



- (51) 국제특허분류:
B82B 3/00 (2006.01) *C06B 43/00* (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2015/003113
- (22) 국제출원일: 2015년 3월 30일 (30.03.2015)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2014-0041492 2014년 4월 7일 (07.04.2014) KR
- (71) 출원인: 부산대학교 산학협력단 (PUSAN NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION) [KR/KR]; 609-735 부산시 금정구 부산대학로 63번길 2(장전동, 부산대학교), Busan (KR).
- (72) 발명자: 김수형 (KIM, Soohyung); 612-887 부산시 해운대구 선수촌로 21번길 30, 201동 402호(반여1동, 삼익그린아파트), Busan (KR). 김지훈 (KIM, Jihoon); 612-735 부산시 해운대구 신반송로 102, 202동 1112호(반송2동, 삼한2차아파트), Busan (KR). 김대현 (KIM, Daehyun); 302-841 대전시 서구 둔산로 201, 501동 403호(둔산동, 국화아파트), Daejeon (KR).

(74) 대리인: 오위환 (OH, Wihwan); 135-907 서울시 강남구 봉은사로 116, 5층(역삼동, 은성빌딩), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

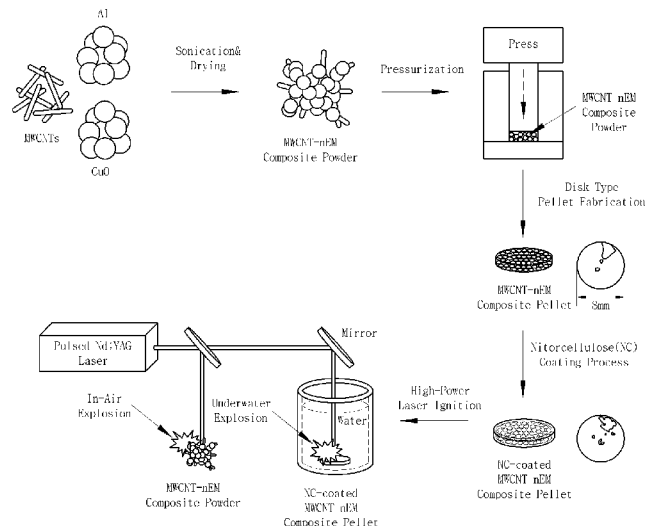
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) Title: NANO-ENERGETIC MATERIAL COMPOSITE HAVING REMOTE IGNITION CHARACTERISTICS BY HIGH-POWER PULSE TYPE LASER BEAM AND METHOD FOR PREPARING SAME

(54) 발명의 명칭 : 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법



(57) Abstract: The present invention relates to a nano-energetic material composite having remote ignition characteristics by a high-power pulse type laser beam and a method for preparing the same, wherein the nano-energetic material composite allows remote ignition through a high-power laser beam by adding various contents of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) to nano-energetic composite materials. The present invention relates to a multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs)/nano-energetic materials (nEMs) composite powder prepared by adding multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), which increase the combustion rate of the composite powder through heat energy transfer at the time of optical remote ignition by a laser beam, to nano-energetic materials in which fuel material nanoparticles are mixed with metal oxidant nanoparticles.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



본 발명은 나노고에너지 복합체 물질에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합된 나노고에너지 물질에, 레이저빔에 의한 광학적 원격 점화시에 열에너지전달을 통해 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말이다.

명세서

발명의 명칭: 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 나노고에너지물질 복합체에 관한 것으로, 구체적으로 나노고에너지 복합체 물질에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 최근의 고유가 상황과 이에 따른 대체에너지 개발 필요성뿐만 아니라 앞으로 지구의 가장 큰 문제로 인식되고 있는 지구 온난화 문제 등에 따라서 에너지 문제에 대한 심각성과 이에 대한 과학자들의 역할이 중요시되고 있다.
- [3] 태양 에너지, 풍력, 지열, 조력 등을 이용하는 많은 대체 및 재생가능 에너지원은 근본적으로 항상 일정한 에너지를 생산해내지 못하거나 우리가 원하는 시간과 장소에서 에너지를 얻지 못하는 한계가 있다.
- [4] 따라서, 새로운 고에너지 물질의 개발과 함께 에너지의 저장 및 이동에 대한 연구가 점점 중요하게 받아들여지고 있다.
- [5] 나노고에너지물질(Nano Energetic Materials, nEMs)은 나노스케일의 연료물질(fuel)과 산화제물질(oxidizer)로 이루어진 복합체 물질로 점화 시 내부적으로 가지고 있던 화학에너지를 매우 짧은 시간에 열에너지와 폭발압력의 형태로 방출하는 특성을 갖고 있다.
- [6] 나노고에너지물질의 점화방법에는 전통적으로 기계적 충격(mechanical impact), 화염(flame), 전기적 스파크(electric spark) 등이 있다.
- [7] 이러한 전통적인 기계적, 열적, 전기적 점화 방식은 나노고에너지물질의 점화에 매우 효과적이지만, 온도 및 압력 등의 외부환경에 많은 영향을 받고 점화를 위해서는 반드시 고에너지물질과 외부에너지원의 직접적인 접촉이 요구되기 때문에 다양한 열공학 시스템으로의 응용에 큰 한계점으로 작용한다.
- [8] 이와 반면에 고에너지물질에 대한 광학적 점화방식은 전통적인 기계적, 열적, 전기적 점화 방식보다 다양한 열공학 시스템에 매우 효과적으로 응용될 수 있는 장점이 있다.
- [9] 즉, 광조사(light irradiation)를 고에너지물질의 점화용으로 이용할 경우 고에너지물질과 광원(light source)의 직접적인 접촉이 요구되지 않고 원거리에서의 원격 점화(remote ignition)가 가능하게 된다.
- [10] 또한, 점화용 광원은 주변의 온도, 압력, 습도 등과 같은 환경적 변수에 비교적 덜 민감하다는 장점도 있다. 고에너지물질의 광학적 점화를 위해서는 충분한

에너지가 필요한데, 이러한 광에너지를 최소화하면서 비교적 쉽게 나노고에너지물질(nEMs)을 광학적으로 점화할 수 있는 방식의 개발은 나노고에너지물질(nEMs)의 열공학적 응용 범위를 극대화할 수 있을 것이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [11] 본 발명은 이와 같은 종래 기술의 고에너지물질 및 그의 점화 방법의 문제를 해결하기 위한 것으로, 나노고에너지 복합체 물질에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [12] 본 발명은 나노고에너지물질의 원격점화와 이를 이용한 공기 및 수중 폭발에의 응용을 위해 고출력 Nd:YAG 레이저를 기반으로 한 새로운 광학적 원격점화방법을 제공하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [13] 본 발명은 평균 직경 약 ~20 nm를 갖는 다중벽 탄소나노튜브를 나노고에너지물질의 레이저빔 점화 시 나노고에너지 물질내의 열에너지 전달매개체로써 거시적인 폭발반응성을 조절할 수 있도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [14] 본 발명은 MWCNTs/nEMs 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성시켜 MWCNT/nEMs 복합체 분말이 수중에서 흐트러지지 않으면서 반응성물질간의 매우 조밀한 결합상태를 유지할 수 있도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [15] 본 발명은 MWCNTs/nEMs 복합체 물질에 MWCNTs의 함량이 1 wt% ~ 2 wt%로 하여 점화 시 효과적인 열에너지전달을 통해 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 결과를 이끌어 낼 수 있도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [16] 본 발명은 나노고에너지 물질 펠렛의 공기 및 수중 점화 시 자동구동 반사경(mirror) 및 위치추적 가능한 소형센서를 이용한 원거리 레이저 점화시스템 구축이 가능하도록 한 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [17] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을

것이다.

