yang, K., Cho, K., Im, K., Kim, S.(2016), Temperature Maintenance of an ITO Nanoparticle Film Heater, J. Inst. Korean. Electr. Electron. Eng. 20(2), 171-173.



배 상 은

- 1965년생
- 2013년 부경대학교 기술경영협동과정 박사수료
- 현 재 : 정우이앤이(주) 사장
- 관심분야 : 조선해양 기자재 국산화/사업화
- 연 락 처 : ***-*****
- E - mail : sebe@cryogen.co.kr



이 운 식

- 1962년생
- 1994년 2월 KAIST 산업공학과 졸업(공학박사)
- 현 재 : 부경대학교 시스템경영공학부 교수
- 관심분야 : 시스템 최적 설계 및 분석
- 연 락 처 : ***-*****
- E - mail : iewslee@pknu.ac.kr