

역설계 기반 제조기술 설계를 통한 방탄용 부가장갑킷 개발에 관한 연구

고동현*[†] · 문태상* · 김영기**

* 국방기술품질원 기동화력센터 기동화력4팀

** (주)삼양컴텍 연구소

A Research on Development of Applique Armor Kit for Design of Manufacturing Technology based on the Reverse Engineering

Ko, Dong Hyeon*[†] · Moon, Tae Sang* · Kim, Young Ki**

* 4th Land Systems Team, Defence Agency for Technology and Quality, Korea

** R&D Center, Samyang Comtech CO. Ltd, Korea

ABSTRACT

Purpose: The study focused on localization of the enhanced applique armor kit (EAAK), which are applied to Korea Assault Amphibious Vehicle (KAAV).

Methods: For this propose, we developed the manufacturing technology by analyzing the original products. Considering the conditions used in the military, we made the test evaluation criteria.

Results: In results, The EAAK developed through this research performs equivalent performance compared to Rafael, Co. Thus, It is possible not only stably supply a parts of EAAK for maintenance, but also to reduce costs due to import substitution effect.

Conclusion: It is expected that the manufacturing technology and test evaluation criteria accumulated through this study can be used in the localization of similar parts.

Key Words: KAAV, EAAK, Localization, Test Evaluation, Manufacturing Technology

● Received 18 July 2021, 1st revised 9 September 2021, accepted 15 September 2021

† Corresponding Author(pulsation_h@dtaq.re.kr)

© 2021, Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

부가장갑킷트 조립체는 적 중화기 및 155mm 고폭탄의 위협으로부터 상륙돌격장갑차 승무원의 생존성을 높이고 전투력을 유지하기 위해 상륙돌격장갑차에 장착되는 핵심 구성품이다. 우리 군이 부가장갑킷트 조립체를 도입 운용한지 10년 이상 경과하면서 품질 저하로 인해 방탄성능 보장이 불가하여 상륙돌격장갑차의 운용 유지만 부가장갑킷트 조립체의 정비 소요가 계속 증가하고 있다. 현재 부가장갑킷트 조립체는 해외 업체의 독점 공급으로 전량 수입하고 있으며, 각국은 방호성능 기술을 국가기밀로 관리하고 있어 모방 생산이나 역설계가 불가한 실정이다.

본 연구는 국방기술품질원 주도하에 정부 및 개발업체간 공동투자의 형태로 무기체계 핵심부품 국산화개발 지원 사업을 통하여 진행되었으며, 연차별 개발 목표를 설정하여 체계적으로 진행되었다. Figure 1은 연차별 주요 개발업무 흐름도를 나타낸다. 개발 1년차에 체계업체가 보유한 기술자료와 소요군에서 제공한 현품 분석을 통해 소재를 선정한 후, 방탄설계, 절곡기술, 열처리 기술 등의 개발을 진행한다. 2년차에는 시제를 제작하여 방탄시험과 환경시험을 진행하며 개발시험 및 체계운용 적합성 시험 방안을 검토 후 확정한다. 최종적으로 3년차에 개발시험 및 체계운용 적합성 시험을 실시하여 개발을 완료하게 된다.

본 논문에서는 앞서 설명한 부가장갑킷트 조립체의 국산화 개발과정 중 제조 기술 설계 과정에서 획득한 방호 설계 기술, 이중 재질 접합 기술, 절곡 기술 등의 제조 기술 확보를 중심으로 개발 절차를 제시하고자 한다.