과제 해결 수단

- [18] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체는 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합된 나노고에너지 물질에, 레이저빔에 의한 광학적 원격 점화시에 열에너지전달을 통해 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말인 것을 특징으로 한다.
- [19] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체는 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합된 나노고에너지 물질에, 레이저빔에 의한 광학적 원격 점화시에 열에너지전달을 통해 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 압축하여 형성한 박막형 펠렛(pellets)이고, 박막형 펠렛(pellets) 표면에는 니트로셀룰로오스(NC) 방수용 박막이 형성된 것을 특징으로 한다.
- [20] 여기서, 상기 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)가 1 wt% ~ 2 wt% 첨가되는 것을 특징으로 한다.
- [21] 그리고 연료 물질은 알루미늄(Al) 나노입자를 사용하고, 산화제(oxidizer)물질은 산화구리(CuO) 나노입자를 사용하여 두 물질을 혼합한 나노고에너지 복합체 물질을 합성하는 것을 특징으로 한다.
- [22] 그리고 상기 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합 비율, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs) 첨가 비율은 폭발압력상승률(pressurization rate), 연소율(combustion rate), 점화지연시간(ignition delay time) 및 총연소시간(total burn time)을 기준으로 결정되는 것을 특징으로 한다.
- [23] 그리고 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 펄스형 Nd:YAG 레이저빔이 원격에서 조사되면 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)가 나노고에너지물질 내부의 열에너지전달 매개체가 되어 공기 또는 수중에서 점화, 연소 및 폭발이 일어나는 것을 특징으로 한다.
- [24] 그리고 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 내부에 위치추적 가능한 소형센서가 구성되어 추적된 위치에 레이저빔이 조사되도록 하는 것을 특징으로 한다.
- [25] 그리고 원격에서 조사되는 레이저 빔은 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체의 위치 추적 이후에, 레이저 빔 중간 경로에 설치된 반사경들의 각도제어를 통해 입사각 조절되어

다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체에 입사되는 것을 특징으로 한다.

- [26] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법은 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합하여 나노고에너지 물질을 형성하는 단계; 나노고에너지 물질에 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하고 초음파 에너지를 이용하여 혼합하여 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 형성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [27] 여기서, 나노고에너지 물질을 형성하는 단계는, Al 나노입자와 CuO 나노입자를 3:7의 질량비율로 혼합하는 것을 특징으로 한다.
- [28] 그리고 나노고에너지 물질에 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하는 과정에서, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 1 wt% ~ 2 wt% 첨가하는 것을 특징으로 한다.
- [29] 그리고 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 형성하는 단계에서, MWCNTs/Al/CuO 분말을 에탄올용액 내에서 초음파 에너지를 이용하여 30분간 혼합하고 대류형 건조기(convective oven)에 넣고 가열함으로써 에탄올용액을 건조하여 제거하여 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 형성하는 것을 특징으로 한다.
- [30] 그리고 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 원판형 몰드(disk-type mold)에 넣고 열압축기(mount press)를 이용하여 압축하여 원판형의 MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛을 제조하는 단계와, MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛 표면에 수분침투를 막기 위해 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜 MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛 표면에 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [31] 이와 같은 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법은 다음과 같은 효과를 갖는다.
- [32] 첫째, 나노고에너지 복합체 물질에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 한다.
- [33] 둘째, 고출력 Nd:YAG 레이저를 기반으로 한 새로운 광학적 원격점화 방법으로 나노고에너지 물질의 원격점화와 이를 이용한 공기 및 수중 폭발에의 응용을 가능하게 한다.
- [34] 셋째, 다중벽 탄소나노튜브를 나노고에너지물질의 레이저빔 점화 시

나노고에너지물질내의 열에너지 전달매개체로써 거시적인 폭발반응성을 조절할 수 있도록 한다.

- [35] 넷째, MWCNTs/nEMs 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성시켜 MWCNT/nEMs 복합체 분말이 수중에서 흐트러지지 않으면서 반응성물질간의 매우 조밀한 결합상태를 유지할 수 있도록 한다.
- [36] 다섯째, MWCNTs/nEMs 복합체 물질에 MWCNTs의 함량이 1 wt% ~ 2 wt%로 하여 점화 시 효과적인 열에너지전달을 통해 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 연소율을 상승시킬 수 있다.
- [37] 여섯째, 나노고에너지 물질 펠렛의 공기 및 수중 점화시 자동구동 반사경(mirror) 및 위치추적 가능한 소형센서를 이용한 원거리 레이저 점화시스템 구축이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [38] 도 1은 본 발명에 따른 나노고에너지물질 복합체 제조 및 광학적 점화 과정을 나타낸 구성도
- [39] 도 2는 본 발명에 따른 나노고에너지물질 복합체의 제조 공정을 나타낸 플로우 차트
- [40] 도 3은 본 발명에 따른 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 XRD 분석 결과 그래프
- [41] 도 4는 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의해 점화된 MWCNTs (0, 1, 2, 5, 10 wt%)/nEMs 복합체 분말의 고속카메라 측정 영상
- [42] 도 5는 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의해 점화된 MWCNTs (0, 1, 2, 5, 10 wt%)/nEMs 복합체 분말의 고속카메라 측정 영상의 개략도
- [43] 도 6은 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의한 NC 박막 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 수중 점화 및 폭발반응 고속카메라 측정 영상
- [44] 도 7은 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의한 NC 박막 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 수중 점화 및 폭발반응 고속카메라 측정 영상의 개략도

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [45] 이하, 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [46] 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [47] 도 1은 본 발명에 따른 나노고에너지물질 복합체 제조 및 광학적 점화 과정을 나타낸 구성도이고, 도 2는 본 발명에 따른 나노고에너지물질 복합체의 제조 공정을 나타낸 플로우 차트이다.

- [48] 본 발명은 나노고에너지물질에 대한 새로운 점화방식의 개발에 관한 것으로, 나노고에너지물질의 고출력 레이저빔에 의한 광학적 원격 점화방식에 관한 것이다.
- [49] 나노고에너지물질의 점화용으로 레이저빔 조사(laser beam irradiation)를 이용할 경우에는,
- [50] (i) 나노고에너지물질과 광원(light source)의 직접적인 접촉이 필요 없고,
- [51] (ii) 원거리에서의 원격 점화(remote ignition)가 가능하며,
- [52] (iii) 주변 환경변수(예. 온도/압력/습도)에 덜 민감하다는 장점들이 있다.
- [53] 따라서, 이러한 새로운 고출력 레이저빔 조사를 통한 나노고에너지물질 점화방식의 개발은 나노고에너지물질의 열공학적 응용 범위를 극대화할 수 있을 것이다.
- [54] 이와 같은 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법의 일 실시 예에서는 나노고에너지물질의 원격점화와 이를 이용한 공기 및 수중 폭발에의 응용을 위해 고출력 Nd:YAG 레이저를 기반으로 한 광학적 원격점화 방법을 적용한다.
- [55] 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체는,
- [56] 나노고에너지물질 기반의 분말(powder) 및 펠렛(pellet)을 제조하는 것으로, 연료(fuel) 물질로는 알루미늄(Al) 나노입자를 사용하였고, 산화제(oxidizer)물질로는 산화구리(CuO) 나노입자를 사용하여 두 물질을 혼합한 나노고에너지 복합체 물질을 합성한다.
- [57] 여기에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화 시 나노고에너지물질 내부의 열에너지전달 특성 및 폭발특성의 변화를 추적하여 그에 따라 다중벽 탄소나노튜브 첨가 함량을 결정하는 것이다.
- [58] 특히, 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조는 고출력 레이저빔 점화 시 나노고에너지물질의 공기 및 수중에서의 레이저빔 점화, 연소 및 폭발 특성을 개선하기 위하여, 폭발압력상승률(pressurization rate), 연소율(combustion rate), 점화지연시간(ignition delay time) 및 총연소시간(total burn time)을 고려하여 제조한다.
- [59] 바람직하게는 MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 다음과 같이 제조한다.
- [60] Al 나노입자와 CuO 나노입자를 3:7의 질량비율로 혼합하고, 여기에 각각 0, 1, 2, 5, 10 wt%의 비율로 MWCNTs를 첨가하여 만들어진 MWCNTs/Al/CuO 분말을 에탄올용액 내에서 초음파 에너지(ultrasonication energy, 초음파 출력=170 W, 초음파 주파수=40 kHz)를 이용하여 30분간 혼합하고, 대류형 건조기(convective oven)에 넣고 80°C에서 30분간 가열함으로써 에탄올용액을 건조하여 제거한 후 최종적인 MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 제조하는 것이다.

