

가상현실 기반의 무기체계 군수지원성 설계 검증 방안 : 사례연구

김희욱¹⁾ · 이학표¹⁾ · 이승용¹⁾ · 강성욱²⁾ · 허길환^{*,2)}

¹⁾ LIG넥스원(주) ILS연구센터
²⁾ 국방과학연구소 어뢰체계개발단

A Case Study on Design Verification for Supportability of Weapon System Based on Virtual Reality

Heewook Kim¹⁾ · Hakpyo Lee¹⁾ · Seungyong Lee¹⁾ · Sungoung Kang²⁾ · Gilhwan Heo^{*,2)}

¹⁾ ILS R&D Lab, LIGNex1 Co., Ltd., Korea
²⁾ Torpedo Systems PMO, Agency for Defense Development, Korea

(Received 4 August 2015 / Revised 28 December 2015 / Accepted 15 January 2016)

ABSTRACT

State-of-the-art design S/W and other 3D systems are used for design and development of weapon system. It is possible to detect problems of design through 3D or VR(Virtual Reality) in advance, and then reduce the development cost by finding solutions before prototype production. Therefore, we can increase efficiency for supportability of weapon system. In this study, we first propose a design verification procedure. Then we verify design of weapon system, underwater guided weapon, as a case study. Finally, we suggest alternatives for underwater guided weapon under development with DMS(Digital Maintenance System) and ICIDO from the point of view of ILS(Integrated Logistics Support). Developed S/W, DMS, draws maintenance procedures for components. Commercial S/W, ICIDO, verifies cable maintainability.

Key Words : DMS(디지털정비절차검증장치), ICIDO, Maintainability(정비성), Supportability(군수지원성)

1. 서론

과학기술이 급변하고 첨단화됨으로 인하여 무기체계 개발 시 사용자는 정밀한 기능과 다양한 임무를

수행할 수 있도록 체계성능에 대한 요구사항을 강화하고 있다. 이에 반하여 개발 기간 단축 및 비용 최소화에 대한 요구가 동시에 증대되면서 무기체계 개발 초기단계에서부터 효과적이고, 효율적인 개발 방안에 대한 연구 활동이 필수 요건으로 인식되고 있다. 그러나 요구사항이 강화될수록 무기체계의 구조 및 설계 복잡도가 높아져 운용 시 증대한 오류와 정비성의 저

* Corresponding author, ghheo@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

하를 야기할 개연성이 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 3D 모형이나 가상현실을 이용하여 개발 초기단계부터 사전에 설계사항을 검증하는 노력은 반드시 필요하다. 현재 다수의 무기체계 개발 사업에서 DMU(Digital Mock-Up)를 개발하였거나 진행 중에 있으며, 이를 활용하여 설계 결과를 검토하고 문제점을 사전에 도출하는 활동을 수행하고 있다. 하지만 설계 검증을 위한 체계적인 분석 방안이 미흡하며, 민수산업(자동차 개발 등)에서 활발히 진행 중인 케이블과 같은 유동성 있는 구성품에 대한 설계 검증 활동을 방위산업(무기체계 개발)에 적용하지 않고 있다. 따라서 무기체계의 설계 문제점을 사전에 도출하고 해결할 수 있는 설계 검증 방안을 구축하고, 구성품이나 케이블에 대해 정비 및 운용 등의 측면에서 설계 검증을 수행할 수 있는 활동이 필요하다.

현재 3차원 가상 정비환경에서 실시간 협업 정비 시뮬레이션 구현을 위한 기술과 햅틱 장비를 이용한 가상 조립 시뮬레이션 기술에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 이를 통하여 정비 작업을 모의할 수 있다^[1,2]. 하지만 이러한 기술을 적용하기 위해 추가적인 시설 및 장비 등이 요구된다. 그리고 무기체계 정비성 모의 시뮬레이션 개발^[3]과 분해/조립 알고리즘 및 인체 접근성을 고려한 설계 검증^[4,5] 등의 다양한 연구가 진행 중에 있으나, 정적 구성품에 대한 검증에 국한되어 있다.

본 연구에서는 현재 개발 중인 수중유도무기체계를 대상으로 DMU 기반의 설계 검증 방안 및 설계변경 관련 활동 사례를 소개하고, 그 결과로서 종합군수지원(ILS : Integrated Logistics Support) 요소개발 중의 하나인 연구 및 설계 반영 활동에 대한 정비/운용 측면에서 고려할 수 있는 설계 문제점과 해결책을 제안한다. DMU 장치로는 개발 소프트웨어인 DMS(Digital Maintenance System) 및 상용 소프트웨어 ICIDO를 사용한다.