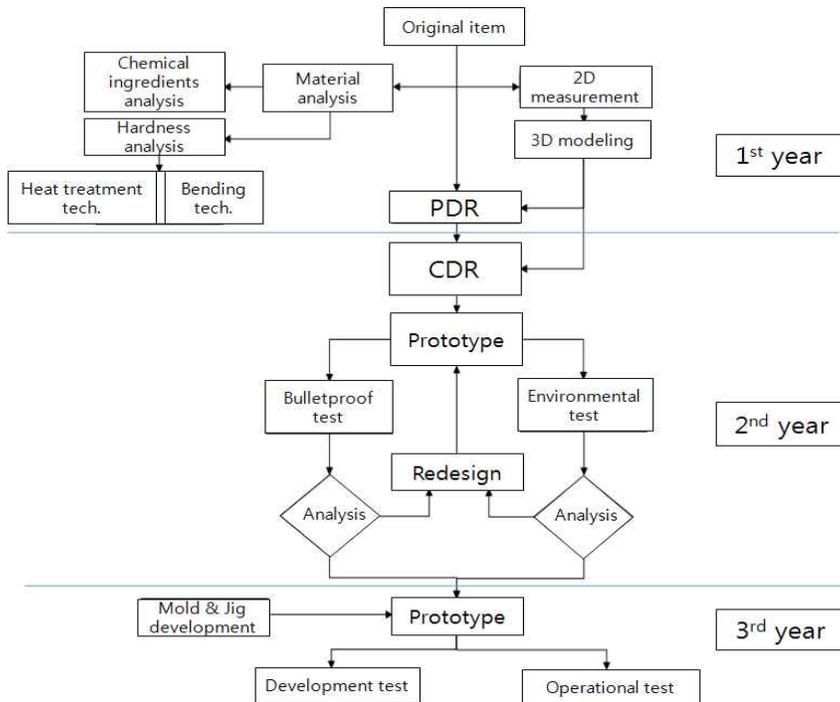


Figure 1. Flow chart of localization

2. 개발 대상품 분석

국산화 대상 품목은 상륙돌격장갑차용 부가장갑킷트 조립체로 기존 수입품 대비 동등이상의 성능을 구현하는 제품을 개발하고 이에 대한 시험환경 구축 및 평가기술을 확보하는 것이 이번 연구의 목표이며, 국산화 대상품의 형상은 Figure 2와 같다.

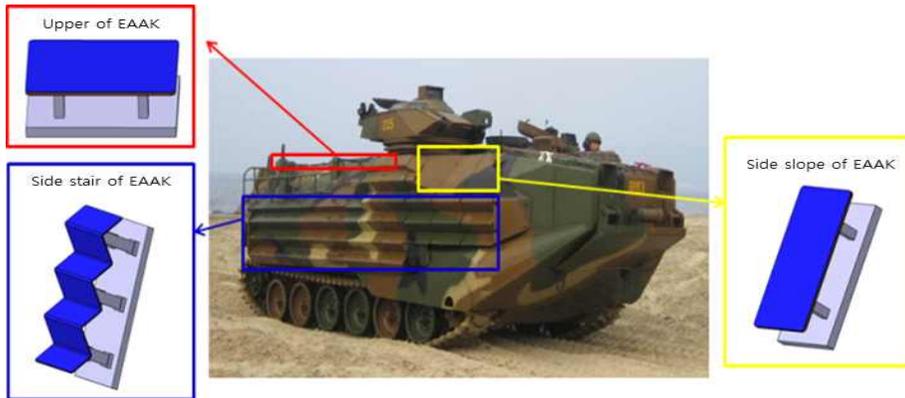


Figure 2. The EAAK of KAAV

국산화 주요 대상품은 장갑판 상부용, 측면 계단용, 측면 경사용으로 방호 목적에 따라 중량과 형상, 내구성 등을 고려하여 방탄장갑판과 복합재를 활용한 다층 구조로 구성되어있으며, 장착 위치에 따라 Table 1과 같은 기술적 특징을 가진다. 장갑판 상부용과 측면 계단용의 경우 7.62mm AP(Armor Piercing)탄을 10발 발사했을 때 모두 방호, 12.7mm AP(Armor Piercing)탄을 10발 발사했을 때 95% 방호, 14.5mm API(Armor Piercing Incendiary)탄을 사거리 300M에서 10발 발사했을 때 95% 방호의 기술적 특징이 있으며, 측면 경사용은 20mm FSP(Fragment Simulation Projectile)탄을 10발 발사했을 때 모두 방호의 기술적 특징이 있다.

Table 1. The principal specifications of EAAK

Classification	Measurement
Upper of EAAK	No penetration for 7.62mm AP
	95% probability of no penetration for 12.7mm AP
	95% probability of no penetration for 14.5mm API at 300 meters
Side stair of EAAK	No penetration for 7.62mm AP
	95% probability of no penetration for 12.7mm AP
	95% probability of no penetration for 14.5mm API at 300 meters
Side slope of EAAK	No penetration for 20mm FSP
Total weight	1.996ton or below

개발 대상 부가장갑킷트의 수입품을 이용하여 한국산업기술시험원에서 화학성분 분석을 진행하였고, 이를 기준으로 주요 부품의 소재를 선정하였으며 결과는 Table 2와 같다. 부가장갑킷트는 “방탄강판 - 방탄강판,” “방탄강판 - 복합재”의 다층 구조로 되어 있으며, 화학성분 분석을 토대로 주요 소재인 방탄강판은 MIL-DTL-46100급을 선정하였고, 복합재는 Aramid Fabric을 선정하였다. 방탄강판과 복합재의 접합을 위한 접착제로는 EVA film을 선정하였다. 또한, 2D 측정 계측기로 현품을 측정하여 Data를 토대로 3D Catia 모델링 및 상세설계를 통해 도면화 작업을 수행하였다.