- [61] 또한, 수중폭발을 위하여, MWCNTs/nEMs 복합체 분말에 고압을 가하여 박막형 펠렛(pellets)을 제조하고 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜 펠렛 표면에 니트로셀룰로오스(NC) 방수용 박막을 생성하는 것이다.
- [62] 이와 같은 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 공정은,
- [63] 도 2에서와 같이, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 제조하는 단계(S201)와, Al 나노입자와 CuO 나노입자를 3:7의 질량비율로 혼합하는 단계(S202)와, MWCNTs를 첨가하는 단계(S203)와, MWCNTs/Al/CuO 분말을 에탄올용액 내에서 초음파 에너지(ultrasonication energy, 초음파 출력=170 W, 초음파 주파수=40 kHz)를 이용하여 30분간 혼합하는 단계(S204)와, 대류형 건조기(convective oven)에 넣고 가열함으로써 에탄올용액을 건조하여 제거한 후 최종적인 MWCNTs/nEMs 복합체 분말 제조하는 단계(S205)와, MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 원판형 몰드(disk-type mold)에 넣고 열압축기(mount press)를 이용하여 압축하여 원판형의 MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛을 제조하는 단계(S206)와, MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛 표면에 수분침투를 막기 위해 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜 최종적으로 MWCNTs/nEMs 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성하는 단계(S207)를 포함한다.
- [64] 구체적으로 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 공정을 설명하면 다음과 같다.
- [65] 연료금속물질(fuel metal)로 평균직경 ~80 nm를 갖는 알루미늄(Al, NT base, Korea) 나노입자를 사용하였고, 금속산화제(metal oxide)물질로 평균직경 ~100 nm를 갖는 산화구리(CuO, NT base, Korea) 나노입자를 각각 사용한다.
- [66] 도 1에서와 같이, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)와 나노고에너지물질(nEMs, 즉, Al 나노입자+CuO 나노입자) 복합체 분말 및 펠렛을 각각 제조한다.
- [67] 여기서, 평균직경 약 ~20 nm를 갖는 다중벽 탄소나노튜브는 나노고에너지물질의 레이저빔 점화 시 나노고에너지물질내의 열에너지 전달매개체로써 거시적인 폭발반응성을 조절하기 위한 것이다.
- [68] 그리고 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 경우 먼저 Al 나노입자와 CuO 나노입자를 3:7의 질량비율로 혼합하고, 여기에 각각 0, 1, 2, 5, 10 wt%의 비율로 MWCNTs를 첨가한다.
- [69] 여기서, MWCNTs를 첨가하는 비율은 실시 예에서와 같이 한정되는 것이 아니고 첨가 비율을 다르게 하여 제조 공정을 진행할 수 있음은 당연하다.
- [70] 이후 MWCNTs/Al/CuO 분말을 에탄올용액 내에서 초음파 에너지(ultrasonication energy, 초음파 출력=170 W, 초음파 주파수=40 kHz)를 이용하여 30분간 혼합한다.
- [71] 그리고 이와 같이 준비된 물질을 대류형 건조기(convective oven)에 넣고 80°C에서 30분간 가열함으로써 에탄올용액을 건조하여 제거한 후 최종적인

- MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 제조한다.
- [72] 이와 같이 다양한 MWCNTs 함량에 따른 nEMs 복합체의 공기중 폭발특성을 분석하기 위하여 고출력 Nd:YAG 레이저빔 원격 점화 시험을 다음과 같이 수행하는 것이 바람직하다.
- [73] 사용되는 펄스형 레이저는 Q-switched Nd:YAG Laser (Continuum, Model No. SureliteII-10)로써 다음과 같은 작동조건을 갖는다.
- [74] 구체적으로 펄스폭(pulse width)은 5-7 nsec, 파장(wavelength)은 532 nm, 출력(power)은 3W (Q switch delay setting@180us), 빔직경(beam diameter)은 7 mm 이다.
- [75] MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 유리판에 원형 정렬(직경: 8 mm)하고, MWCNTs/nEMs 복합체 분말이 놓인 유리판 위로 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔을 원격 조사한다.
- [76] 이때 전체 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 상압 공기중에서 점화 및 폭발 반응을 고속카메라(Photron, FASTCAM SA3 120K)를 이용하여 30 kHz의 프레임속도로 촬영한다.
- [77] 고속카메라는 최고 프레임속도(Max. frame rate)는 1200000 fps, 최소 프레임속도(Min. frame rate)는 60 fps, 센서크기(Sensor size)는 17.4 mm x 17.4 mm CMOS image sensor, 화소크기(Pixel size) 17 um x 17 um, 작동전압 및 전류 조건은 각각 DC 22-32V 100VA, AC 100-240 V 10-60 Hz, 60 VA 이다.
- [78] 나노고에너지물질(nEMs) 분말의 공기중 점화 및 폭발 특성과는 전혀 다르게, 수중에서는 nEMs 분말의 경우 연료물질 및 산화제물질을 둘러싸고 있는 물분자의 산소공급 교란효과와 점화를 위한 외부에너지 공급 시 빠른 냉각효과로 nEMs의 안정적인 수중점화 및 연속적인 폭발반응 유도가 매우 어렵다.
- [79] 그러므로 nEMs 복합체의 수중 점화 및 폭발 응용을 위해서는 반응성물질인 MWCNT/nEMs 복합체 분말이 수중에서 흐트러지지 않으면서 반응성물질간의 매우 조밀한 결합상태를 유지할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다.
- [80] 이를 위해 본 발명에서는 다음과 같이 복합체 펠렛 및 박막 형성을 한다.
- [81] MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛(pellet)을 다음과 같이 제조한다.
- [82] 일 실시 예로 26 mg의 MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 원판형 몰드(disk-type mold)에 넣고 열압축기(mount press)를 이용하여 5 MPa의 압력으로 10분간 압축하여 직경 8 mm x 높이 0.4 mm를 갖는 원판형의 MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛을 제조한다.
- [83] 이렇게 만들어진 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛 표면에 수분침투를 막기 위해 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜 최종적으로 MWCNTs/nEMs 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성시킨다.
- [84] 이렇게 NC가 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛을 물이 가득찬 수조에

바닥에 고정시키고 수면 상부에서 고출력 Nd:YAG 레이저빔을 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛 상부표면에 조사하여 수중에서 점화 및 폭발 특성 시험을 수행하면 다음과 같이 수행한다.

- [85] 도 1에서와 같이, 레이저빔 조사에 의한 NC 박막이 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 수중 점화 및 폭발 반응은 고속카메라(Photron, FASTCAM SA3 120K)를 이용하여 다양한 프레임속도로 실시간 측정한다.
- [86] 도 1은 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs)와 나노고에너지물질(nEMs=Al+CuO) 복합체 분말 및 펠렛의 제조 공정과 이들의 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의한 공기 및 수중에서의 광학적 점화 및 폭발현상을 추적하기 위한 구성도이다.
- [87] 이와 같은 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법에 의해 제조된 MWCNTs/nEMs 복합체의 물리적 구조, 혼합 정도와 화학성분 등을 SEM/TEM 분석을 수행하여 확인하면 다음과 같다.
- [88] SEM/TEM 분석을 수행하여 확인하면, Al 연료물질 나노입자와 CuO 금속산화제 나노입자가 서로간의 표면에 강하게 부착 연결되어 있는 것을 확인할 수 있다.
- [89] 또한, Al과 CuO 나노입자 복합체내에서 MWCNTs가 나노스케일에서 비교적 균일하게 분산 혼합된 것을 확인할 수 있다.
- [90] 마찬가지로, TEM 사진 및 Scanning TEM 화학조성 분석결과에서도 Al 나노입자, CuO 나노입자, MWCNTs가 나노스케일 영역에서 매우 균일하게 분산되어 있음을 확인할 수 있다.
- [91] 또한, 도 3에서 보는 XRD 측정결과와 같이 연료금속과 금속산화제 나노입자로부터 X선 입사에 의한 Al 및 CuO 결정의 신호가 강하게 발생하는 것을 추가적으로 확인할 수 있다.
- [92] 본 발명에 의해 제조한 MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 먼저 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔을 이용하여 공기중에서 원격점화 및 폭발 특성을 확인하는 과정은 다음과 같다.
- [93] 공기중에서의 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 점화 및 폭발반응은 고속카메라를 이용하여 실시간으로 확인하고, 최종적으로 폭발반응 동영상 및 정지이미지 분석을 통해 점화지연시간, 연소율, 총연소시간 등을 결정한다.
- [94] 다양한 혼합비율을 갖는 MWCNTs(0, 1, 2, 5, 10 wt%)/nEMs 복합체 분말들의 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 원격점화와 공기중에서의 폭발 화염이 전파되는 이미지 결과는 도 4 및 도 5에서와 같다.
- [95] 정지사진(Snapshot) 분석을 기반으로 나노고에너지물질의 연소율(burn rate)을 계산한다.
- [96] 여기서, 나노고에너지물질의 연소율은 나노고에너지물질 시료의 총길이를 화염이 시료의 한쪽 끝에서 출발하여 다른쪽 끝에 도달하는데 걸리는

총시간으로 나누어 계산한다.

[97] 도 4 및 도 5의 결과에서와 같이 우선 나노고에너지물질(nEMs) 분말이 고출력 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의해 공기중에서 성공적으로 점화 및 폭발반응이 유도됨을 확인할 수 있다.

