

K21 보병전투차량의 도하작전 간 안정성에 관한 시뮬레이션 연구

김성도¹⁾, 이병길²⁾, 허장욱^{3)*}

1) 서울사이버대학교, 2) (주)한화디펜스, 3) 국립금오공과대학교

A Simulated Study on the Stability during Crossing Operation of K21 Infantry Fighting Vehicle

Sung Do Kim¹⁾, Byung Kil Lee²⁾, Jang Wook Hur^{3)*}

1) Seoul Cyber University, 2) Hanwha Defense Cooperation, 3) Kumoh National Institute of Technology

Abstract : In ground weapon systems, the design and analysis technology for water operation stability is a relatively unknown area compared to maritime weapon systems. Through this study, it was confirmed that our weapon system satisfies the criteria for stability on the water when considering the operational concept and operational performance. However, there is a limitation of the study that it did not perform verification tests on the actual system. Therefore, in the future research and weapon system acquisition process, a procedure to prove the stability through freeboard analysis using the actual system is required.

Key Words : Operational Stability, Crossing Operation, Weapon System Acquisition, Freeboard Analysis, DAFUL

Received: April 1, 2023 / **Revised:** June 12, 2023 / **Accepted:** June 27, 2023

* 교신저자: Jang-Wook Hur / Kumoh National Institute of Technology / hhjw88@kumoh.ac.kr

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

한반도 지형은 70% 이상이 산악지형으로 이루어져 있으며 다수의 하천이 형성되어 있는데, 북한 지역의 경우 교량의 노후화 등으로 인해 기동 무기 체계의 도하작전이 불가피하다.[1]

한반도의 군사작전 환경을 고려할 때 지상전력은 기동간 다양한 임무를 수행한다. 특히 강이나 하천과 같은 지형 장애물에 대한 극복을 위한 가장 직접적인 해결방법은 기동무기체계에 도하능력을 부여하는 것이라 할 수 있겠다.

각종 전투차량 등은 기동성, 방호능력, 화력 등을 구비하여 각종 전장상황에 대처하기 위한 성능 개량 등을 꾸준히 지속하고 있다.[2]

그러나 대부분의 기동 무기체계는 설계시 주 기능이 수상운행이 아닌 부가적 기능에 해당하는 것으로 실제 수상 운행에서 직면할 수 있는 다양한 상황에서의 차량 전복의 위험성 등을 사전 검증하는 등의 절차를 통해 승무원들의 생존성을 확보할 필요가 있다.[3]

특히 웨도차량은 수상 운행 중 가속 또는 감속 상황에 따라 종동요(Pitching)이 발생하며 차체 전면이 물속으로 급격히 기울어지는 현상이 발생한다. 이를 위해 건현을 측정하여 수상에서의 안정성을 검증하는 연구가 진행된 바 있다.[4]

수상 안정성을 검증하는 것은 다양한 방법이 있지만 여유부력을 고려하여 전방건현과 후방건현을 측정하여 개선효과를 식별하는 방법을 활용한 연구가 진행된 사례도 있다.[5]

그러나 시험평가 등을 통해 수상 안정성 등을 입증하기 위해서는 실체계를 이용한 반복적 실험을 하는 것이 매우 제한적이다.

이러한 문제점을 극복하기 위해서는 설계 및 시험평가 과정에서 시뮬레이션 기법을 적용할 필요가 있겠다.

유재관(2016)은 무인수상정(USV)의 선체 동적거동의 해석에 관한 연구를 시뮬레이션 기법을 통해 분석하였다.[6]

허명민(2023)은 유사 무기체계인 상륙돌격장갑차의 진수 중 동적 거동에 대한 수치해석을 STAR-CCM+ 버전 16.04를 활용하여 수행하였다.[7]

김세종(2019)은 산업용 로봇팔의 동역학적 거동해석을 위해 DAFUL을 사용하여 연구를 수행하였으며, 이를 통해 시간에 따른 구조해석을 수행하였다.[8]

본 연구에서는 K21 획득 사례를 기반으로 기동 무기체계가 도하작전 간 안정성을 사전 검증하는 시뮬레이션 방법을 제시하고, 그 결과를 분석하여 시사점 등을 도출하고자 하였다.

이를 통해 본 연구는 시뮬레이션을 통해 안전성을 검증하여 요구조건에 적합 여부를 사전 확인하고 분석하는 절차를 통해 무기체계 연구개발의 경제성과 효과성 등을 제고하고자 한다.

2. 연구방법

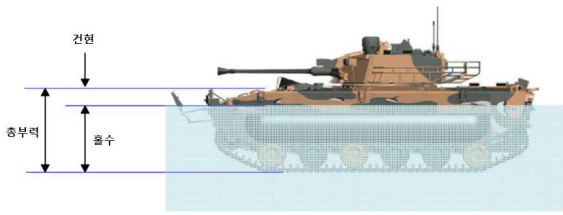
2.1 작전운용성능 분석

작전운용성능은 무기체계 획득 사업에 있어 비용, 성능, 일정을 결정하는 중요한 요소이다.