2. 설계 검증 방안

무기체계 개발에 대한 설계 검증을 위해서는 목적과 대상을 고려한 설계 검증 방안 구축이 우선되어야 하며, 검증 방법론이나 하드웨어 및 소프트웨어와 같은 검증 수행에 필요한 도구의 선택이 중요하다. 특히 가상현실을 활용한 설계 검증 활동은 개발 초기부터

주기적인 설계 검토를 통하여 무기체계 양산 이전에 문제점을 파악하고 개선함으로써 개발비용을 최소화할 수 있다. 따라서 본 장에서는 무기체계 설계 검증에 활용되는 가상현실 소프트웨어인 DMS와 ICIDO를 소개하고, 이를 기반으로 하는 설계 검증 방안을 제시한다.

2.1 DMS

DMS는 디지털정비절차검증장치로서 가상의 3D 형상을 기반으로 조작 및 설계 검증이 가능한 시뮬레이션 시스템이다. 주요 기능으로는 3D 형상 관리, 구성품에 대한 정비절차 관리, 자동 정비절차 생성 및 검증, 치공구/인체 검증 기능 등이 있다.

Fig. 1의 DMS 개념도와 같이 설계 검증 대상의 3D 형상과 장비/치공구, 정비지침, 수리부속 등의 설계 자료를 바탕으로 정비절차를 모의하여 정비 및 운용 측면에서의 적합성을 고려한 설계 변경 사항을 도출할 수 있다.

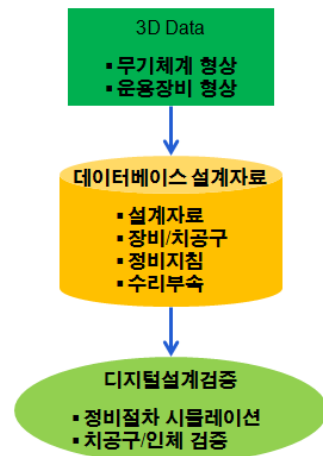


Fig. 1. DMS conceptual diagram

특히, 수동으로 각 구성품의 위치이동, 간섭 등을 확인하여 정비절차를 생성/검증하는 타 정비절차 검증 DMU 소프트웨어와는 달리 자동분해 알고리즘을 탑재하여 각 구성품에 대해 자동으로 정비절차를 생성하는 기능을 보유하고 있다.

자동분해 알고리즘은 Fig. 2와 같이 5단계를 수행한다. 먼저, 분해 대상 구성품의 부피와 중심점으로부터 각 구성품들의 거리를 추출하고, 설계 시 작성된 GBL (General Breakdown List) 정보를 이용한 구성품들 사

이의 레벨 정보를 추출한다. 추출된 부피 및 레벨 정보, 중심점에서 각 구성품들 사이의 거리 조합으로 가까운 것부터 분해 우선순위를 정렬하고, 6방향에 대한 충돌여부를 확인한다. 충돌이 발생하지 않으면 방향과 순서를 생성하고, 충돌이 발생하면 그 구성품은 마지막 분해 순서의 우선순위로 밀려나고 다음 순위의 구성품으로 충돌 여부를 확인한다.

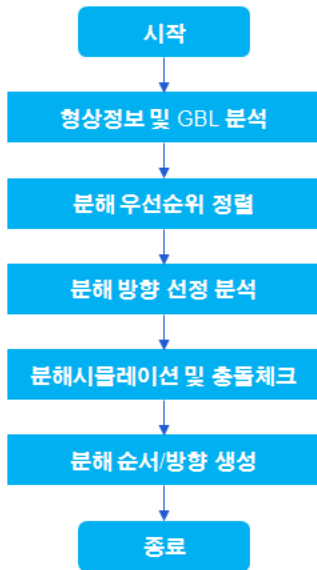


Fig. 2. Automatic decomposition flowchart

이러한 과정을 통하여 분해순서가 자동으로 검출되어질 수 있으며, 시뮬레이션을 통하여 분해/조립 가능성을 검증해볼 수 있다.

DMS는 국방과학연구소 주관으로 개발되었으며, 구성품 자동 분해, 조립 알고리즘 개선 및 증강현실 등의 추가적인 기능 구현을 진행 중이다.