Table 2. The selection of material

Classification	Materials
Bulletproof steel plate A	MIL-DTL-46100 grade
Bulletproof steel plate B	MIL-DTL-46100 grade
Composite	Aramid Fabric
Adhesive film	EVA film

3. 제조기술 설계

적의 공격으로부터 승무원의 생존성을 확보하고, 전투력을 유지하는 기능을 하는 부가장갑킷트의 핵심은 방호성능이라 할 수 있다. 부가장갑킷트를 제조하기에 앞서 Table 1의 방호성능을 충분히 만족하기 위한 제조기술을 확보하는 것이 핵심이다. 우선 탄자를 파쇄 및 파괴하고 잔여 에너지를 흡수할 수 있는 적절한 방호패턴을 설계해야하며, 이러한 방호패턴을 실현시킬 이중 재질 접합기술을 확보해야한다. 또한, 충분한 방호성능을 가지는 동시에 상륙돌격장갑차에 장착하기 위한 적절한 형상을 구현하기 위해 최적의 절곡 기술 확보가 필요하다.

3.1 방호설계

방탄강판과 복합재를 활용한 “방탄강판 - 방탄강판,” “방탄강판 - 복합재”의 다층 구조 기술을 통하여 적 중화기 및 155mm 고폭탄의 위협으로부터 방호하는 설계기술을 확보하였다. 장갑판 상부용과 측면 경사용은 방탄강판 A를 전면재로 사용하여 탄자를 파쇄 및 파괴하고, 방탄강판 B를 후면재로 사용하여 탄자의 잔여 에너지를 흡수하는 구조이다. 반면, 측면 계단용은 방탄강판 A를 전면재로 사용하여 탄자를 파쇄 및 파괴하고, 복합재를 후면재로 사용하여 탄자의 잔여 에너지를 흡수하는 구조이다. Figure 3, 4는 방호설계 패턴을 나타낸다.

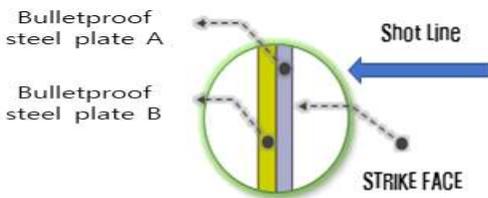


Figure 3. Upper and Side slope of EAAK

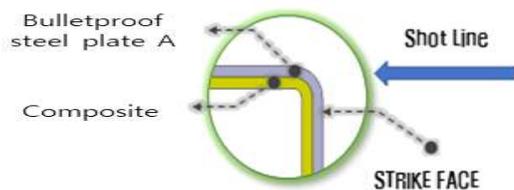


Figure 4. Side stair of EAAK

3.2 이중 재질 접합기술 설계

금속과 복합재간의 이중접합은 복합재의 비금속적인 특성상 기계적 체결과 접착제 접합을 통해 수행된다. 기계적 체결 시 고압에 의해 시편의 변형 등 문제점을 초래할 수 있어 접착제를 활용한 접합기술을 확보하였다. 접합을 위한 성형 방법으로 AutoClave 공법을 적용하였으며, 방탄강판과 복합소재의 접착강도 요건을 충족하기 위해 성형온도 $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 성형압력 $80\text{Psi} \pm 5\text{Psi}$ 에서 90분 이상 유지 등 적절한 성형조건을 설정하였다. 적층 패턴은 Figure 5, 성형 조건은 Figure 6과 같다. 이중 접합 공정은 적층, 진공, 성형, 냉각, 탈형 순으로 진행되며, 이중 재질 접합 성형 후 한국고분자시험연구소에서 방탄강판과 복합소재의 층간박리시험을 실시하여 접착 강도 요건을 충족함을 확인하였다.

