

연습용 탄약 친환경 재료의 내열성 및 기계적 특성 향상에 관한 연구

김명현*, 손병철, 이영태
국방기술품질원 탄약센터

Study on the Improving Thermal and Mechanical Properties of Eco-friendly Materials used for Training Ammunition

Myung-Hyun Kim*, Byoung-Chul Shon, Young-Tae Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 고성능 폭약에 의한 살상효과를 발휘하는 전투용 탄약과는 달리 연습용 탄약은 유사한 폭발 효과를 구현하여 훈련용으로 사용되는 탄약으로, 약작용에 의한 안전사고의 위험성이 개선된 훈련용 탄약이다. 연습용 탄약은 훈련 과정에서 대량으로 사용되기 때문에 폐 탄약에 의한 환경오염 문제가 발생하고 있다. 대부분의 폐 탄약은 훈련장 내에 방치되는 실정인데, 폴리유산(PLA)과 같은 생분해성 고분자를 사용할 경우 환경 문제를 해결할 수 있을 것이다. 하지만 PLA와 같은 대부분의 생분해성 고분자는 범용 고분자에 비해 내열성 및 기계적 특성이 취약하므로 군사적 목적으로 사용하기 위해서는 내열성 및 기계적 특성의 개질이 필요하다. 본 연구에서는 연습용 수류탄의 주요 부품 원재료로 사용되는 PLA에 활석(Talc)을 첨가하여 내열성 및 기계적 특성 변화를 확인하였다. Talc 비율 1 wt.% ~ 5 wt.%의 PLA/Talc 블렌드에서, 활석 비율에 따라 내열성이 향상되었고, 1 wt.% 및 3 wt.%에서 최적의 기계적 특성을 확인하였다.

Abstract Unlike live ammunition which has killing power due to the use of high explosives, training ammunition has only the limited explosive effect needed for training purposes, so the risk of accidents is lowered. Because training ammunition is used in large quantities during military drills, the problem of environmental pollution occurs. As most of the waste is left out in the training field, using bio-degradable polymers such as Polylactic Acid (PLA) can provide a solution to these environmental issues. However, bio-degradable polymers such as PLA usually have poor thermal and mechanical properties compared with other general purpose polymers, so they need to be improved before they can be used for military purposes. In this study, Talc is added to the PLA used for the parts of Training Grenades to improve some of their properties and the changes of their thermal and mechanical properties were verified. In the case of the 1 wt.% ~ 5 wt.% PLA/Talc blends, the thermal properties were improved in proportion to the content of Talc, but the best mechanical properties were observed for the 1 wt.% and 3 wt.% PLA/Talc blends.

Keywords : Training Ammunition, PLA, Talc, Thermal Property, Mechanical Property

1. 서론

연습용 탄약은 폭발력 및 살상력을 감소시키되 유사한 폭발 효과를 구현한 훈련용 탄약으로, 고성능 폭약에 의한 살상효과를 발휘하는 전투용 탄약과는 달리 유사

폭발효과를 구현하여 폭발에 의한 안전사고 위험성이 개선된 탄약이다. 고성능 폭약 등이 충전된 전투용 탄약의 사용은 불발, 조기폭발 등의 약작용 발생 위험이 뒤따르게 되며, 탄약의 관리 및 후속조치 과정에서 많은 비용이 들게 되는데, 이러한 위험성과 비경제적인 특성 때문에

*Corresponding Author : Myung-Hyun Kim (Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-53-757-3061 email: mhkim@dtq.re.kr

Received February 22, 2018

Accepted May 4, 2018

Revised (1st March 14, 2018, 2nd April 2, 2018)

Published May 31, 2018

우리 군은 훈련 과정에서 다양한 종류의 연습용 탄약을 사용하고 있다.