2.2 ICIDO

ICIDO는 상용 소프트웨어로 일반적인 DMU 기능을 보유하고 있으며, 1:1 비율로 정확한 3차원 개체의 표현이 가능하다. 특히, 케이블과 같은 유동부의 움직임과 회전·굴절에 따른 객체 피로도 및 작업자 자세에 따른 인체 피로도를 검증할 수 있다는 장점이 있다.

ICIDO는 Fig. 3과 같이 EXPLORE, PACKAGE, FLEXIBLE, PRESENT, ERGONOMICS, REFLECT, COOPERATE 등의 주요 모듈로 구성되어 있으며, 사용자 목적에 따라 해당 모듈을 구성하여 사용할 수 있

다. ICO:EXPLORE는 Data를 가시화 할 수 있는 ICIDO의 기본 프레임워크를 제공하는 모듈이며, ICO:PACKAGE는 형상의 조작을 통한 간섭 및 충돌 등의 설계 검증이 가능하다. 또한 IDO:FLEXIBLE과 IDO:PRESENT는 케이블 및 형상의 변형거동을 분석할 수 있는 모듈이며, IDO:ERGONOMICS는 검증하고자 하는 국가별 인체 표준이 DB화되어 있어 이를 바탕으로 인체 검증이 가능하다. IDO:REFLECT는 형상의 광학 효과를 극대화하여 형상을 보다 현실성 있게 표현할 수 있는 모듈이며, IDO:COOPERATE는 실시간 통신방식을 통해 거리 제약 없이 다수의 사용자가 동시에 형상을 공유할 수 있는 모듈이다.



Fig. 3. ICIDO components

2.3 설계 검증 방안

무기체계의 시제품이 제작되기 전 DMS 및 ICIDO를 활용하여 형상 설계의 문제점을 조기에 확인하고, 정비 및 운용 측면에서 효율성을 재고하기 위한 설계 검증을 수행한다. 설계 검증 방안은 Fig. 4와 같이 현재 개발 중인 수중유도무기체계 기반으로 제시하며, 검증준비, 검증수행, 결과검토의 3단계로 구분할 수 있다.

검증준비 단계에서는 SOLIDWORKS 또는 CATIA 등으로 모델링한 설계 검증 대상의 3D 파일(*.stp, *.unv, *.3dxml 등)을 DMS와 ICIDO에 사용 가능하도록 파일 변환을 수행한다. 그리고 설계 모델링 중심으로 구성된 계층구조를 정비개념이 반영된 정비대상품목 중심의 계층구조로 재구성한다.

검증수행 단계에서는 정적 및 동적인 정비대상품목에 대한 검증항목을 선정하고 검증을 수행한다. 정적 대상의 경우 DMS를 활용하여 형상설계 중심으로 검

증하며, 동적 대상의 경우 ICIDO를 활용하여 케이블의 설치경로, 길이제원 중심으로 검증을 수행한다.

마지막으로 결과검토 단계에서는 검증수행 결과를 대상으로 설계 오류, 정비 및 운용성 측면에서의 문제점을 분석한다. 이 단계 수행 시점은 형상 제작 전이므로 반드시 도면 또는 설계 자료가 결과검토의 기준이 되어야 하며, 인체검증의 경우 MIL-STD-1472G 및 MIL-HDBK-759C 기준을 적용한다.

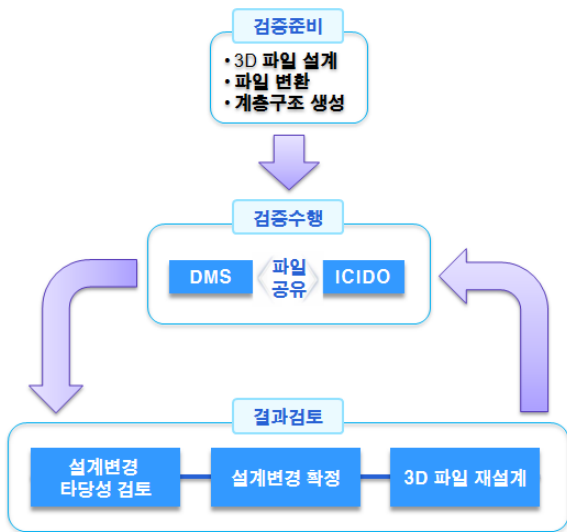


Fig. 4. Design verification procedures

검토된 결과는 타당성 검토 후 설계변경 여부가 결정된다. 설계변경이 확정되면 3D 파일을 수정하여 재검증을 수행하고, 문제점이 발견되지 않을 시 최종 설계 대안으로 선택된다.