국방전력발전업무훈령 등에서는 작전운용성능을 ‘군사전략 목표달성을 위해 획득이 요구되는 무기체계의 운용개념 충족시킬 수 있는 성능수준과 무기체계의 능력을 제시한 것으로서 주요 작전운용성능과 기술적·부수적 성능으로 구별되면, 이는 연구개발 또는 국외구매 무기체계 획득을 위한 시험평가의 기준’이 되는 것으로 정의하고 있다.[9]

일반적으로 기동장비의 소요결정 과정에서는 주요 ROC와 기술적·부수적 성능 항목은 최고속도, 방호력, 운용온도, 도하능력, 중량, 탑승인원, 항속거리 등으로 설정된다.[10]

K21의 경우는 기동 간 도하능력을 확보하기 위해 작전운용성능 항목으로 여유부력과 전방건현에 대한 기준치를 도하능력에 관한 작전운용성능으로 구체적으로 설정하고 있다.



[Figure 1] System Configuration

이를 도식으로 나타내면 그림 1과 같다.

본 연구의 분석대상인 K21 보병전투차량의 설계상 요구사항은 이러한 여유부력을 00% 이상 확보하도록 하고 있다.

또한 전방건현은 하중 재분배 등을 통해 000mm 이상으로 설정할 것을 요구사항으로 제시하고 있다.

2.1.1 여유부력과 전방건현

여유부력은 무기체계의 총부력과 흘수선 아래에 잠긴 부력의 차이를 수상운행 중량으로 나눈 값의 백분율로 표시하며 수식 1과 같다.

여유부력

$$= \frac{(\text{차량총부력} - \text{흘수선까지의 부력})}{\text{수상운행중량}} \times 100(\%)$$

[Equation 1] Margin of Buoyancy

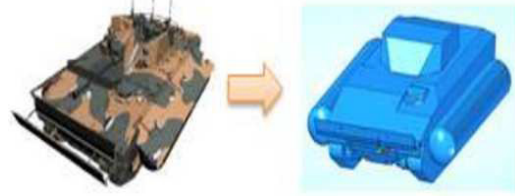
여기에서 총부력은 무기체계의 차체 상판까지 물에 잠긴 상태에서의 부력을 말하여, 건현은 수면으로부터 차체 상판까지의 높이를, 흘수는 수면으로부터 차체 최저까지의 깊이를 각각 의미한다.

2.2 M&S 해석프로그램 및 모델링

M&S 해석을 위해 다물체 동역학 기반 해석 소프트웨어인 DAFUL을 사용하였다. 모델링 과정에서는 실 체계의 형상을 적재하중 등을 고려하여 그림 2와 같이 단순화하였다.

해석을 위한 차량의 수상에서의 전진속도는 A 무기체계의 작전운용성능 중 수상운행 속도 0 km/h를 기준으로 하였으며, 하천의 유속은 작전지역에서 도

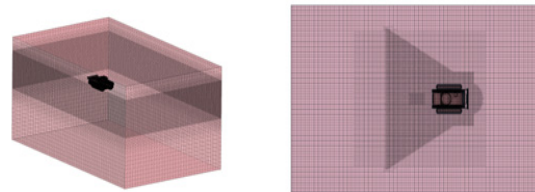
하가 예상되는 000 일대의 평균 유속을 고려하여 측면유속 0.0 km/h를 설정하였다.



[Figure 2] System Modeling

CFD해석에는 k-ε realizable turbulence model 이 사용되었으며, 시뮬레이션을 위한 경계조건의 설정은 표 1에 명시하였다.

격자의 구성은 트리머 및 경계층 격자를 사용하였으며, 총 격자수는 5,841,946 셀로 그림 3과 같이 구성하였다.



[Figure 3] Mesh Design

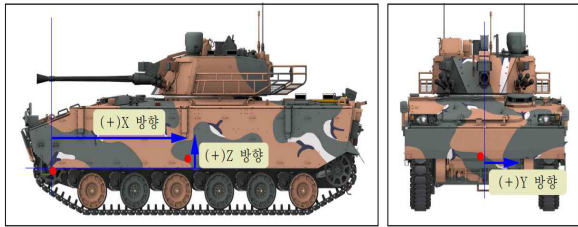
<Table 1> Analysis Conditions

ITEM	Value
Turbulence Model	k-ε realizable
Minimum Cell Size	0.01375 m
Maximum Cell Size	3.52 m
Number Of Prism Layers	6
Prism Layer Thickness	0.025 m
Prism Layer Stretching	1.3
Time Step	0.02 s
Physical Time	80 s
6 DOF	Y Direction Translate Free Z Direction Translate Free X Axis Rotate Free Y Axis Rotate Free

3. 분석결과

3.1 무게중심

총중량은 차체 및 인원, 화생방 물자, 적재탄약, 개인화기, 통신 및 관측장비 등을 현재의 교리 등을 기준으로 합산하여 00,000kg로 산정되었고, 각종 탑재장비의 배치에 따른 무게중심 등의 해석을 위해 좌표를 그림 4와 같이 설정하였다. 무게 중심의 기준은 x축은 기동륜을 기준으로 차량의 길이방향, y축은 차량중심 기준 폭방향, z축은 기동륜 기준 높이 방향으로 각각 설정하였다.