연습용 탄약의 경우 성능과 구조 등을 단순화시킨 것들이 많기 때문에 비용과 안전성 측면에서 사용 상 이점이 많다. 하지만, 대량으로 사용되는 특성 상 탄약 잔해 등을 회수하는데 어려움이 있으며, 그로 인하여 대부분의 탄약 폐기물들은 훈련장 또는 야지에 그대로 방치되는 실정이다. 이러한 탄약 잔해에 의한 토양오염 및 수질 오염 등이 오늘날 중요한 문제로 제기되고 있다. 실제로 사격 선수들의 혈액에서는 납(Pb) 성분이 일반인들보다 높게 검출되는데, 이는 탄자 내부의 납이 사격장 내에 방치됨에 따라 인체에 축적되어 발생한 것으로 확인되었다 [1].

위와 같은 탄약 잔해에 의한 환경오염 문제는 주로 플라스틱이나 중금속이 포함된 부품들에 의해 발생하고 있으며, 이러한 오염물질들은 자연적으로 분해가 되지 않는 경우가 많다. 이를 해결하기 위한 방법 중 하나는 자연적으로 분해되거나 인체에 무해한 친환경 재료를 사용하는 것인데[2-3], 생분해성 고분자인 폴리유산 (Polylactic acid, PLA) 소재를 플라스틱 부품의 원재료로 사용한다면 탄약 폐기물에 의한 환경오염 문제를 일부 해결할 수 있을 것이다.

PLA는 설탕이나 전분 등 식물 유래 성분을 원료로 하여 합성되는 선형 구조의 고분자로서, 분자 구조는 아래의 Fig. 1과 같으며, 분자량과 주변 환경에 따라 물이나 이산화탄소 등에 의해서 분해되는 특징이 있다[4]. 또한, 열가소성 성질 때문에 복합재료로서의 연구가 활발히 진행되고 있다.

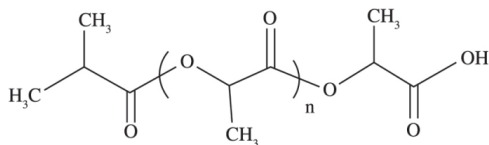


Fig. 1. PLA Structure

PLA 등과 같은 생분해성 고분자들은 환경 친화적이라는 장점이 있지만 내열성 및 기계적 특성이 다른 범용 고분자들에 비해 비교적 나쁘다는 단점이 있다[5-6]. 따라서 장기 저장성을 필요로 하고 격렬한 활동 등이 수반되는 군사적 목적으로 사용하기 위해서는 물리적 특성의 개선이 필요하다.

다음 Fig. 2는 현재 군에 납품중인 주요 연습용 탄약 중 하나인 황색 연막 연습용 수류탄(K417)으로, 고성능 폭약이 충전된 세열수류탄(K400)을 대체하여 훈련용으로 사용되고 있는 탄약이다. 별도의 발사장치 없이 사용자가 직접 탄약의 안전장치를 해제하여 목표지점까지 손으로 투척해야 하는 수류탄의 특성 상 타 탄약에 비해 사용자가 직접적인 위험에 노출될 가능성이 높은 편인데, 연습용 수류탄을 사용함으로써 안전사고의 발생 위험을 줄이고 실제 탄약과 유사한 훈련 효과를 얻을 수 있다.

연습용 수류탄은 크게 탄체, 신관, 신관 어댑터, 안전손잡이, 안전핀 및 링 등으로 구성되어 있으며, 신관 어댑터는 신관과 탄체를 결합시켜주는 역할을 한다.

본 연구의 대상이 되는 신관 어댑터는 PLA를 주성분으로 한 고분자 블렌드로 제작되고 있는데, 순수 PLA 만으로는 군사목적에 부합하는 충분한 물성을 얻기 힘들기 때문에 타 고분자와 블렌딩 하여 물성을 강화하여 사용하고 있다. 만약 PLA에 상용화제 등을 첨가하여 물리적 특성을 개선한다면 물성이 낮은 PLA의 블렌딩 비율을 높일 수 있을 것으로 예상되며, PLA 비율이 높아질 경우, 보다 쉽게 자연적으로 분해되기 때문에 폐 탄약에 의한 환경문제 해결에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