3. 사례연구

현재 개발 중인 수중유도무기체계 CDR(Critical Design Review) 시점의 형상을 대상으로 설계 검증 방안을 적용하여 사례연구를 수행하였다.

본 사례연구 대상인 수중유도무기는 신호탐지를 위한 음향탐지부 및 근접자기탐지부, 기폭을 위한 탄두부(연습/전투), 전원공급을 위한 전지부, 어뢰 기능 제어 위한 제어부, 추진을 위한 전동기부 및 추진부, 유선유도를 위한 발사관 연결부 등 8개의 구성부로 구성되어 있다.

검증을 위한 첫 단계로, 각 구성부 단위의 3D 파일을 확보 후 DMS 및 ICIDO에서 사용 가능한 파일로 변환하였다. 설계 검증수행 항목은 DMS 및 ICIDO에서 검증 가능한 항목으로 구분하여 총 7가지의 항목을 도출하였다.

Table 1. Verification list of DMS

검증항목	내용
간섭 및 충돌	분해/조립 상의 간섭 및 충돌
정비절차	분해/조립 방향 및 순서
치공구	체결류 분해/조립 관련 적정 치공구

Table 2. Verification list of ICIDO

검증항목	내용
설치경로	커넥터 위치를 고려한 최적 설치경로
길이제원	운용/정비를 위한 케이블 최적 길이
커넥터 위치	케이블 설치 효율성 및 접근성을 고려한 커넥터 위치 적합성
인체 접근성	운용/정비 시 구성품에 대한 접근성

DMS에서는 Table 1과 같이 정적인 정비대상품목 중심으로 간섭 및 충돌, 정비절차 적합성, 치공구 적합성을 검증항목으로 선정하였으며, ICIDO의 경우에는 케이블조립체를 대상으로 Table 2와 같이 설치경로, 길이제원, 커넥터 위치 적합성 및 인체 접근성을 검증항목으로 도출하였다.

사례연구 검증 결과는 검증항목별 대표적인 사례를 중심으로 아래와 같이 제시한다.

3.1 간섭 및 충돌 검토

분해/조립 시 발생하는 구성품 간의 간섭이나 충돌로 인한 정비성 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 5와 같이 제어부 내 존재하는 회로카드조립체의 분해 및 조립과 관련된 문제점을 확인하였다. 회로카드조립체(A)를 분해 시 덮개(B)가 회로카드조립체(A)의 일부분이 가려지도록 설계되어 간섭과 충돌이 발생하였다. 즉, 덮개(B)를 불필요하게 제거해야 하는 정비업무가 발생하는 것이다. 따라서 덮개(B)의 크기를 축소하도록 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.

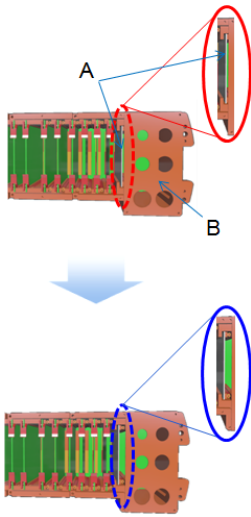


Fig. 5. A case of interference and conflict

3.2 정비절차 적합성 검토

구성품의 배치상태나 분해/조립 방향 및 순서를 고려한 효율적인 정비절차 도출 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 6과 같이 음향탐지부 내부에 존재하는 장치(A)와 장치(B)에 대한 정비절차 순서의 문제점을 확인하였다. 각 장치는 독립적으로 수직방향의 분해가 가능하다. 하지만 커넥터의 간섭으로 인하여 장치(A)를 분해하기 위해서 장치(B)를 먼저 제거한 후 장치(A)를 분해할 수 있는 정비절차가 도출된 것이다. 따라서 커넥터의 간섭을 상쇄시켜 독립적인 분해가 가능하도록 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.