[98] 즉, 나노고에너지물질 분말이 고출력 Nd:YAG 레이저빔에 노출되었을 때 노출 부위에 지엽적인 점화 현상이 발생하고, 이와 동시에 수반된 지엽적인 고온화염이 인접한 나노고에너지물질(nEMs)로 연쇄적으로 전달되면서 최종적으로 거시적인 연소 및 폭발 현상으로 나타나게 된다.

[99] 표 1

[Table 1]

MWCNT contents(wt%)	Ignition delay time(ms)		Total burn time(ms)		Burn rate(m/s)	
	In-Air	Underwater	In-Air	Underwater	In-Air	Underwater
0	~0.0	~0.3	~15	~12	~54	~30
1	~0.0	~0.4	~13	~11	~60	~34
2	~0.0	~0.6	~16	~13	~48	~28
5	~0.0	~1.3	~21	~14	~27	~14
10	~0.0	~3.0	~48	~70	~4	~3

[100] 표 1은 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의한 MWCNTs/nEMs 복합체 분말(즉, MWCNTs/Al 나노입자/CuO 나노입자)의 공기중 점화 및 NC 박막코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 수중 점화, 그리고 이들의 점화 후 연소폭발 시 점화지연시간(ignition delay time), 총연소시간(total burn time) 및 연소율(burn rate) 측정 결과를 나타낸 것이다.

[101] 표 1에 나타낸 바와 같이 레이저빔 조사에 의한 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 점화지연시간은 MWCNTs의 첨가량에 관계없이 거의 0s에 가깝게 나타났고, 이것은 나노고에너지물질이 레이저빔 조사에 의해 공기중에서 지연 없이 거의 순간적으로 점화가 일어나는 것임을 의미한다.

[102] 레이저빔 점화 후 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs), 연료(Al), 산화제(CuO) 입자들 사이에서의 열전달 특성에 따라 나노고에너지물질 복합체의 거시적인 폭발반응성이 달라질 수 있는데, 표 1에 정리하여 나타난 바와 같이 각 MWCNTs(1, 2, 5, 10 wt%)/nEMs 복합체 분말의 공기중 연소율(burn rate)은 각각 약 60 m/s@MWCNT=1 wt%, 48 m/s@MWCNT=2 wt%, 27 m/s@MWCNT=5 wt%, 4 m/s@MWCNT=10 wt% 값으로 계산된다.

[103] 이러한 결과는 결국 나노고에너지물질(nEMs)에 일정량 이상의 MWCNTs를

첨가할 경우 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 점화 시 폭발반응을 다소 감소시켜 줄 수 있다는 것을 의미한다.

- [104] 즉, nEMs Matrix내에서 MWCNTs의 함량이 1 wt% 미만인 경우는 점화 시 효과적인 열에너지전달을 통해 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 결과를 이끌어 낼 수 있었지만, MWCNTs의 함량이 약 2 wt%를 초과할 경우에는 MWCNTs/nEMs 복합체 분말의 연소율이 급격하게 감소하는 것으로 보아 일정량 이상의 MWCNTs는 균일하게 혼합되어 있지 못하고 다소 덩어리지는 현상이 발생하며 이는 레이저빔에 의해 점화된 nEMs의 열을 내부적으로 균일하게 분산시키지 못하고 열에너지 전달을 방해하거나 오히려 주변 외기로 열에너지를 발산(dissipation)하는 역할을 함으로써 나노고에너지물질이 연속적으로 연소 및 폭발 반응을 일으킬 수 있을 만큼의 온도상승을 저해하기 때문에 최종적으로 거시적인 연소율이 급격히 감소되는 것으로 판단된다.
- [105] 이와 같이 나노고에너지물질내의 MWCNT의 첨가량이 증가할수록 연소율의 감소를 가져오게 되고, 이는 결과적으로 나노고에너지물질의 연소과정을 느리게 하는 것이므로 최종적으로 거시적인 총연소시간(total burn time)을 증가시켜주는 결과를 나타내게 된다.
- [106] 따라서, 본 발명의 실시 예에서는 나노고에너지물질내의 MWCNT의 첨가량을 1 wt% ~ 2 wt%로 한다.
- [107] 그리고 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔을 이용하여 공기중에서 MWCNTs/nEMs 복합체 분말을 점화하는 경우와는 다르게, MWCNTs/nEMs 복합체에 대해 수중에서의 점화 및 폭발 반응을 유도하기 위해서는 먼저 일정량의 MWCNTs/nEMs 복합체 분말에 고압을 가하여 박막형 펠렛(pellets)을 제조하고 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜 펠렛 표면에 니트로셀룰로오스(NC) 방수용 박막을 생성시킨다.
- [108] 이렇게 NC 박막 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛을 물이 채워진 수조(실험에서 물 높이는 약 5 cm로 항상 고정하여 유지)의 바닥에 고정시키고, 도 1에서와 같이 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔을 반사거울(mirror)을 이용하여 수면에 수직인 방향으로 조사하여 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛 표면을 점화시킨다.
- [109] 이때, 고출력 펄스형 레이저빔을 이용한 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 점화 및 연속적인 폭발과정은 동일하게 고속카메라(Photron, FASTCAM SA3 120K)를 통해 측정 및 녹화한다.
- [110] 도 6 및 도 7은 고출력 펄스형 Nd:YAG 레이저빔 조사에 의한 NC 박막 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛(즉, NC박막/MWCNTs/Al 나노입자/CuO 나노입자)의 수중 점화 및 폭발반응 고속카메라 측정 결과 스냅샷(snapshot) 및 개략도이다.
- [111] 그 결과 도 6 및 도 7에 보이는 바와 같이 레이저빔을 수중으로 조사하자 NC

박막 코팅된 nEMs 펠렛(즉, NC 박막/Al 나노입자/CuO 나노입자)과 NC 박막 코팅된 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛(즉, NC 박막/MWCNT/Al 나노입자/CuO 나노입자)의 경우 모두 점화와 동시에 순간적인 폭발에 의한 굉음이 발생하였으며 수중에 담겨 있던 대부분의 물이 일시적으로 위로 솟구치는 매우 강한 충격파를 일으킴을 관찰할 수 있다.

- [112] 그러나 NC 박막 코팅을 하지 않은 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛(즉, MWCNT/Al 나노입자/CuO 나노입자)의 경우는 레이저빔 조사에 의한 점화 및 폭발연소반응이 수중에서 전혀 일어나지 않았다.
- [113] 이는 NC 박막 코팅을 하지 않은 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 경우에는 물이 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛 내부에 깊숙이 침투하여 MWCNTs/nEMs의 점화 및 폭발연소반응에 필요한 최소한의 열마저도 빼앗아 급속하게 냉각시킴으로써 MWCNTs/nEMs 복합체의 연쇄적인 점화 및 폭발반응을 방해하기 때문이다.
- [114] 또한, NC 박막 코팅을 하더라도 CuO 나노입자가 없는 순수한 연료금속 Al 나노입자만을 압축하여 펠렛(즉, NC 박막/Al 나노입자)으로 만든 경우에도 레이저빔 조사에 의한 점화 및 폭발연소반응이 전혀 일어나지 않았다.
- [115] 공기중에서는 레이저빔에 의한 순수 Al 나노분말의 점화 시 주변 공기로부터의 산소공급이 확산에 의해 일어나므로 순수 Al 나노입자 분말은 점화 후 비교적 천천히 연소되는 현상이 발생하지만, 공기중에서와 달리 수중에서는 Al 나노입자의 레이저빔 점화 후 연소시에 필요한 산소공급이 오로지 CuO 나노입자와 같은 금속산화제에서만 공급가능한데 NC 박막이 코팅된 순수 Al 나노입자 기반 펠렛에는 연소반응시 필요한 산소공급원이 전혀 존재하지 않게 되므로 점화 및 폭발연소현상이 발생하지 않는 것이다.
- [116] 따라서, 고출력 레이저빔 조사에 의해 수중에서 나노고에너지물질(nEMs) 복합체 펠렛에 대한 점화 및 폭발연소 반응을 일으키기 위해서는 연료물질(fuel metal), 금속산화제(metal oxide), 펠렛 표면에 수분침투 방지용 방수막(Polymer) 등이 필수적으로 필요한 것을 확인할 수 있다.
- [117] 이를 위해 본 발명에서는 각각의 용도로 연료물질용 Al 나노입자(Al nanoparticles), 산화제용 산화구리 나노입자(CuO nanoparticles), 그리고 방수막 생성용 니트로 셀룰로오스(NC) 박막을 적용하여 나노고에너지물질 복합체 펠렛의 수중에서의 고출력 레이저빔 점화 및 폭발력 제어를 가능하게 한 것이다.
- [118] 표 1에 공기중에서의 점화 특성과는 다르게 수중에서의 점화지연시간(ignition delay time) 결과는 nEMs 물질 내부에 MWCNT의 첨가량이 증가하면 레이저빔 조사 시에 점화지연시간이 매우 길어지는 것을 볼 수 있다.
- [119] 약 10 wt%의 MWCNT가 nEMs 물질내부에 첨가되면 점화지연시간이 약 3.0 ms로 이는 MWCNT가 전혀 첨가되지 않은 경우의 nEMs 물질의 점화지연시간인 0.3 ms에 비해 약 10배 가량 늦추어 지는 것인데, 이는 nEMs 표면에 조사되는 레이저빔의 흡수에 의한 열발생을 MWCNT가 주변으로 빠르게 소산(dissipation)시키는 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다.

