

기능분석을 활용한 차륜형 전투차량의 수상운행 위해 요소 분석 및 경감 방안 연구

나재현¹⁾, 이철우²⁾, 이승종²⁾, 김종현²⁾, 김의환¹⁾

1) 아주대학교, 2) 현대 로템

A Study on the Hazard Elements and Reduction for the Armored Wheeled Vehicle River Crossing Operation

Jae Hyun Na¹⁾, Cheol Woo Lee²⁾, Seung Jong Lee²⁾, Jong Hyun Kim²⁾, Eui Whan Kim¹⁾

1) *Ajou University*, 2) *Hyundai Rotem*

Abstract : The river crossing is a very challenging operational function for the ground wheeled vehicle. In this study, the typical hazardous elements were identified by analysing the functional flow of river crossing operation and the survey on the similar operational experiences in real fields. The identified hazardous elements were reviewed on the basis of ALARP concept and reduction approaches were recommended for limited cases.

Key Words : Functional Modeling(FFBD), Functional Analysis, Hazard Analysis, River-crossing, Armored Wheeled Vehicle, Water Jet, ALARP

* 교신저자 : Jae Hyun Na/ Ajou University/ njh1222@ajou.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

차륜형 전투차량은 다양하고 많은 서브시스템들의 유기적 결합으로 이루어진 시스템이다. 이런 시스템을 구현하여 운용하는 데에는 위해요소가 존재할 수 있다. 하지만 위해요소를 미리 발견하여 대안을 마련하는 일은 쉽지 않은 일이다. 정확한 요구사항의 개발, 검증 그리고 확인을 하지 않으면 설계의 치명적인 오류가 발생하여 대형 사고가 발생하기도 한다.^[1] 그리고 또한 모든 위험을 제거할 수 있는 설계가 현실적으로 가능한 것도 아니다. 차륜형 전투차량은 국내에서 최초 개발 중인 지상 장비로서 Water Jet를 사용한 수상 운행 기능을 가지고 있어 그 위해 요소를 발견하고 경감하는 일이 쉽지 않다.

본 논문은 차륜형 전투차량의 수상운행 상황에 대한 기능분석 등을 통해 수상도하 중 발생할 수 있는 문제 상황을 도출하고 그 해결 방안을 제안한 것으로서 차륜형 전투차량의 수상운행에 대한 FFBD 모델링과 지상 장비의 수상운행 경험을 조사하여 대표적이라 생각되는 위해요소를 도출하였다. 도출한 위해요소는 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)개념에 따라 그 위험 수위가 낮아질 수 있도록 제한적이기는 하나 해결책을 제안하였다.

2. 본론

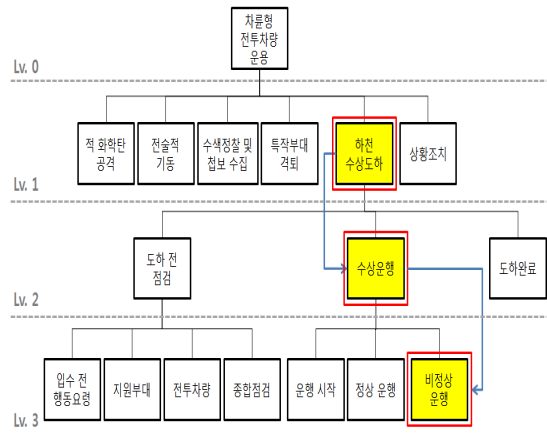
2.1 위해요소 도출

위해요소 도출을 위해 차륜형 전투차량의 수상운행 중 발생할 수 있는 상황들을 기능구조도를 활용하여 세분화 하고 발생할 수 있는 문제 상황을 기술하였다. 위해와 연결될 수 있는 요소를 도출하기 위해 FFBD(Functional Flow Block Diagram)를 활용하였다. FFBD는 CORE라는 전산도구를 사용하여 Enhanced FFBD 형태로 작성하였다. 또한 도출된 기능요소가 위해요소와 어떻게 연결되어 있는지를 확인하기 위하여 수상도하 경험을 조사하였다.