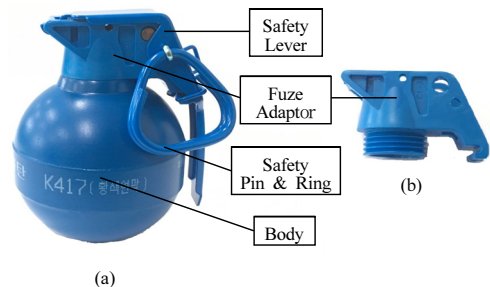


Fig. 2. Ammunition Features
(a) Practice Grenade (b) Fuze Adaptor

Talc는 핵제로 널리 사용되는 물질로서, 고분자에 첨가될 경우 결정화도 및 결정화속도 등을 향상시켜 물성 변화를 일으키는 것으로 알려져 있는데[7], 본 연구에서는 순수한 PLA의 내열성 및 기계적 특성을 향상시키기 위하여 활석(Talc)을 PLA에 첨가한 고분자 블렌드를 제조하여 열적 특성 및 기계적 특성 변화 여부를 관찰하였다.

2. 실험

Twin Screw Extruder(L/D = 40, 19 Ø)를 이용하여 160 ~ 220 °C 온도조건에서 Table 1과 같은 조성으로 PLA와 Talc를 블렌딩하였다. 재료는 Nature Work® 社의 4032D (MI=3 @2.17 kg, 190 °C)와 KOCHKOREA 社의 KCM6300 (Median Particle Size = 5.5 ± 0.5 μm)를 각각 사용하였으며, Table 1의 비율에 따라 PLA/Talc 블렌드 시편을 제작하였다.

Table 1. Blend Composition

Sample Name	wt. %	
	PLA	Talc
P100T0	100	0
P99T1	99	1
P97T3	97	3
P95T5	95	5

각각의 시편에 대하여 내열성, 충격강도, 굴곡강도, 굴곡탄성률 등의 변화 여부 등을 시차주사열량계 (Differential Scanning Calorimeter, DSC), 충격강도시험기, 만능시험장비(Universal Testing Machine, UTM) 등을 사용하여 확인하였다.

2.1 열적 특성

각각의 시편에 대하여 DSC(PYRIS Diamond DSC, Perkin Elmer社)를 사용하여 열적 특성 변화를 확인하였다. -40 °C ~ 220 °C 구간에서 강온 및 승온 속도 5 °C /min 으로 분석하였으며, 열응력 제거를 위하여 최고점에서 5 분 간 유지한 뒤 냉각하여 2nd scanning 과정에서 각 시편의 승온결정화온도(T_c), 승온결정화열(ΔH_c), 용융점(T_m), 용융열(ΔH_m) 및 결정화도(X_c)를 관찰하였다.

2.2 충격강도

세진시험기술社의 SJTM-131 장비를 사용하여 ASTM D265 규격에 따라 아이조드 충격강도(Izod Impact Strength, IS)를 측정하였다. 각 샘플당 5 개의 시편을 사용하여 평균값을 비교하였다.

2.3 굴곡강도 및 굴곡탄성률

Tinius Olsen社의 H5KT 장비를 사용하여 ASTM D790 규격에 따라 굴곡강도(Flexural Strength, FS) 및

굴곡탄성률(Flexural Modulus, FM)을 측정하였다. 각 샘플당 5 개의 시편을 사용하여 평균값을 비교하였다.

3. 결과

3.1 열적 특성

각 샘플에 대해서 T_c , ΔH_c , T_m , ΔH_m 및 X_c 를 확인한 결과, Table 2 및 Fig. 3과 같은 결과를 확인할 수 있었다. Fig. 3은 Table 2의 결과를 도식화 한 것이다.