[Figure 4] 3D Coordination Setup

측정된 무게중심의 위치는 표 2와 같다.

<Table 2> Coodinates of Center of Mass

구분	무게중심		
	X	Y	Z
분석결과	2,879	-15	483

무게 중심의 분석결과에서는 y축을 중심으로 한 쪽으로 편향되는 결과를 얻었다. 이를 토대로 수상 운행간 안정성을 보완하기 위해서 측면의 공기주머니의 형상을 00% 부피차를 두어 비대칭으로 설계하였다.

3.2 여유부력

상기에 제시된 차량의 총중량과 수상운행간 탑재 장비 등을 종합적으로 분석하여 여유부력을 산정하였을 때, 그 결과는 00.0%로 최초의 작전운용성능

인 00%를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

3.3 건현분석

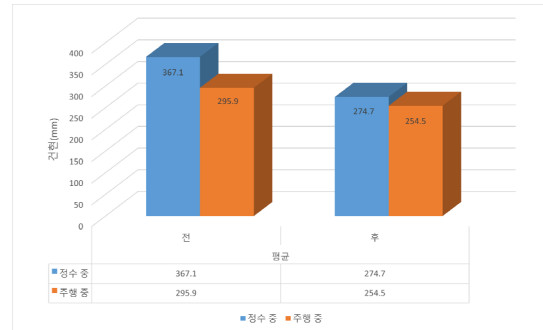
건현은 정수 중 조건과 수상 주행 중 조건에서 유속 등을 고려하여 전방과 후방에서의 건현을 측정하여 그 평균값으로 분석하였다.

분석결과 주행 중에는 정수 중에 비해 건현이 낮아지는 경향을 보이나, 분석 상 가장 가혹한 조건에서도 전방건현은 000mm 이상을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 세부 결과는 표 3과 같다.

<Table 3> Freeboard Analysis Result

구분	전방		후방	
	좌	우	좌	우
정수 중	363.4	370.7	271.0	278.4
주행 중	290.4	301.4	249.0	260.0

전방과 후방의 평균건현은 정수 중인 상태가 더욱 높은 것으로 나타났으며, 그 결과는 그림 5와 같다.



[Figure 5] Mean Freeboard Comparison

4. 결론

본 연구를 통해 지상 무기체계의 수상 운행 안정성을 시뮬레이션을 통해 사전 검증할 수 있었다.

특히 K21은 운용개념과 작전운용성능 등을 고려하여, 수상안정성 확보를 위해 여유부력을 00% 이상 확보하고, 전방건현을 000mm 이상 유지하도록

요구하고 있다.

연구를 통해 수상 안정성에 대한 기준을 충족할 수 있음을 사전 확인할 수 있었다. 그러나 실체계에 대한 입증시험 등을 수행하지 않았다는 연구의 한계점이 존재한다.

따라서 향후 연구 및 무기체계 획득과정에서는 실체계를 활용하여 도하 간 견현분석 등을 통하여 안정성을 입증하는 절차가 요구된다.

본 연구는 장차 M&S 기반의 분석을 통해 사전 개념연구 등의 단계에서도 수상안정성에 관한 검증 을 하기 위한 유용한 사례 연구로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

1. 고희일, 박지원, 윤광준, & 김민환. (2021). 도하 작전을 위한 틸트형 소형 드론 개발. 한국환경기술학회지, 22(2), 173-181.
2. 김범준, 이준형, 김선도, 김종현. (2017). 수륙양용 전투차량의 정적 수상안정성에 관한 연구. 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 1401-1403.
3. 안수홍, 김인수, 문성목, 이경훈, 김선도. (2014). 차륜형 전투차량의 수상운행상황에서의 수상안정성에 관한 수치해석 연구. 대한기계학회 춘추학술대회, 330-331.
4. 박경철, 김형현, 권준식, & 김경로. (2015). 케도 차량의 동적 피칭에 미치는 고정식 핀 (Fin) 및 부력장치의 영향. 한국군사과학기술학회지, 18(3), 220-225.
5. 이경수, 정의진, 박경진. (2014). 차륜형 전투차량 전복 시승무원 안전성 확보를 위한 시뮬레이션 연구. 대한기계학회 논문집 A권, 38(4), 385-391.
6. 유재관, 신동협. (2016). 무인수상정 선체 동적거동 해석기법. 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 252-252.
7. 허영민, 김태형. (2023). 상륙돌격장갑차의 진수중 동적 거동 수치 해석, 한국군사과학기술학회지 2023;26(2):159-170
8. 김세중, 김진호. (2019). Daful을 이용한 산업용 로봇팔의 구조해석에 관한 연구. 한국기계기술학회지, 21(1), 159-163.
9. 국방전력발전업훈령, 국방부훈령 제2749호, 2022. 12. 30.
10. 엄동환. (2019). 무기체계 작전운용성능 설정 및 시험평가방법 개선에 대한 연구. 시스템엔지니어링학술지, 15(2), 9-16.