- [120] 하지만, 레이저빔에 의해 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛이 일단 점화되고 나면 연소율(burn rate)은 최소량의 MWCNTs(1 wt%)가 첨가된 경우에 약 34 m/s로 다소 빨라졌다가 다시 5 wt% 이상의 MWCNTs가 첨가된 경우에는 연소율이 약 14 m/s 이하로 급격하게 감소하는 것을 관찰할 수 있다.
- [121] 이것도 역시 일정량의 MWCNT는 열에너지 전달매개체로써 nEMs 물질내에서 균일한 열에너지 전달의 역할을 해주지만, 일정량 이상의 MWCNT가 nEMs 내부에 첨가될 경우에는 심각한 덩어리 생성 현상 등으로 인하여 균일한 열전달을 하지 못하고 오히려 열흐름을 방해하거나 주변으로 열을 발산시키는 저해요소로써 작용하는 것으로 판단된다.
- [122] 이러한 결과로 nEMs 내부에 MWCNT의 첨가량이 증가할수록 MWCNTs/nEMs 복합체 펠렛의 레이저빔 점화 시 수중에서의 총연소시간은 결과적으로 증가하는 것을 표 1에서 관찰할 수 있고 이는 MWCNT가 nEMs 내부에서 열에너지 전달을 늦추어주는 역할을 한 결과로 판단된다.
- [123] 그리고 레이저빔 출력크기 조절에 의한 나노고에너지물질의 점화 가능성 변화를 설명하면 다음과 같다.
- [124] 고출력 Nd:YAG 레이저빔을 이용한 나노고에너지물질의 원격 점화에 있어서 출력크기는 매우 중요한 변수중의 하나이다.
- [125] 본 발명에서 사용된 Nd:YAG 레이저의 최고 출력값(power)은 2W (Q switch delay setting@180us)이나 레이저빔 출력의 크기를 변화시킬 경우 나노고에너지물질이 최소 특정출력 이상에서 점화되는 현상을 관찰할 수 있다.
- [126] 즉, 수심 5cm 의 경우 최소출력 0.260W (Q switch setting@120us)에서 점화 및 폭발하는 것을 관찰할 수 있다.
- [127] 추가적으로 Q switch setting@120 μ s로 고정하여 다양한 수심영역 0~11cm 에서 레이저빔 출력값을 Power meter로 측정하면 표 2에서와 같은 결과를 얻을 수 있었는데, 수심이 약 10cm로 깊어졌을 때 초기 출력값인 0.275W에서 약 8%감소한 0.252W로 감소되는 것을 확인할 수 있다.
- [128] 그러므로, 수중에서의 빛의 산란 등에 의한 레이저빔 에너지 감소를 고려하여 충분한 출력값을 갖는 레이저빔 광원을 사용할 필요가 있음을 확인할 수 있다.
- [129] 표 2

[Table 2]

수심(cm)	출력(mW)
0	275
1	270
2	267.5
3	265
4	262.5
5	260
6	257.5
7	255
8	257.5
9	252.5
10	252.5
11	250

- [130] 그리고 나노고에너지물질 펠렛의 수중 점화 시 물의 깊이에 따른 점화 가능성 변화를 살펴보면 다음과 같다.
- [131] 본 발명의 실시 예에서 최고 수심은 5 cm이나 수심이 더욱 깊어질수록 레이저빔의 세기는 점차적으로 감소될 것으로 예상되고 실제 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.
- [132] 따라서, 물 밖의 외부에 존재하는 레이저 빔 발생장치에서는 일단 충분한 출력크기를 갖는 레이저 출력원이 필요하고, 이들이 중간 매개체인 물을 거쳐 수중에 설치된 나노고에너지물질 펠렛에 도달하는 과정에서 레이저 빔의 흡수 및 산란 등으로 에너지 소실(loss)에 의한 레이저 빔 세기의 감소를 사전에 고려해야 한다.
- [133] 그리고 나노고에너지물질 펠렛의 공기 및 수중 점화 시 자동구동 반사경(mirror) 및 위치추적 가능한 소형센서를 이용한 원거리 레이저 점화시스템 구축을 위한 고려 사항은 다음과 같다.
- [134] 자동적으로 다양한 각도 조절이 가능한 반사경(mirror) 작동시스템을 채용한다면 공기 및 수중의 특정위치에 설치된 나노고에너지물질 분말 혹은 펠렛의 위치 파악 후 레이저 빔 중간 경로에 설치된 반사경들의 다양한 각도제어를 통해 나노고에너지물질에 입사되는 레이저빔의 입사각 조절이 가능하다.
- [135] 이를 이용하여 나노고에너지물질 분말 혹은 펠렛의 원격점화용 레이저 점화 장치시스템을 구축할 수 있다.

- [136] 특히, 나노고에너지물질 분말 혹은 펠렛 내부에 위치추적 가능한 소형센서를 부착하고, 이들을 자동적으로 위치추적 할 수 있는 센서시스템을 갖추면 나노고에너지물질의 위치에 정확하게 레이저빔을 조준하여 점화할 수 있는 원거리 레이저 점화시스템을 구축할 수 있다.
- [137] 이와 같은 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법은 나노고에너지 복합체 물질에 다양한 함량의 다중벽 탄소나노튜브(*multiwalled carbon nanotubes*, *MWCNTs*)를 첨가하여 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 한 것으로, *MWCNTs/nEMs* 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(*Nitrocellulose*, *NC*) 박막을 형성시켜 *MWCNT/nEMs* 복합체 분말이 수중에서 흐트러지지 않으면서 반응성물질간의 매우 조밀한 결합상태를 유지할 수 있도록 한 것이다.
- [138] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [139] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

산업상 이용가능성

- [140] 본 발명에 따른 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체 및 그의 제조 방법은 고출력 레이저빔 원격점화가 가능하도록 *MWCNTs/nEMs* 복합체 원판형 펠렛 외부에 니트로셀룰로오스(*Nitrocellulose*, *NC*) 박막을 형성시켜 *MWCNT/nEMs* 복합체 분말이 수중에서 흐트러지지 않으면서 반응성물질간의 매우 조밀한 결합상태를 유지할 수 있도록 한 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합된 나노고에너지 물질에,
레이저빔에 의한 광학적 원격 점화시에 열에너지전달을 통해 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말인 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 2] 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합된 나노고에너지 물질에,
레이저빔에 의한 광학적 원격 점화시에 열에너지전달을 통해 복합체 분말의 연소율을 상승시키는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하여 제조된 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 압축하여 형성한 박막형 펠렛(pellets)이고,
박막형 펠렛(pellets) 표면에는 니트로셀룰로오스(NC) 방수용 박막이 형성된 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 3] 제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)가 1 wt% ~ 2 wt% 첨가되는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 4] 제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 연료 물질은 알루미늄(Al) 나노입자를 사용하고, 산화제(oxidizer)물질은 산화구리(CuO) 나노입자를 사용하여 두 물질을 혼합한 나노고에너지 복합체 물질을 합성하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 5] 제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합 비율, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs) 첨가 비율은 폭발압력상승률(pressurization rate), 연소율(combustion rate), 점화지연시간(ignition delay time) 및 총연소시간(total burn time)을 기준으로 결정되는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 6] 제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 다중벽

- 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 펄스형 Nd:YAG 레이저빔이 원격에서 조사되면 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)가 나노고에너지물질 내부의 열에너지전달 매개체가 되어 공기 또는 수중에서 점화, 연소 및 폭발이 일어나는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 7] 제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체는, 내부에 위치추적 가능한 소형센서가 구성되어 추적된 위치에 레이저빔이 조사되도록 하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 8] 제 7 항에 있어서, 원격에서 조사되는 레이저 빔은 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체의 위치 추적 이후에, 레이저 빔 중간 경로에 설치된 반사경들의 각도제어를 통해 입사각 조절되어 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체에 입사되는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체.
- [청구항 9] 연료 물질 나노 입자와 금속 산화제 나노 입자가 혼합하여 나노고에너지 물질을 형성하는 단계; 나노고에너지 물질에 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하고 초음파 에너지를 이용하여 혼합하여 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 형성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법.
- [청구항 10] 제 9 항에 있어서, 나노고에너지 물질을 형성하는 단계는, Al 나노입자와 CuO 나노입자를 3:7 의 질량비율로 혼합하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법.
- [청구항 11] 제 9 항에 있어서, 나노고에너지 물질에 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 첨가하는 과정에서, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)를 1 wt% ~ 2 wt% 첨가하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법.
- [청구항 12] 제 9 항에 있어서, 다중벽 탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을

[청구항 13]

형성하는 단계에서,

MWCNTs/Al/CuO 분말을 에탄올용액 내에서 초음파 에너지를 이용하여 30분간 혼합하고 대류형 건조기(convective oven)에 넣고 가열함으로써 에탄올용액을 건조하여 제거하여 다중벽

탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 형성하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법.