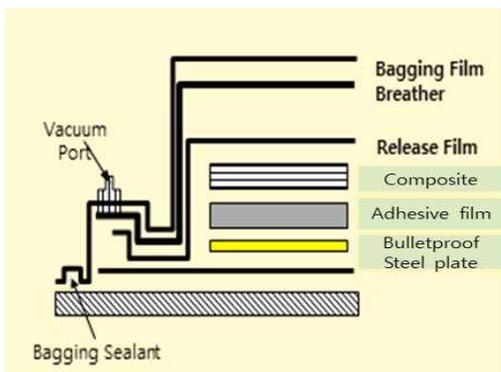


Figure 5. The pattern of layer for molding

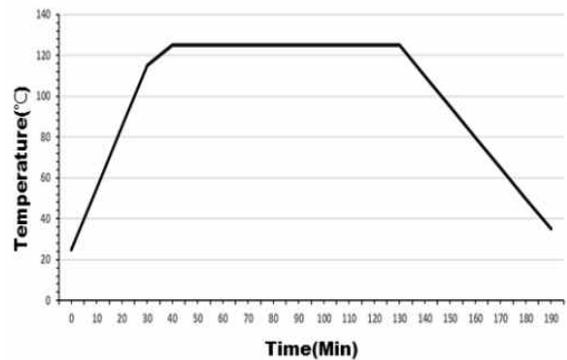


Figure 6. The condition of molding

3.3 절곡 기술 설계

절곡 기술의 핵심은 절곡 형상 구현 시 크랙이 없어야 하며, 절곡 후에도 방호성능을 발휘할 수 있는 적절한 경도를 충족해야 한다는 것이다. 우선 크랙 발생 없이 방탄강판을 절곡할 수 있는 절곡 방안 검토가 필요하며, 방호성능의 중요한 요소인 경도 조건을 만족하기 위한 열처리 기술을 확보해야 한다. 또한, 절곡방안과 열처리 기술을 토대로 적절한 형상을 구현하기 위해 Mandrel과 Die의 형상을 확정해야한다.

3.3.1 절곡 방안 검토

국산화 부품 중 하나인 측면 계단용의 경우 절곡 형상 구현 시 크랙이 없어야 하며, 절곡 후에도 방호성능을 발휘할 수 있는 적절한 경도를 충족하여야 한다. 하지만 방탄강판의 높은 경도와 낮은 연신율로 인해 측면 계단용 부가장 갑깃트 조립체 제작을 위한 절곡 형상 구현 시 절곡 부위에 크랙이 발생한다. 따라서 Figure 7과 같이 국부적 가열 후 절곡, 냉간 절곡, 열처리 후 절곡 등 3가지 절곡방안을 검토하여, 크랙이 발생하지 않은 열처리 후 절곡 방안을 채택하였다.

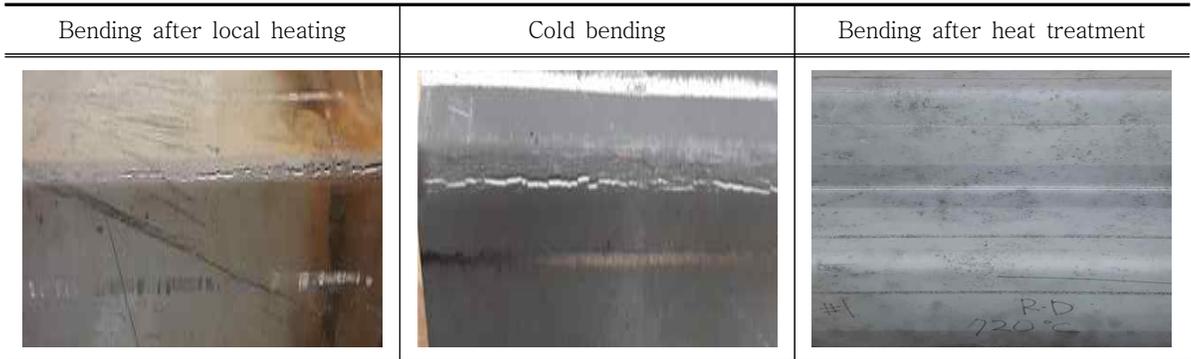


Figure 7. The analysis of bending method

3.3.2 열처리 기술 최적화

열처리 후 절곡 시 크랙 발생 없이 절곡이 가능하지만, 방호성능의 중요한 요소인 경도 조건을 만족하지 못하는 결과가 도출되었다. 따라서 최적화된 풀림(Annealing) 조건을 설정하기 위해 1000°C 이상, 800°C~1000°C, 720°C 에서 시험을 실시하였고, Figure 8은 풀림(Annealing) 온도에 따른 시편의 경도를 나타내는 그래프이다. 풀림(Annealing) 온도 1000°C 이상 시 시편마다 경도 편차가 컸고, 조직이 불안정하여 실제 절곡 구현 시 심부와 표면의 경도 차이로 파단 현상이 발생하였다. 800°C~1000°C에서 풀림(Annealing)시 시편마다 경도 편차가 낮아 졌고, 절곡 형상 구현이 가능하나 열처리 복원 시 경도 조건을 충족하지 못했다. 반면 720°C에서 풀림(Annealing)시 절곡 형상 구현이 가능하며 조직의 안정성이 확보되는 동시에 열처리 복원 시 경도 조건을 충족하는 것으로 나타났다.