Table 2. Thermal Properties of PLA and PLA/Talc Nanocomposites

Sample Name	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
P100T0	105.4	28.7	153.3	27.6	29.6
P99T1	101.3	25.6	154.0	28.9	31.0
P97T3	101.5	24.4	154.6	29.2	31.3
P95T5	100.7	24.3	155.3	30.5	32.8

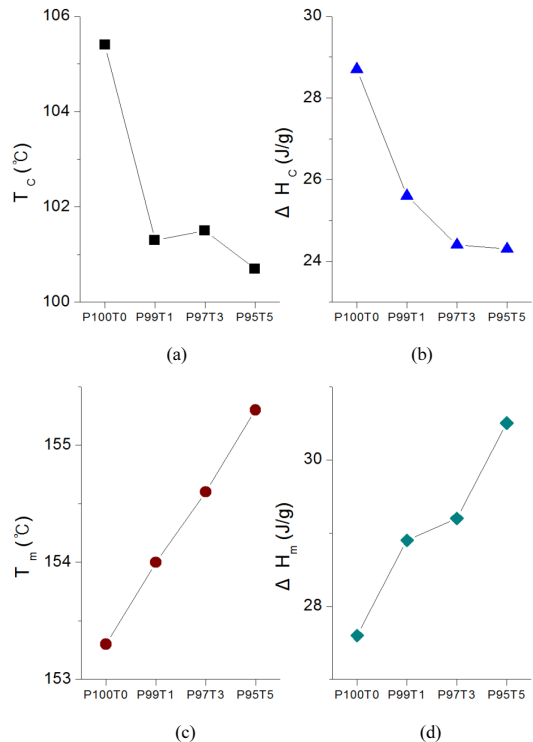


Fig. 3. Thermal Properties of PLA and PLA/Talc Nanocomposites (a) T_c versus Talc Content (b) ΔH_c versus Talc Content (c) T_m versus Talc Content (d) ΔH_m versus Talc Content

Talc의 블렌딩 비율에 따라 T_c 와 ΔH_c 가 감소하였으며, 반대로 T_m , ΔH_m 및 결정화도가 비례하여 상승하는 것을 볼 수 있었다. 고분자의 T_c 및 ΔH_c 이 감소한다는 것은 결정화속도가 증가한다는 것을 의미하는데[8], 위 결과를 토대로 Talc의 비율이 증가함에 따라 PLA의 결정화속도가 빨라졌다고 말할 수 있다. 또한, Talc 비율에 따라 T_m 이 상승하는 것으로 보아 PLA에 첨가된 Talc가 내열성을 향상시켰다고 볼 수 있다.

PLA에 첨가된 Talc는 핵제로 작용하여 결정화속도 및 결정화도를 향상시킨 것으로 판단되는데, 용융된 고분자가 냉각되어 결정화되는 과정에서 핵제는 결정의 중심으로 작용하여 더 작고 치밀한 결정을 빠르게 형성할 수 있도록 도와주게 된다[9].

결정화도(X_c)의 계산은 아래의 식에 따라 계산할 수 있는데, ΔH_m^0 은 순수한 PLA가 100 % 결정을 이루었을 때의 용융열로 93.1 J/g으로 이미 알려져 있는 상수이다 [10]. Talc 비율에 따른 X_c 의 변화 형태는 ΔH_m 변화 그래프와 동일하다.

$$X_C = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100(\%)$$

ΔH_m 은 고분자의 결정화된 부분이 용융하는 과정에서 흡수하는 열을 나타내는 것으로, PLA에 첨가된 Talc가 핵제로 작용하여 결정화속도 및 결정화도를 향상시키고 그에 따라 용융열이 함께 증가한 것으로 보여진다. 일반적으로 고분자는 결정화속도와 결정화도에 따라 용융점 및 열변형온도 등 내열특성이 변화하게 되는데, 이러한 성질에 따라 Talc가 내열성 향상에 영향을 준 것으로 판단된다.

3.2 충격강도

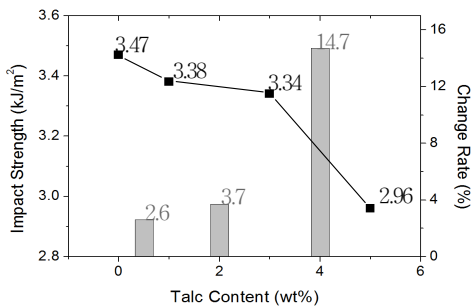


Fig. 4. Impact Strength versus Talc Content

각 샘플에 대하여 IS를 측정된 결과, Fig. 4와 같이 Talc 함량에 따라 IS가 감소하는 결과를 볼 수 있었다. 검정 꺾은선 그래프는 IS의 수치(kJ/m²)를 나타낸 것이고, 회색 막대 그래프는 IS의 변화율(%)을 나타낸 것이다.