제 9 항에 있어서, 다중벽

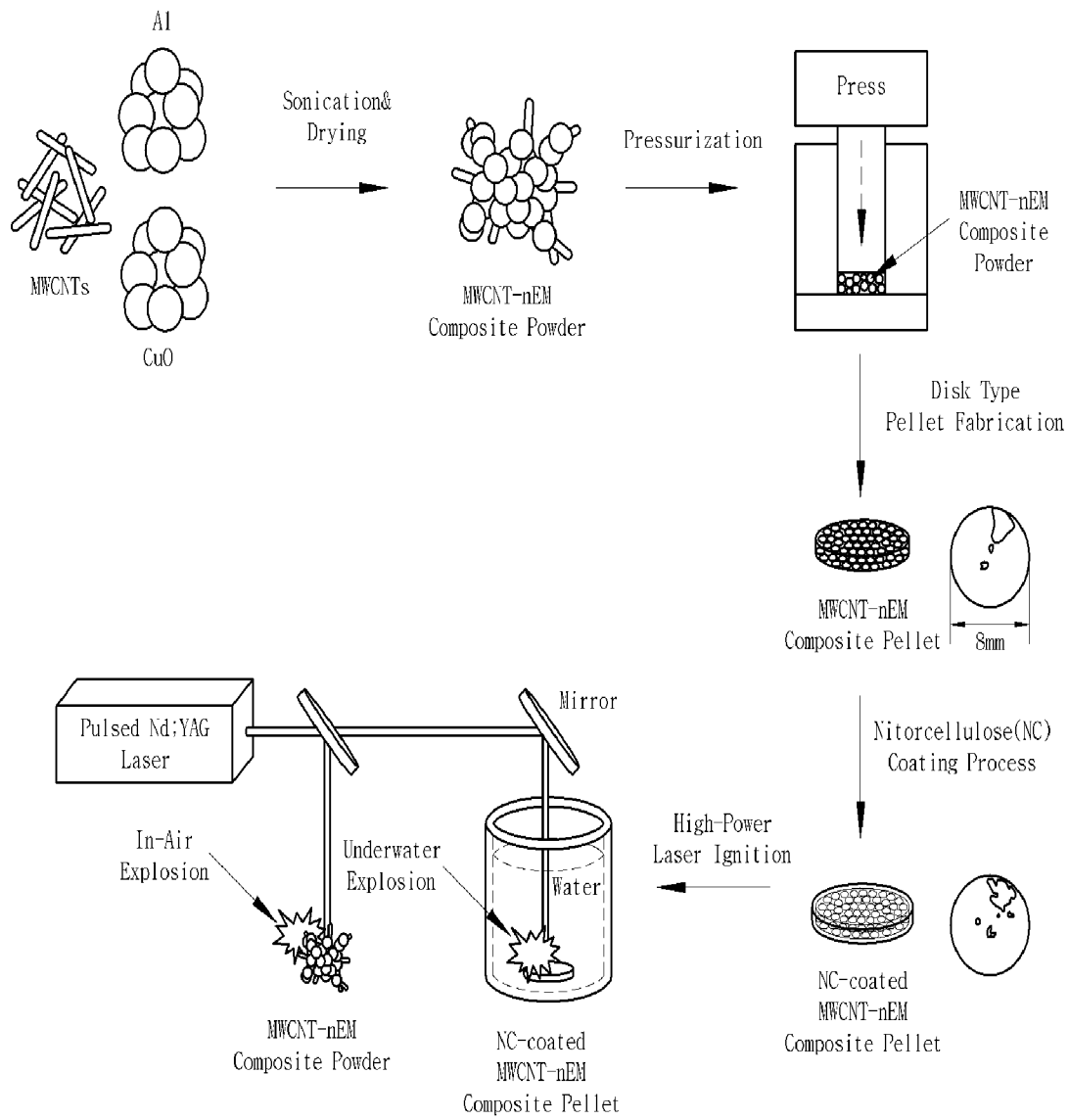
탄소나노튜브(MWCNTs)/나노고에너지물질(nEMs) 복합체 분말을 원판형 몰드(disk-type mold)에 넣고 열압축기(mount press)를 이용하여 압축하여 원판형의 MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛을 제조하는 단계와,

MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛 표면에 수분침투를 막기 위해 콜로디온(collodion) 용액에 침지 및 건조시켜

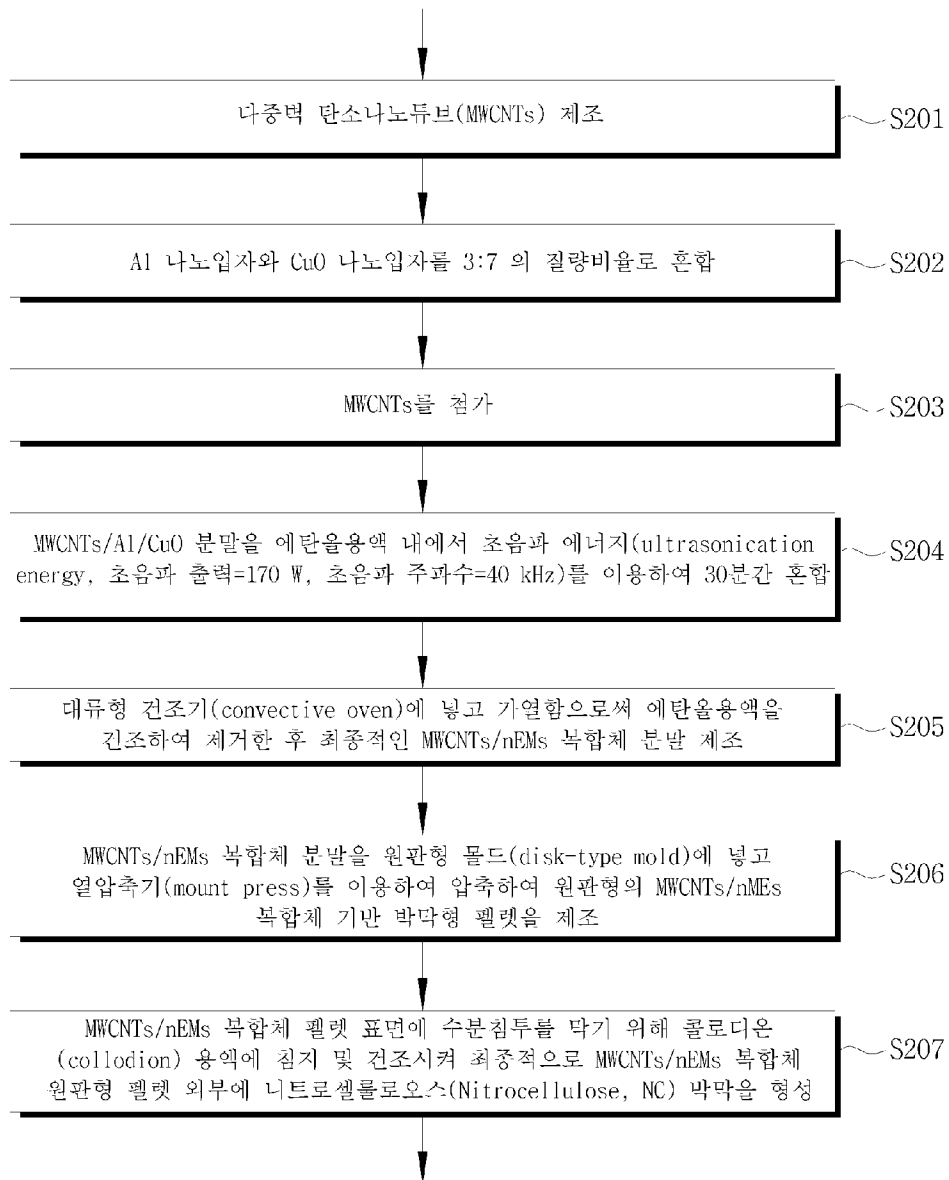
MWCNTs/nEMs 복합체 기반 박막형 펠렛 표면에

니트로셀룰로오스(Nitrocellulose, NC) 박막을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고출력 펄스형 레이저빔에 의한 원격 점화 특성을 갖는 나노고에너지물질 복합체의 제조 방법.