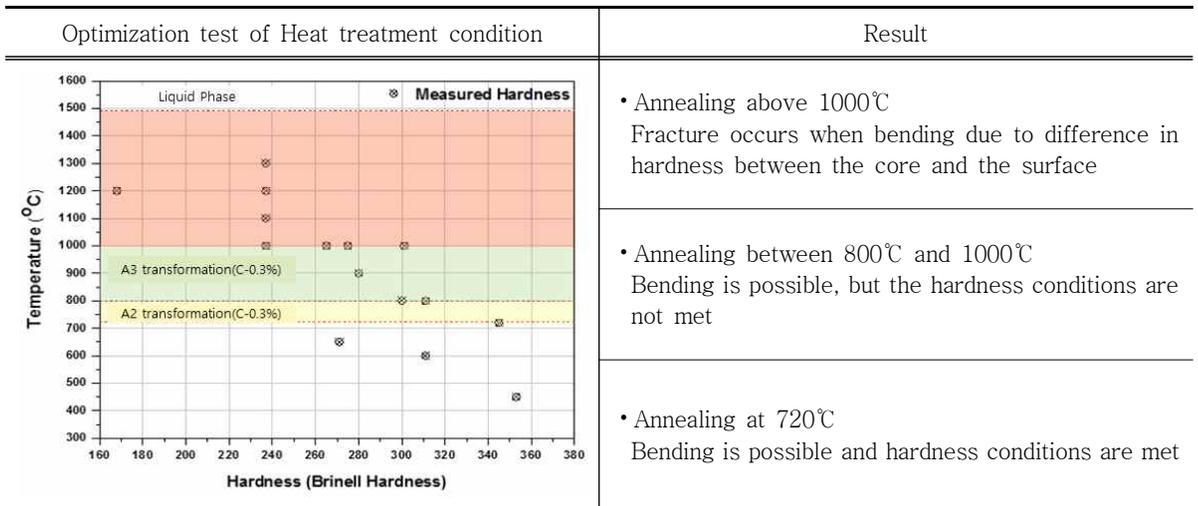


Figure 8. Hardness and bending characteristic according to heat treatment temperature

열처리 후 절곡을 할 경우 내부응력으로 비틀림이 발생하기 때문에, 절곡 형상 유지를 위해 2차 풀림(Annealing)을 실시하여 잔류응력을 제거할 필요가 있다. 그러나 2차 풀림(Annealing)으로 인해 경도 저하가 발생하기 때문에 이는 적절한 온도에서 소입(Quenching)을 통해 경도 저하를 복원하고, 소려(Tempering)를 통해 소입(Quenching)으로 발생한 응력을 제거하여 경도 복원을 최적화하는 과정을 거쳐야 한다. 따라서 Figure 9와 같이 2차 풀림(Annealing), 소입(Quenching) 그리고 소려(Tempering)의 경도 복원 과정을 최적화하였다. 즉, 비틀림을 유발하는 내부응력을 제거하기 위해 600℃에서 2차 풀림(Annealing)을 실시하고, 800℃ 부근에서 소입(Quenching) 후 수냉하여 경도 조건을 만족시킨다. 만약 800℃ 이상에서 소입(Quenching)할 경우 뒤틀림이 발생하며, 800℃ 이하에서는 경도가 미달되는 경향을 보인다. 최종적으로 소려(Tempering)를 통해 소입(Quenching) 후 발생한 내부응력을 제거하는 공정을 거쳐게 된다. 열처리 후 RSP에서 방탄강판의 열처리 전, 후 인장 강도 시험을 실시하여 기계적물성치를 충족하는 것을 확인하였다.