Talc 비율 1 wt.% 및 3 wt.% 샘플에서는 IS 감소량이 각각 2.6 % 및 3.7 %로 그 변화 정도가 크지 않았지만, Talc 비율 5 wt.% 샘플에서는 14.7 %가 급감하여 내충격성이 크게 저하된 것을 볼 수 있었다. Talc는 고분자의 결정화도를 향상시키게 되고, 결정화도가 향상된 고분자는 기존의 재료보다 높은 강직성(rigidity)을 띄게 되는데, 이러한 성질이 오히려 내충격성 측면에서 악영향을 미쳤다고 볼 수 있다[11].

3.3 굴곡강도 및 굴곡탄성률

각 샘플에 대하여 굴곡강도 및 굴곡탄성률을 분석한 결과, Fig. 5 같이 Talc 비율에 따라 두 특성이 모두 증가하는 현상을 확인하였다. 굴곡강도의 경우 Talc가 첨가된 시점(1 wt.% 첨가)에서 31.1 %의 급격한 증가를 보인 뒤 일정 수준을 유지하며 천천히 증가하는 모습을 관찰할 수 있었으나, 굴곡탄성률은 Talc 함량에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 특성 역시 위에서 언급한 강직성과 관련이 있는 것으로 판단된다.

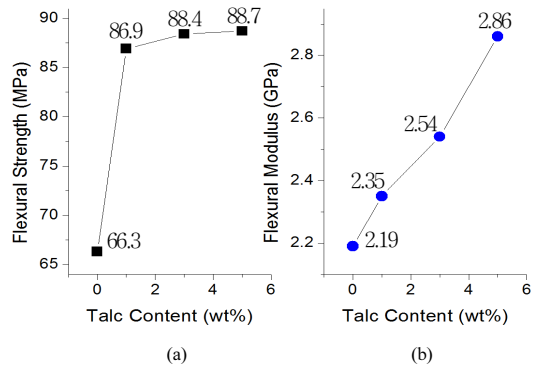


Fig. 5. Flexural Strength and Modulus versus Talc Content (a) Flexural Strength versus Talc Content (b) Flexural Modulus versus Talc Content

4. 결론

본 연구에서는 황색 연막 연습용 수류탄에 사용되는 친환경 재료인 PLA의 열적 특성 및 기계적 특성이 Talc

비율에 따라 변화하는 경향을 확인하였다. 0 ~ 5 wt.% 범위 내에서 Talc 비율에 따라 결정화도 및 결정화속도가 상승하였으며, 그에 따라 열적 특성이 향상되고 기계적 물성이 변화함을 확인하였다.

Talc 비율에 따라 결정화속도가 빨라지고 T_m 이 증가하는 경향을 확인 할 수 있었는데, 이는 Talc가 핵제로 작용하여 고분자의 결정화 과정에 긍정적인 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 결정화속도가 빨라질 경우 재료의 가공이 수월해지며, T_m 의 경우 열변형온도(Heat Distortion Temperature, HDT)와 유의미한 상관관계가 있으므로 내열성 측면에서 향상되었다고 말할 수 있다.

또한, Talc 함량에 따라 기계적 특성 또한 변화하였는데, 충격강도 측면에서는 다소 좋지 않은 영향을 주었으나, 굴곡강도 및 굴곡탄성률 측면에서는 Talc 비율에 따라 그 수치가 향상되는 결과를 확인하였다. Talc가 핵제로 작용하는 과정에서, 고분자의 결정화도가 증가함에 따라 강직성이 높아지고 이에 따라 재료의 내충격성이 감소하였으며, 굴곡강도 및 굴곡탄성률 이 향상되는 모습이 관찰되었다.