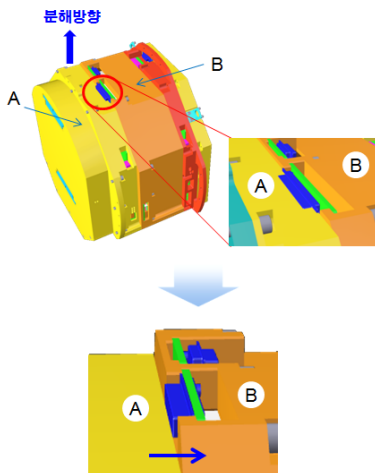


Fig. 6. A case of maintenance procedure

3.3 치공구 적합성 검토

체결류 종류 및 위치에 따른 공구의 적정 길이와 회전반경을 고려한 적합한 공구를 탐색하는 항목에서는 Fig. 7과 같이 음향탐지부 내부에 존재하는 체결류에 대한 치공구를 확인하였다. DMS의 치공구 탐색기능에 의해 임의의 육각머리나사(KSB 1003 규격)에 적합한 3가지 치공구(FM-82H.5, J46516, J46316)가 검색되었으며, L렌치 및 T렌치 형태의 치공구 회전반경도 함께 도출되었다. 치공구의 경우 DMS DB에 포함되어 있는 리스트에서 결정이 되며, 체결류의 머리 형상 및 크기를 고려하여 선택된다.

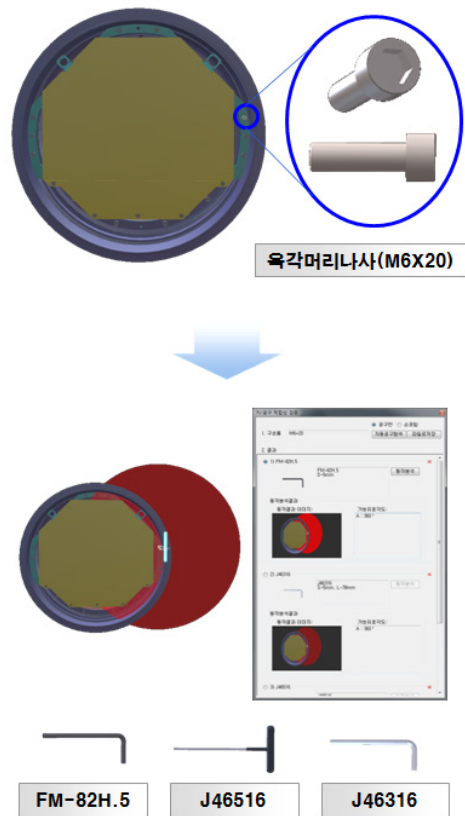


Fig. 7. A case of jig and tool

3.4 설치경로 적합성 검토

커넥터 위치에 따른 케이블 길이 및 설치공간을 고려한 설치경로 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 8과 같이 제어부 내부에 존재하는 케이블의 부적절한 분기점 위치와 관련된 문제점을 확인하였다. 설계된 케이블(A)의 분기점 및 길이 상태에서는 과도한 쥐임현상이 발

생하였다. 이 경우 케이블 길이를 연장하여 꺾임현상을 완화할 수 있는 방법을 고려하였으나, 케이블 중량 증가와 이에 따른 성능의 문제를 야기할 수 있었다. 따라서 분기점 위치를 420 mm를 이동하여 케이블(A)와 같이 설치경로를 변경하여 꺾임현상을 해소할 수 있는 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.

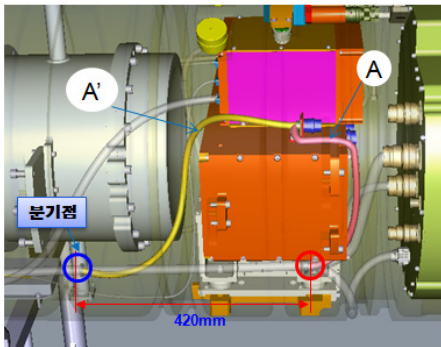
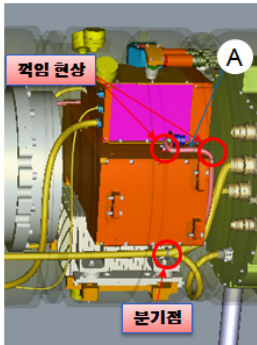


Fig. 8. A case of cable path

3.5 길이제원 적합성 검토

운용 및 정비 용이성을 고려한 케이블 최적 길이제원 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 9와 같이 음향탐지부 내부에 케이블(A)의 최적 길이와 관련된 문제점을 확인하였다. 두 개의 장치를 연결하는 케이블(A)의 길이가 과도하게 길어 처짐과 꺾임현상이 발생하였다. 이 경우 케이블의 부하 위험 상태를 나타내는 분홍색(케이블 부하 정도는 설정된 케이블의 재질 및 두께에 따라 ICIDO에서 자동 분석되어 색깔로 표시)이 부하가 해소된 상태인 노란색으로 변경되도록 케이블(A) 길이를 200 mm 축소하는 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.