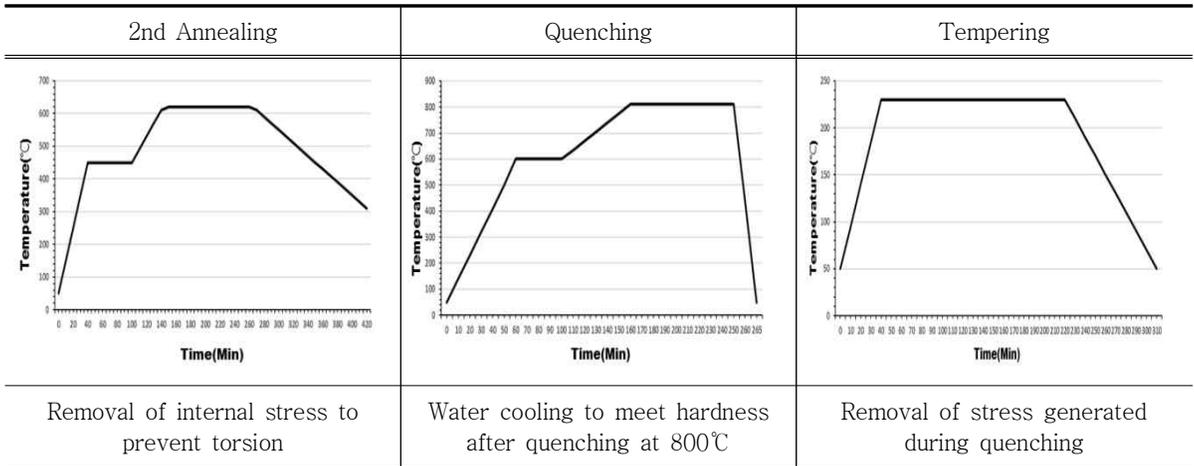


Figure 9. The optimality criteria for hardness restoration

3.3.3 절곡 형상 구현

절곡 방안 검토 후 측면 계단용 형상인 절곡 각도 90°, 절곡 부위 내측 기준 8R의 구체적인 절곡 형상 구현을 위해 Mandrel과 Die의 형상을 검토하였다. 검토 결과 Mandrel은 R 형상에 영향을 미치는 요소이고, Die는 내측 8R 구현에 영향을 미치는 요소인 것을 확인하였고, Figure 10과 같이 시험을 통해 내측 8R, 절곡 각도 90°를 구현할 최적화된 Mandrel과 Die의 형상을 고안하였다. 시험 결과 Mandrel R30과 ㄷ형태의 Die를 사용할 경우 내측 기준 14R의 절곡 형상이 구현되었고, Mandrel R24와 ㄷ형태의 Die를 사용할 경우 내측 기준 11R의 절곡 형상이 구현되었다. 반면 Mandrel R24와 V형태의 Die를 사용할 경우 측면 계단용 형상인 절곡 각도 90°, 절곡 부위 내측 기준 8R의 절곡 형상 구현이 가능하였고, Mandrel은 R24, Die는 V형태가 절곡 형상 구현을 위해 타당함을 확인하였다.

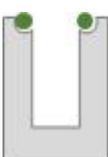
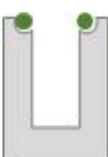
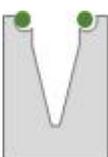
Mandrel	Die	Bending after heat treatment
 Round R30	 □ Die	 Realization of inner curvature 14R
 Round R24	 □ Die	 Realization of inner curvature 11R
 Round R24	 V Die	 Realization of inner curvature 8R

Figure 10. The selection of mandrel and die

4. Modeling and Simulation(M&S) 분석

3차원 동적 취성 파괴 해석을 위한 코드인 NET3D를 이용하여 수직 관통 해석과 절곡부의 피탄 시 탄자의 거동을 분석하였다. 14.5mm AP탄이 25mm 두께의 mild steel이 3층으로 적층된 표적을 관통하는 과정에 대해 3차원 해석을 수행하였다. 계산에 사용된 요소개수는 70,989개이며, 소요된 CPU 시간은 약 9,000초가 소요되었다. 해석결과 Table 3에서 볼 수 있듯이 (주)삼양컴텍에서 진행한 실제 시험결과와 유사한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3. Penetration depth (Mild steel)

Velocity(m/s)	NET3D(mm)	Experiment(mm)
658.7	35	35.88
853.1	55	54.08

초고경도 절곡 장갑재의 부위별 관통력을 확인하기 위하여 90도 절곡부 중앙 안과 밖, 절곡된 경사면의 안과 밖 모두 4위치의 3D 해석을 수행하였다. 절곡부 관통분석결과 Figure 11과 같이 측면 계단용 부가장갑킷트의 경우 탄환이 맞는 부위에 따라 관통력에 있어 다른 양상이 나타나는 것을 확인하였다. 절곡 부위 중앙에 탄환을 맞는 경우 약간의 요(yaw)가 발생하지만, 경사면에 맞는 경우 많은 요(yaw) 현상이 발생하여 관통력이 크게 떨어지며, 절곡부

의 형상에 따라 탄자 앞부분의 파손 양상이 상이한 것을 확인하였다.

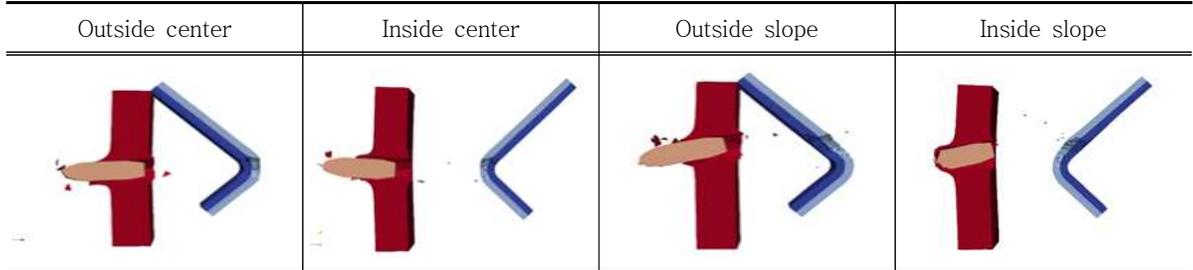


Figure 11. The result of M&S

5. 시제품 개발 및 시험

수입품 분석 결과를 토대로 기술자료를 작성하였고, 그 기준으로 금형, 치구 개발을 진행하였으며, 소재 건전성 입증 후 제조 BOM을 기준으로 부품 제작을 진행하였다. 이후 공인기관에서 성능 및 환경시험을 실시하여 품질을 입증하였고, 제작된 시제 1대는 체계 장비에 장착하여 체계운용 적합성 시험을 진행하여 성능을 입증하였다.