연습용 수류탄 특성 상, 탄약을 사용하기 전 까지 완충 포장된 상태로 비교적 안전하게 보관되지만, 공이 스프링 등에 의한 하중을 지속적으로 견뎌야하기 때문에 충격성 개선보다는 굴곡강도나 인장강도 등 변형을 견디는 힘이 중요하므로 Talc에 의한 물성 개질이 유효하게 작용한다고 할 수 있다.

본 연구결과에서 Talc 비율 1 ~ 3 wt.%에서의 충격강도 저하 정도가 비교적 높지 않은 반면, 굴곡강도의 경우 Talc 비율 1 wt.% 에서 극적인 향상 효과가 확인되었으므로, 사용 목적에 따라 0 ~ 3 wt.% 비율의 Talc를 PLA 첨가하여 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

References

[1] Kwon Ho, Lee. The study on Airborn lead level indoor shooting Rangethe Blood Lead Level of shooting coaches, Journal of Korean Society of Safety Education, vol. 7, no. 1, pp. 65-81, 2011.

[2] Drumright, Ray E.; Gruber, Patrick R.; Henton, David E. Polyactic acid technology. Advanced materials, vol. 12, no. 23, pp. 1841-1846, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(200012\)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E)

[3] Ray, Suprakas Sinha; Okamoto, Masami. Biodegradable polylactide and its nanocomposites: opening a new

dimension for plastics and composites. Macromolecular Rapid Communications, vol. 24, no. 14, pp. 815-840, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1002/marc.200300008>

[4] Harris, Angela M.; Lee, Ellen C. Improving mechanical performance of injection molded PLA by controlling crystallinity. Journal of applied polymer science, vol. 107, no. 4, pp. 2246-2255, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1002/app.27261>

[5] Jiang, Long; Zhang, Jinwen; Wolcott, Michael P. Comparison of polylactide/nano-sized calcium carbonate and polylactide/montmorillonite composites: reinforcing effects and toughening mechanisms. Polymer, vol. 48, no. 26, pp. 7632-7644, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.11.001>

[6] Anderson, Kelly S.; Schreck, Kathleen M.; Hillmyer, Marc A. Toughening polylactide. Polymer Reviews, vol. 48, no. 1, pp. 85-108, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1080/15583720701834216>

[7] Haubruge, H, G., et al. Epitaxial nucleation of poly (ethylene terephthalate) by talc: structure at the lattice and lamellar scales. Macromolecules, vol. 36, no. 12, pp. 4452-4456, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ma0341723>

[8] Battagazzore, Daniele; Bocchini, Sergio; Frache, Alberto. Crystallization kinetics of poly (lactic acid)-talc composites. Express Polymer Letters, vol. 5, no. 10, pp. 849-858, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.84>

[9] Thierry, A., et al. Polymer nucleating agents: Efficiency scale and impact of physical gelation. In: Solidification Processes in Polymers. Steinkopff, pp. 28-31, 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0115569>

[10] Fischer, E. W.; Sterzel, Hans J.; Wegner, G. K. Z. Z. Investigation of the structure of solution grown crystals of lactide copolymers by means of chemical reactions. Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere, vol. 251, no. 11, pp. 980-990, 1973.

[11] Premalal, Hattotuwa G. B.; Ismail, Hanafi; Baharin, A. Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites. Polymer Testing, vol. 21, no. 7, pp. 833-839, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(02\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(02)00018-1)

김 명 현(Myung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (공학사)
- 2014년 9월 : 울산과학기술원 신소재공학부 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>
화학공학, 고분자, 무기체계

손 병 철(Byoung-Chul Shon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 금오공과대학교 기계공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 금오공과대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 2014년 3월 : STX 중공업 기자재 설계/개발
- 2014년 4월 ~ 2017년 1월 : 평화발레오 유압시스템 설계
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

기계공학, 신소재공학, 무기체계

이 영 태(Young-Tae Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 선문대학교 무기재료공학과 (공학사)
- 2002년 8월 : 한양대학교 신소재공정공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 2007년 9월 : 국방품질관리소 사업관리담당
- 2007년 10월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

재료공학, 무기체계