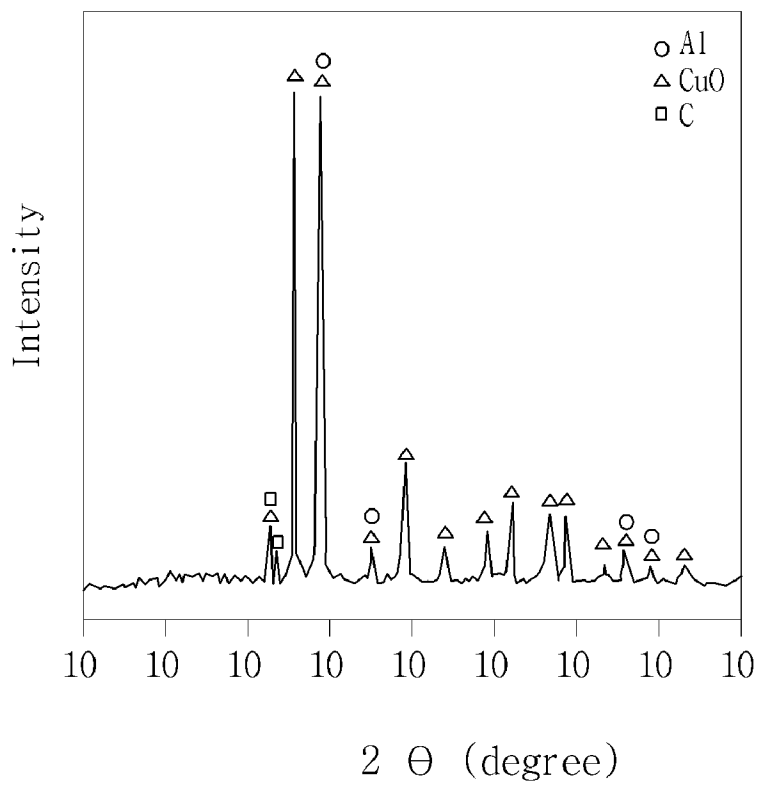
[Fig. 1]



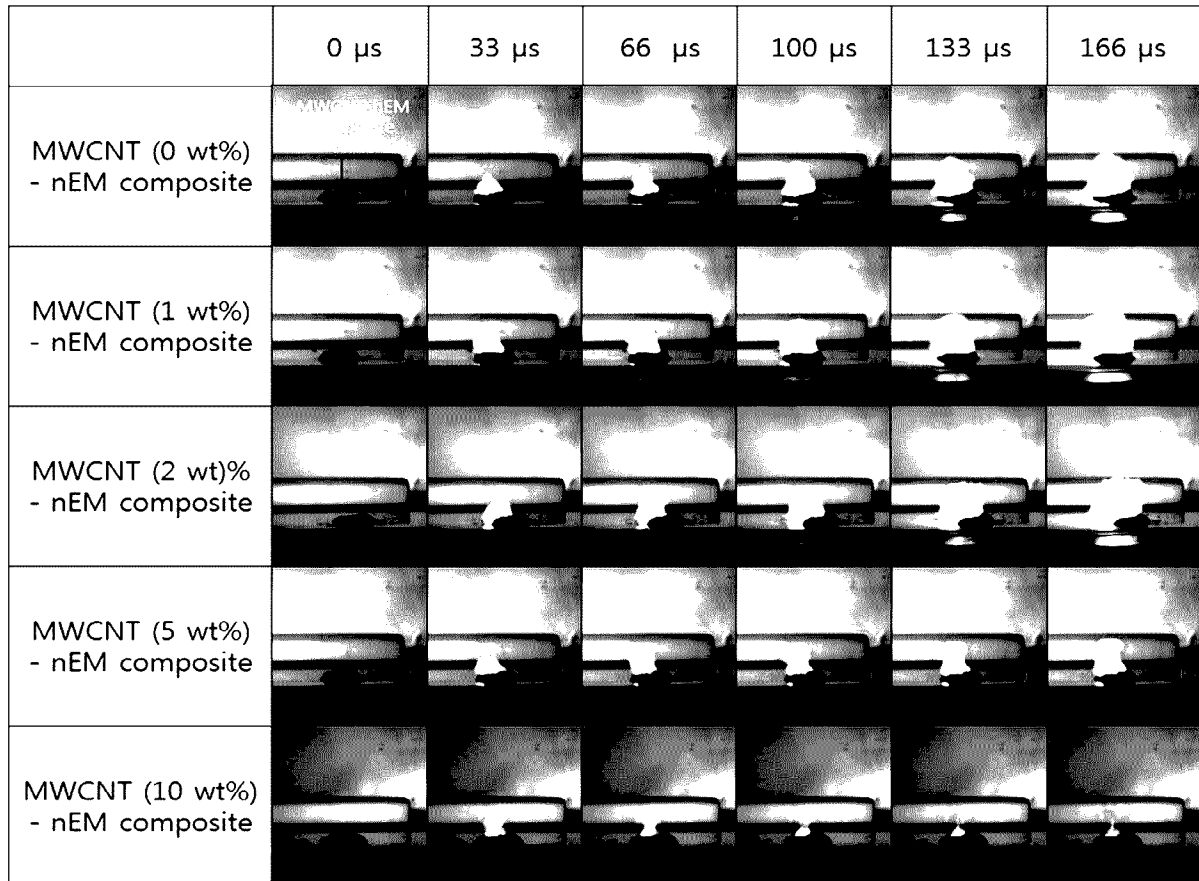
[Fig. 2]



[Fig. 3]



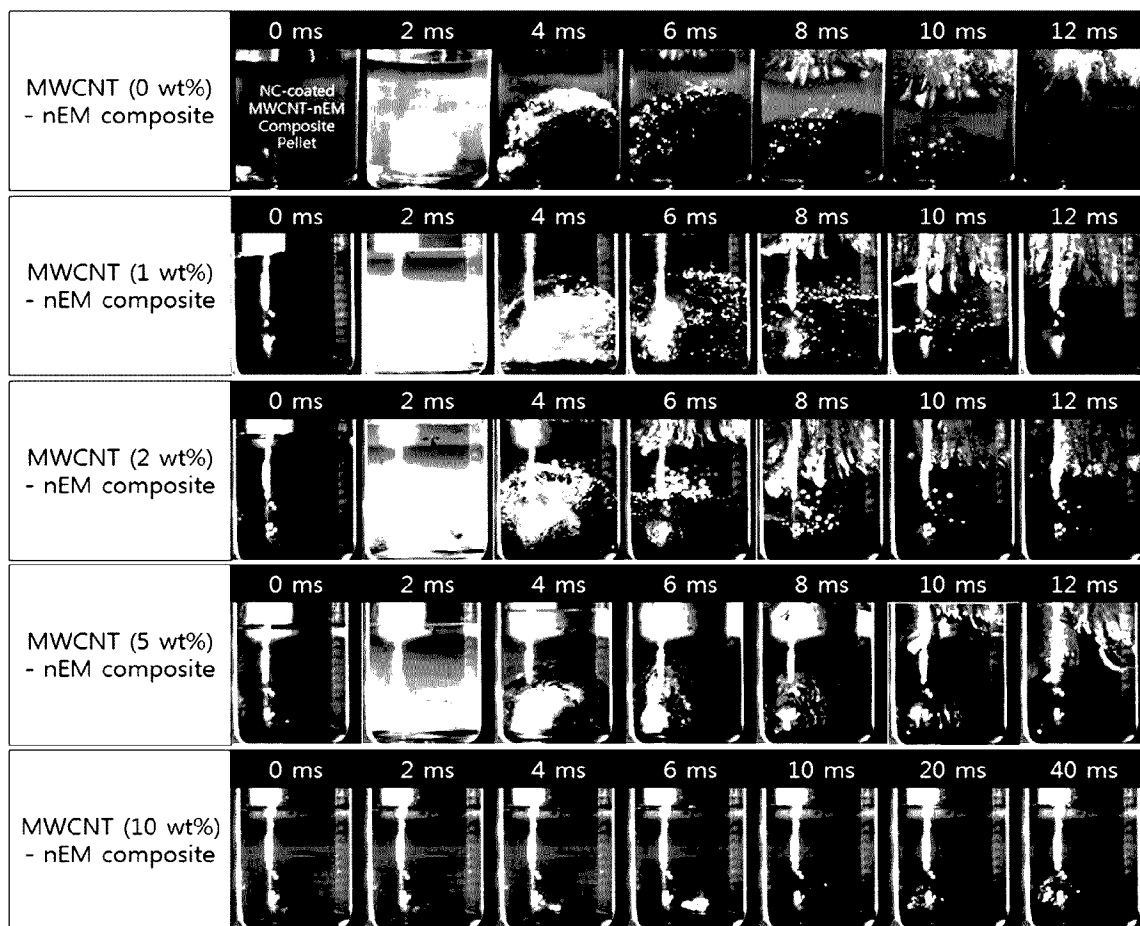
[Fig. 4]