환경적인 요소가 부가장갑킷트의 방호성능에 어떠한 영향을 미치는지 검증하기 위해 환경시험 후 방탄시험을 수행하였다. 수행 방법은 고온, 저온, 습도 등 환경시험을 진행한 후 20mm FSP탄 또는 14.5mm API탄을 특정 속도로 10발 발사하여 방호율을 측정한다. 시험 결과 시험 항목의 기준을 모두 충족함을 확인하였고, 이를 Table 4에 나타내었다. 개발된 단위 부품은 단위 시험 상 규격을 만족할 지라도, 상위 조립체에 장착 시 문제가 발생할 수 있으므로, 운용간 이상이 없는지 확인하기 위한 체계운용 적합성을 시험을 진행한다. 시험 항목은 장착 후 총 중량, 육상 및 해상 주행성능 그리고 장착 용이성과 간섭 영향성 등으로 구성된다. 시험 결과는 Table 5와 같고, 시험 항목의 기준을 모두 충족함을 확인하였다.

Table 4. The result of bulletproof test after environmental test

Test items	Test criteria	Result
Bulletproof test after high temperature, low temperature and humidity test	Defend all 10 shots of 20mm FSP at $V_0 = 000.0 \pm 0$ m/s	No penetration
Bulletproof test after vibration and shock test		
Bulletproof test after salt fog spray test		
Bulletproof test after high temperature, low temperature and humidity test	Defend all 10 shots of 14.5mm API at $V_0 = 000.0 \pm 0$ m/s	
Bulletproof test after vibration and shock test		
Bulletproof test after salt fog spray test		

Table 5. The result of system operational test

Test items	Test criteria		Researcher
Total weight	1.996ton or below		1.864ton
Overall width	Separation distance of side stair	215.9mm or below	214mm
	Separation distance of side slope	140mm or below	134mm
	Maximum overall width	3.68M or below	3.65M
Driving performance test	On land	122hr or above	124hr
	On sea	30hr or above	30hr
Mounting test	Easy of mounting, Component interference ect		OK

6. 결 론

상륙돌격장갑차용 부가장갑킷트 조립체는 적 중화기 및 155mm 고폭탄의 위협으로부터 승무원의 생존성을 높이고 전투력을 유지하기 위한 핵심 구성품으로 다음과 같은 사유로 개발의 필요성이 매우 높아졌다. 첫째, 부가장갑킷트 조립체를 도입 운용한지 10년이 경과하여 이중소재의 박리현상 및 해수에 의한 부식 등으로 인한 품질저하로 방탄성능의 보장이 불가한 실정이다. 둘째, 상륙돌격장갑차의 운용유지를 위한 소요(부품 교체소요)가 계속 증가하고 있는 실정이다. 셋째, 해외 업체의 독점 공급으로 고단가로 수입하고 있으며, 날개 단위 구매가 불가하여, 세트 단위로 구매함에 따라 예산이 낭비되고 있는 실정이다. 또한, 본 상륙돌격장갑차용 부가장갑킷트 조립체는 해병대를 보유하고 있는 미국, 브라질, 태국 등에 널리 사용되고 있고, 원 제조사인 이스라엘 Rafael사가 독점적으로 생산하여 공급한 실적이 있다. 하지만 국내에서는 타 전투체계장비의 방탄제품이 제작되어 군에 공급된 실적은 있으나, 상륙돌격장갑차용 부가장갑킷트 조립체를 제작하여 공급한 제조업체가 전무한 실정이다. 체계장비 외부에 부착 또는 장착되는 부가장갑킷트의 국내 제조업체는 (주)삼양컴텍 밖에 없으며, 코오롱테크에서 K21전투장갑차용 방탄 제품을 생산한 실적은 있다. 이에 따라 (주)삼양컴텍은 핵심부품국산화 개발지원사업의 형태로 정부 및 개발업체간 공동투자의 형태로 국내 최초로 독자기술 개발을 통해 상륙돌격장갑차용 부가장갑킷트 조립체 개발을 착수하였다.