2.1.1 수상운행 기능구조

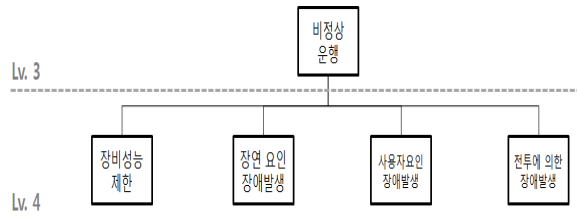
본 절차는 차륜형 전투차량의 수상운행을 FFBD로 나타내기 전에 선행 수행되어야 할 부분으로써 차륜형 전투차량이 수상운행 시에 마주할 수 있는 상황을 도출할 수 있다.

차륜형 전투차량의 전반적인 운용에 대해서는 개발기획이 자체 선행 연구 단계 시 작성한 시나리오를 활용하였고, 그 중 수상 운행 부분에 대하여 세부적인 기능이 도출될 수 있도록 hierarchy를 구성하여 분해하였다.



[Figure 1] Function Structure of Armored Wheeled Vehicle

Figure 1은 차륜형 전투차량의 기능구조를 나타낸다. 이 중 ‘하천수상도하’ 라는 기능에 대하여 세부적으로 분석을 실시하였다. 가장 먼저 수상운행에서 발생할 수 있는 전반적인 절차를 정의하였고, 발생할 수 있는 정의 중에서도 ‘비정상 운행’ 항목을 세부적으로 분석하였다.



[Figure 2] Typical Abnormal Operation of Armored Wheeled Vehicle

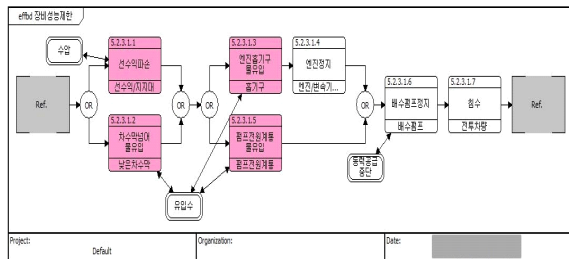
Figure 2는 ‘비정상 운행’의 대표적 항목으로

크게 장비성능, 자연요인, 사용자요인, 전투에 의한 요인 4가지로 분류된다.^[2] 각 상황마다 위해 요소를 극복하고 도하를 완료할 수 있을 것인지, 아니면 그렇지 못한지에 대해 세부적인 분석을 위하여 각각의 경우를 EFFBD(Functional Flow Block Diagram)로 나타내었다.

전투에 의한 장애가 발생하는 경우는 장비의 보강으로 인해 위해요소가 경감될 수 없고, 차륜형 전투차량의 운용 개념뿐만 아니라 전술적인 개념이 함께 적용되어야 함으로, 설계나 운용적 측면으로 해결할 수 없다고 판단하였다. 본 논문에서는 전투에 의한 장애 발생의 기능분석 및 위해요소 도출, 경감 과정을 생략하기로 하였고, 이를 제외한 총 3가지 상황을 소려한 EFFBD를 표현하였다.

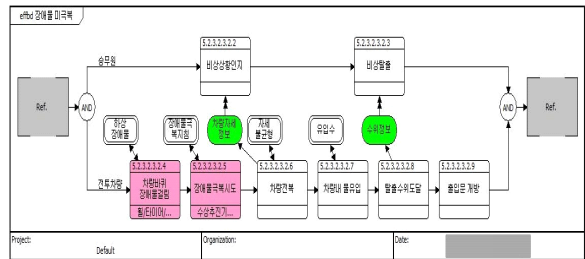
2.1.2 FFBD 모델링

수상운행의 기능구조를 통해 알아본 차륜형 전투차량의 수상운행에서 발생할 수 있는 장애요인들의 경우를 FFBD로 모델링 하였다.