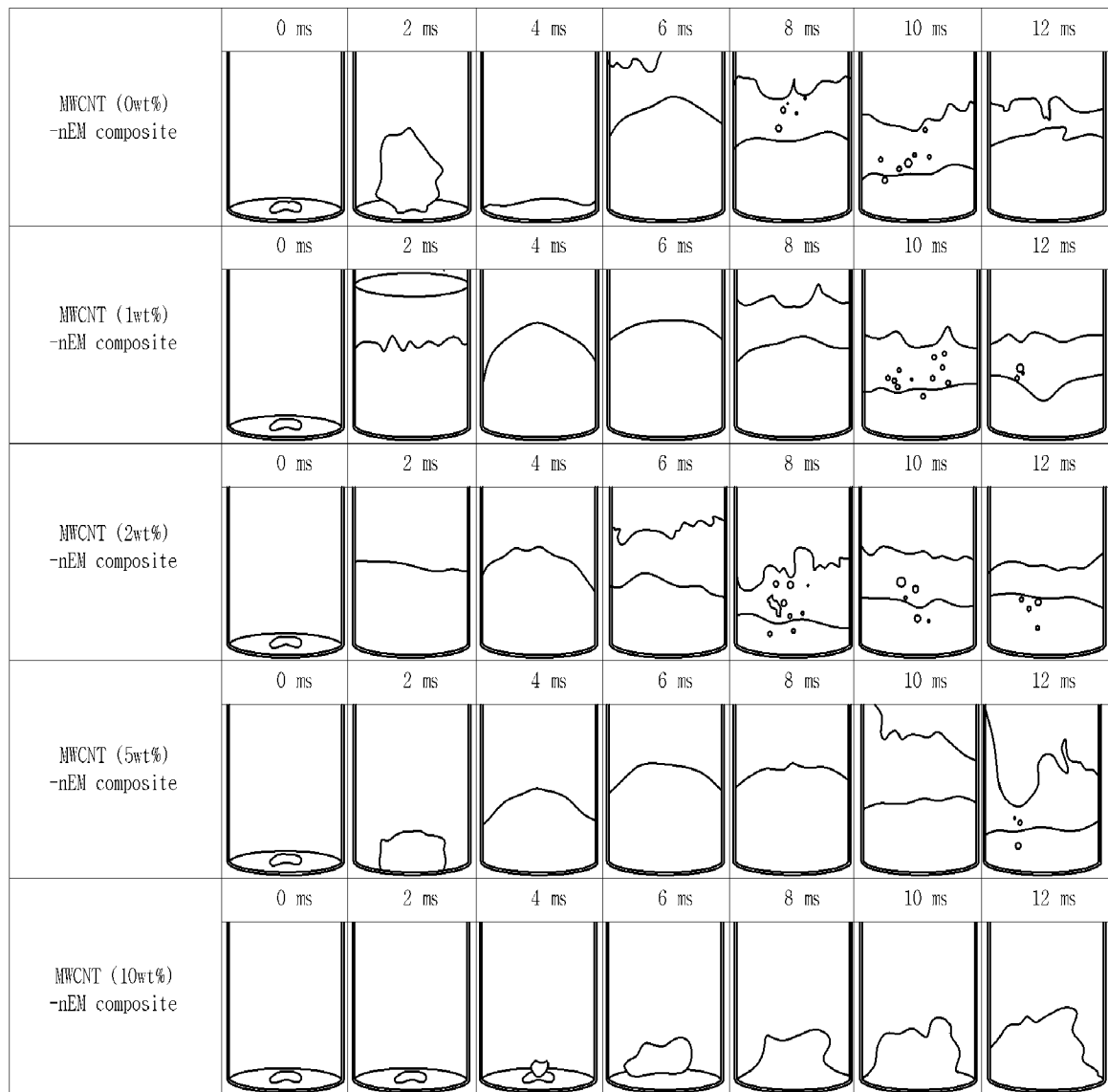
[Fig. 5]

	0 μ s	33 μ s	66 μ s	100 μ s	133 μ s	166 μ s
MWCNT (0wt%) -nEM composite	MWCNT-nEM Composite Powder 					
MWCNT (1wt%) -nEM composite						
MWCNT (2wt%) -nEM composite						
MWCNT (5wt%) -nEM composite						
MWCNT (10wt%) -nEM composite						

[Fig. 6]



[Fig. 7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2015/003113**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****B82B 3/00(2006.01)i, C06B 43/00(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B82B 3/00; C06B 33/00; D03D 23/00; C06B 43/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: nano high-energy, fuel, oxidizer, carbon nanotube

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Kappagantula, K. et al. Experimentally Measured Thermal Transport Properties of Aluminum-Polytetrafluoroethylene Nanocomposites with Graphene and Carbon Nanotube Additives, International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012, Vol. 55, pages 817-824 (01 November 2011) See abstract and pages 818, 819	1-13
Y	KR 10-1174135 B1 (PUSAN NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION) 17 August 2012 See abstract and claims 1 to 8	1-13
A	KR 10-2006-0006870 A (JEONG, Young Jun et al.) 20 January 2006 See abstract and claims 1 to 8	1-13
A	US 2004-0040637 A1 (DESILETS, Sylvain et al.) 04 March 2004 See abstract and claims 1 to 15	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 JULY 2015 (10.07.2015)

Date of mailing of the international search report

13 JULY 2015 (13.07.2015)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2015/003113

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1174135 B1	17/08/2012	KR 20110098467 A	01/09/2011
KR 10-2006-0006870 A	20/01/2006	KR 10-0700417 B1	27/03/2007
US 2004-0040637 A1	04/03/2004	CA 2434859 A1	11/01/2004
		US 2007-0039671 A1	22/02/2007
		US 2008-0066835 A1	20/03/2008

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

B82B 3/00(2006.01)i, C06B 43/00(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

B82B 3/00; C06B 33/00; D03D 23/00; C06B 43/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 나노고에너지, 연료, 산화제, 탄소나노튜브

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	Kappagantula, K. et al. Experimentally Measured Thermal Transport Properties of Aluminum-Polytetrafluoroethylene Nanocomposites with Graphene and Carbon Nanotube Additives, International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012, Vol. 55, pages 817-824 (2011.11.01.) 요약 및 818, 819쪽 참조	1-13
Y	KR 10-1174135 B1 (부산대학교 산학협력단) 2012.08.17 요약 및 청구항 1 내지 8 발명 참조	1-13
A	KR 10-2006-0006870 A (정영준 등) 2006.01.20 요약 및 청구항 1 내지 8 발명 참조	1-13
A	US 2004-0040637 A1 (Sylvain Desilets 등) 2004.03.04 요약 및 청구항 1 내지 15 발명 참조	1-13

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2015년 07월 10일 (10.07.2015)

국제조사보고서 발송일

2015년 07월 13일 (13.07.2015)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관

최문정

전화번호 +82-42-481-8154



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1174135 B1	2012/08/17	KR 20110098467 A	2011/09/01
KR 10-2006-0006870 A	2006/01/20	KR 10-0700417 B1	2007/03/27
US 2004-0040637 A1	2004/03/04	CA 2434859 A1	2004/01/11
		US 2007-0039671 A1	2007/02/22
		US 2008-0066835 A1	2008/03/20