국방기술품질원 주도하에 무기체계 핵심부품 국산화개발 지원 사업을 통하여 부가장갑킷트조립체의 기술개발과 시제품 방탄시험(20mm FSP, 7.62mm AP, 12.7mm AP, 14.5mm API), 환경시험 및 체계운용 적합성 시험 등을 수행하였으며, 본 연구에 참여함에 있어 핵심부품의 국산화 개발을 성공적으로 수행하고 개발과정의 부품·소재기술의 내재화 및 이를 활용 할 수 있는 방안을 찾고자 노력하였다. 또한, 부품설계기술 및 생산기술개발을 수행하였고, 시제품의 국산화 개발을 성공적으로 수행 완료함으로써 향후 창정비 시 안정적인 자재수급과 원활한 군수지원이 가능할 것으로 판단되며, 해당 부품개발 시 축적된 제품제작, 제조공정 및 시험평가 기술은 유사 부품의 국산화 및 시험평가 시 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 기 획득한 무기체계의 운용 유지의 용이성과 수입대체 효과에 따른 비용절감 등의 개발효과를 얻을 수 있으며, 경제적으로 연간 약 28억원의 원가절감 및 53억 수입대체 효과가 예상된다.

REFERENCES

- Andreas Klavzar, Frank Pursche, Norman Herzig, and Thomas Wolf. 2017. Ballistic Limit Thickness and Failure of Steel Targets with Different Strengths under EFP Impact. *Procedia Engineering* 197:270-277,
- Chang Hyun Choi. 2019. A Case Study on Application of R&D Quality Assurance to Secure High Quality for Military Supplies. *Journal of Korean Society for Quality Management* 47(1):151-162.
- Crouch, Ian G. 2017. *The Science of Armour Materials*, Woodhead Publishing.
- David Fecko, Douglas Lyle, and Xavier Gambert. 2005. *Composite Armor Solutions for Stanag 4569 Ballistics Protection Levels, AGT*.
- Dwight D. Showalter, William A. Gooch, Matthew S. Burkins, and R. Stockman Koch. 2008. *Ballistic Testing of SSAB Ultra-High-hardness Steel for Armor Applications*, ARMY RESEARCH LABORATORY.
- Dwught Showalter, William Gooch, Matthew Burkins, Jonathan Montgomery, and Richard Squillacioti. 2009. *Development and Ballistic Testing of a New Class of Auto-Tempered High-Hard Steels Under Military Specification MIL-DTL-46100E*. Army Research Laboratory.
- Hazell, Paul J. 2015. *Armour - Materials, Theory and Design*, CRC Press.
- Jang, B. K. 2014. A Study on the Development Quality Control by Application of QFD and Stage-gate in Defense System. *Journal of Korea Society for Quality Management* 42(3):279-290.
- Kim Hee Jae. 2004. *Bulletproof engineering*. Cheong Moon Gak Publishing Co, Korea.
- Lee Dae Jil, Jung Myung Young, Choi Jin Ho, Jeon Sung Sik, Jang Seung Hwan, and Oh Je Hoon. 2007. *Composite Materials*. Hongreung Publishing Co, Korea.
- Park, Y. M, Kim, B. U, Kim, S. H, and Noh, S. W. 2019, A Study on Durability Life Improvement of Blower for Military Armored Vehicle and Self-propelled Artillery. *Journal of Korea Society for Quality Management* 47(3):453-465.
- Paul J Hogg. 2003. *Composites for Ballistic Applications*, Department of Materials Queen Mary, University of London.
- Pawel Zochowski. 2017. *Add-on Passive Armour for Light Armoured Vehicles Protection*. Military Institute of Armament Technology.
- Petr Pechoucek, Stanislav Rolc, and Jaroslav Buchar. 2011. *Fragment Simulating Projectile Penetration into Layered Targets*. *Engineering Mechanics* 18(5/6):353-361.
- S Ryan, Hui Jun Li, M Edgerton, D Gallardy, and S J. Cipoeru. 2016. *Ballistic evaluation of an Australian ultra-high hardness steel*, Faculty of Engineering and Information Sciences.

저자소개

고동현 부산대학교 항공우주공학과를 졸업하고, 현재 국방기술품질원 기동화력센터 기동화력4팀에 근무중이다. 주요 관심분야는 기계공학, 항공우주공학, 품질경영 등이다.

문태상 영남대학교 기계공학과 학사 및 부산대학교 산업공학과 석사를 졸업하였으며, 현재 국방기술품질원 기동화력센터 책임연구원으로 근무중이다. 주요 관심분야는 부품국산화, 품질경영, 신뢰성공학 등이며, 27년간 근무하면서 논문게재 총 8회[제1저자 3회(SCIE 1회 포함), 공동 저자 5회]게재, 연구개발장려금 5회 수상(은상 1회, 동상 1회, 장려 3회), 원내 제안상 13회 등 총 24회를 수상하였다.

김영기 현재 ㈜삼양컴텍 연구소에서 책임연구원으로 근무중이며, 주요 관심분야는 부품국산화, 품질공학 등이다.