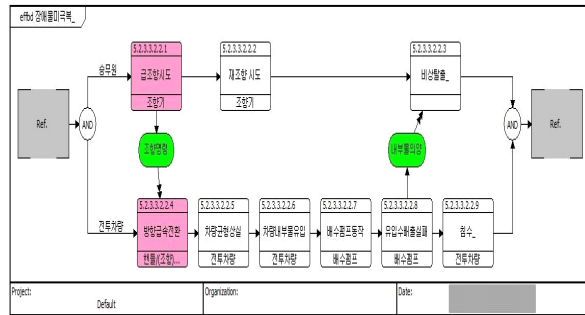
[Figure 3] EFFBD of Abnormal Operation with Limited System Performance

Figure 3은 장비성능 제한의 문제 중 선수막과 선수익의 기술적 또는 운용상의 결함으로 비정상운행이 발생한 경우의 EFFBD로 차륜형 전투차량의 선수익이 파손되거나 선수막을 통해 물이 유입되어 침수되는 상황이다. 선수익이나 선수막의 기능 결함을 장비성능제한의 대표적 위해요소로 도출하였다.



[Figure 4] EFFBD of Abnormal Operation with Natural Environment

Figure 4는 자연요인으로 인해 장애가 발생하는 EFFBD로써, 하상장애물로 인해 수상운행에 문제가 되는 경우를 표현하였는데 수상에서 바퀴가 아닌 Water Jet의 동력으로 운행되기 때문에 차량의 바퀴나 하부차체가 하상장애물에 걸렸을 시 운행에 큰 문제가 될 수 있다. 자연요인으로 인한 장애 발생은 장비의 성능과는 관련이 없으므로 하상장애물로 인한 자연요인을 위해요소로 판단하였다.



[Figure 5] EFFBD of Abnormal Operation with User Inexperience

Figure 5는 사용자요인으로 인해 발생하는 장애 발생에 대한 EFFBD이다. 사용자가 급하게 조향을 시도하는 경우 발생할 수 있는 경우를 표현하였다. 수상운행을 할 때는 수상조향헨들(러더)을 사용함으로써 지상에서 운행하는 것처럼 조향이 이루어지지 않는다. 사용자의 조향 기술이 부족하다면 수상운행의 위해 요소가 될 수 있을 것으로 보인다.

2.1.3 유사장비 수상운행 경험조사

차륜형 전투차량 수상운행의 경우, 바퀴형 차량에 Water Jet를 사용하는 방식으로 국내에서 처음 시도되는 방식이다. 현재까지의 주된 경험은 케도형 장갑차나 전차에 대한 수상운행이었다. 차륜형 전투차량이 수상운행을 하는 방법과는 다소 차이가 있을 수 있지만, 기존 케도형 지상장비에서의 운용경험은 기능분석을 하는데 도움이 될 수 있을 것으로 예상하여 수상운행 경험 관계자를 통해 수상운행 경험을 조사하였다.

케도형 지상장비의 수상운행 시 하상에 존재하는 바위가 케도에 걸림으로써 문제가 발생하는 경우가 있다고 하였다. 케도는 바퀴보다 힘이 좋기 때문에 하상 장애물을 극복하기 유리하지만, 차륜형 전투차량의 경우는 하상의 장애물이 운용에 큰 문제가 될 수 있다고 판단하였다. 기능구조에서 구분한 수상운행의 4가지 비정상 운행 중 자연요인에 해당하였고, FFBD 작성 시 참고하였다.

케도형 지상장비는 수상 운행 중 물의 압력으로 인해 파도막이가 휘는 경우가 발생한 적이 있었고, 차수막 사이로 물이 흘러들어온 경우도 있었다. 이 문제는 케도형, 바퀴형 할 것 없이 차륜형 전투차량에도 발생할 수 있고, 기능구조에서 구분한 장비기능 제한에 해당하며 FFBD 작성 시 참고하였다.

2.2 위해요소 분석 및 경감방안

2.2.1 위해요소와 ALARP

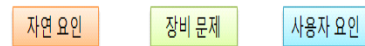
기능구조를 파악하여 세분화된 차륜형 전투차량의 수상운행 상황들은 EFFBD를 통하여 표현되었고, 전문가의 유사장비 수상운행 경험을 참고하여 위해가 될 수 있는 3가지 요소(전투에 의한 요인 생략)들을 도출하였다. 장비문제, 사용자 요인, 자연요인의 3가지 도출된 위해요소들은 실제로 그 요소가 시스템에 얼마나 큰 영향을 미칠 것인지 판단하는 것이 중요하다.

[Table 1] Example of Hazardous Elements Category : A, B, C, D^[3]

Frequency	Hazard Severity Category				
	Disastrous	Catastrophic	Critical	Severe	Minor
Frequent	A	A	A	A	B
Probable	A	A	A	B	C
Occasional	A	A	B	C	C
Remote	A	B	C	C	D
Improbable	B	C	C	D	D
Non-credible	C	C	D	D	D

Table 1은 위해 요소 카테고리로서 참고문헌3의 내용을 사용하였다. 세로축에는 위해 요소의 Frequency(혹은 Probability)로 평가하고, 가로축에는 Severity로써 해당 위해 요소가 얼마나 시스템에 큰 영향을 미치게 될 지로 구분한다. Table 1은 가로축과 세로축 모두 5단계로 구분하여 그 중요도를 정하였고, 카테고리 A부터 D까지의 범위를 정하였다.

Frequency	Hazard Severity Category				
	Disastrous	Catastrophic	Critical	Severe	Minor
Frequent	A	A	A	A	B
Probable	A	A	A	B	C
Occasional	A	A	B	C	C
Remote	A	B	C	C	D
Improbable	B	C	C	D	D
Non-credible	C	C	D	D	D



[Figure 6] Hazardous Elements Classification of Armored Wheeled Vehicle in River Crossing

이런 과정을 통해 차륜형 전투차량의 경우, Figure 6처럼 카테고리를 분류하였다. 자연요인의 경우는 사람이 통제할 수 있는 부분이 아니며, 설계적으로 완벽한 장비를 구현하더라도 해결할 수 없는 요소이다. 수상운행경험 인터뷰에서 역시 수상운행 중인 장비가 하상 장애물에 걸리는 것은 충분히

있을 수 있는 일이며 장애물을 극복하지 못하면 큰 인명피해로 연결될 수 있다고 하였다.

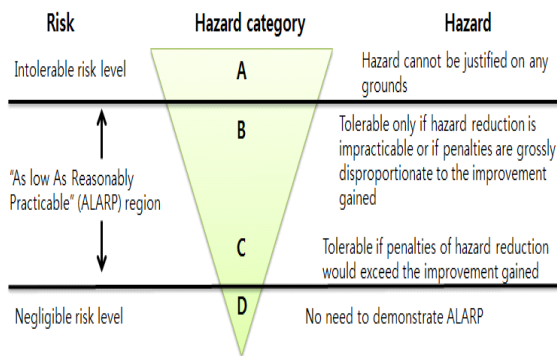
장비 문제의 경우는 수상운행 중 발생하는 수압으로 인해 선수익이 파손되고, 차수막을 통해 물이 유입됨으로써 엔진이 정지될 수 있다. 엔진이 정지되면 수상운행이 진행될 수 없고, 차량이 가라앉게 됨으로 인명피해로 이어질 수 있다. 수상운행경험 인터뷰에서 역시 수압으로 인해 선수익이 휘는 경우는 종종 발생할 수 있는 일이라고 하였다.

사용자 요인의 경우는 사용자가 급 조항을 시도하거나 급 정지와 같은 운용 미숙으로 차체가 전복, 침수 될 수 있다. 차체의 전복 및 침수는 인명피해로 이어질 수 있고, 수상운행경험 인터뷰에서 충분히 발생가능성 있는 일이라고 판단하였다.

도출 위해요소들은 모두 Frequency나 Severity 측면에서 Type A 임을 알 수 있었다. 도출된 위해요소의 위험성이 입증되었기 때문에 이를 경감하기 위한 노력이 필요하다.

2.2.2 경감방안

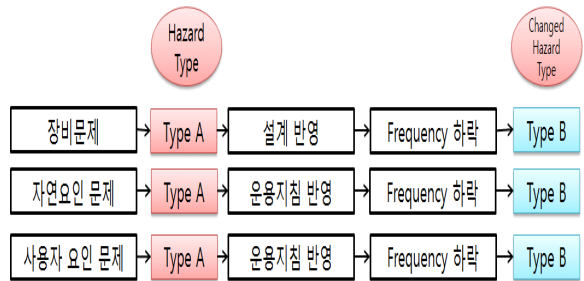
도출된 위해요소 3가지는 모두 인명피해와 관련이 있고, 충분히 발생할 수 있는 상황임으로 Type A이며 Figure 7의 ALARP 개념에 따라 Intolerable level에 포함된다.



[Figure 7] ALARP Triangle^[3]

본 논문에서 ALARP적용의 구체적인 과정은 생략하기로 한다. ALARP의 목적인 Intolerance level의 위해 요소를 Tolerance level까지 줄이거

나 제거할 필요가 있다.^[4]



[Figure 8] ALARP Triangle

차륜형 전투차량의 Intolerance level 요소를 Tolerance level로 Figure 8과 같이 변경하도록 제안하였다. 수상운행 중 발생하는 비정상 운행의 경우에서 크게 장비요인, 사용자 요인, 자연요인의 경우로 3가지(전투에 의한 요인 생략)가 있었다. EFFBD와 전문가의 견해를 토대로 장비요인의 경우, 차수막과 선수익을 설계에 보강할 수 있도록 제시하였다. 낮은 차수막으로 들어오는 물이 문제가 된다면 차수막의 높이를 높임으로써 발생할 수 있는 Frequency를 낮출 수 있을 것이다. 선수익의 경우도 마찬가지로 설계 보강을 함으로써 파손의 우려는 낮추었기 때문에 Frequency가 줄어든다고 할 수 있다. 이처럼 장비의 문제는 설계에 반영할 수 있도록 제시함으로써 위해요소의 Type을 A에서 B 단계로 낮출 수 있었다.

사용자요인의 경우 EFFBD와 전문가의 견해를 토대로 설계적으로 반영할 수 있는 부분은 없지만, 운용교범에 반영, 사용자의 훈련을 대안으로 제시하였다. 사용자가 운용교범을 숙지하고, 훈련되어 있다면 위해 상황이 발생할 수 있는 Frequency를 낮출 수 있을 것이다. 그 결과 사용자요인의 위해요소 Type A를 B단계로 낮출 수 있었다.

자연요인의 경우, 하상장애물은 자연적인 요인임으로 설계 보강할 수 있는 부분이 없다고 할 수 있다. 그렇기 때문에 사용자의 운용교범에 자연요인 문제 상황 대처방법을 반영하도록 제안하고, 차량 내부에 하상장애물에 주의하라는 경고 문구를 표시

할 것을 제안함으로써 위해 상황 발생 Frequency가 줄어든 Type A에서 B단계로 낮출 수 있었다.

3. 결론

본 연구는 국내에서 개발 중인 차륜형 전투차량 수상운행에 대해 수상운행 시 발생할 수 있는 위해 요소를 미리 발견하여 그 경감방안을 도출할 수 있도록 기능분석과 경험조사를 통해 위해요소를 도출하고 ALARP개념에 따라 경감방안을 제안하고자 하는 연구이다.

기능분석 과정을 통하여 제한적이기는 하나 차륜형 전투차량에 위해가 될 수 있는 부분을 미리 발견할 수 있었고, 그 경감방법으로 차수막과 선수익의 설계보강을 제안하였으며, 설계적으로 극복할 수 없는 장애물은 차륜형 전투차량의 운용교범에 반영되고, 차량 내부에 경고 문구를 설치하도록 제안하였다.

본 논문의 연구 방법은 기능분석을 통해 발생할 수 있는 위해 요소를 미리 발견하고, 경감 방법을 찾아내어 위해 발생 가능성을 낮추는데 사용할 수 있다고 생각한다. 차륜형 전투차량에 대한 문제가

설계가 종료된 시점이나, 실전 운용 시 발견되었을 때 설계를 변경하거나 운용개념을 변경하는 과정에서 들어가는 비용과 노력을 절감하는데 충분한 도움이 될 수 있을 것이다.

References

1. H. C. Woo. A Study on the Utilization of Functional Models in the Project Design Reviews. 2011 Spring Conference. The Korean Society for Railway. pp.1592-1595. 2011
2. MILTON H, HAMILTON. FM 90-13/FMFM. River Crossing Operation. pp.1-3. 1992
3. AVNER ENGEL. Verification, Validation, and Testing of Engineering Systems. New Jersey: JohnWiley&Sons. pp.75-76. 2010
4. J. H. Lee. A Study on the As Low As Reasonably Practicable (ALARP)-Concept Risk Assessment of Silane in Semiconductor and LCD Process. 2010 Korea Safety Management & Science Journal. Korea Safety Management & Science. pp.94-95. 2010