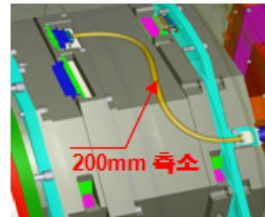
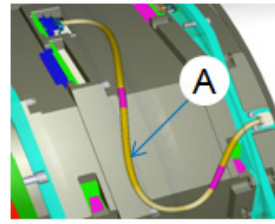


Fig. 9. A case of cable length

3.6 커넥터 위치 적합성 검토

케이블 설치경로를 고려한 커넥터 위치 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 10과 같이 제어부 내 존재하는 커넥터 위치와 관련된 문제점을 확인하였다. 6개의 커넥터는 각 케이블의 설치방향과 무관하게 위치되어 있어 혼잡도가 높았다. 이 경우 케이블의 연결방향이 유사한 연결기를 가까이 배치하고, 동시에 케이블 간의 간섭이 최소화되는 커넥터 배치 상태를 검토하였다. 따라서 설치경로가 유사한 커넥터를 구분하여 케이블의 혼잡도를 낮추고 꺾임현상을 최소화할 수 있는 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.



Fig. 10. A case of connectors

3.7 인체 접근성 검토

정비 용이성을 고려한 인체 접근성 관련 설계 검증 항목에서는 Fig. 11과 같이 제어부 내 존재하는 협소한 공간과 관련된 문제점을 확인하였다. 수중유도무기의 원통형 구조 특성과 다수의 정비대상품목이 밀집된 협

소한 공간 제약으로 인하여 정비 시 손을 사용한 커넥터(A)로 접근하는데 어려움이 있었다. 이 경우 공구를 활용한 정비 방안을 고려하였으나, 불필요한 공구 사용은 정비 수행 시 불편함을 초래한다. 따라서 인체의 손가락 두께와 손의 크기를 고려하여 커넥터(A)의 위치를 수평방향으로 35 mm, 수직방향으로 10 mm를 이동하여 외부로 노출되도록 설치하는 설계 변경(안)을 제안할 수 있었다.

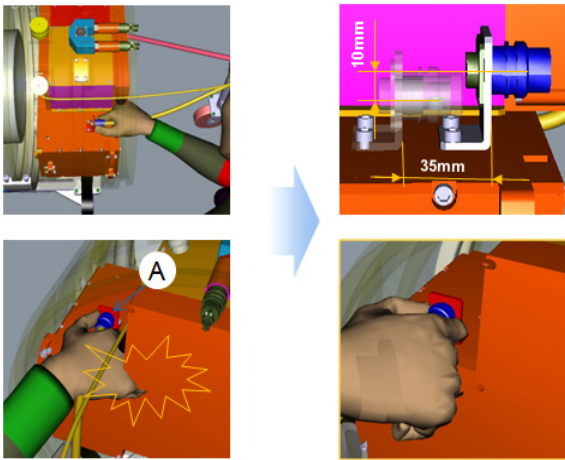


Fig. 11. A case of human accessibility

3.8 검증 결과

DMS에서는 설계 검증 대상으로 약 250개의 정비대상품목을 선정하였다. 검증 결과로는 간섭 및 충돌 검증항목에서 1건, 정비절차 적합성 검증항목에서 2건의 설계 변경사항이 도출되었다. 치공구 적합성 검증항목의 경우 체결류 머리의 형태에 따라 L형/T형 렌치, 드라이버(-/+) 등이 적정 공구로 선정되었으며, 체결류의 위치에 따라 치공구의 길이 및 회전반경을 확인할 수 있었다.

ICIDO의 경우에는 설계 검증 대상으로 약 20여종의 케이블조립체를 선정하여 설치경로 적합성 검증항목에서 2건, 길이제원 적합성 검증항목에서 17건, 커넥터 위치 적합성 검증항목에서 2건, 인체 접근성 검증항목에서 1건의 설계 변경사항을 도출하였다.

현재 개발 중인 수중유도무기체계 CDR 기준의 검증 수행 결과로 총 25개의 설계 변경 사항이 도출되었으며, 최종 반영 여부는 검토 중에 있다.

4. 결론

국방과학연구소 주관으로 개발된 DMS와 상용 소프트웨어인 ICIDO를 기반으로 무기체계에 적용 가능한 설계 검증 방안을 소개하고, 현재 개발 중인 수중유도 무기체계를 대상으로 7가지의 설계 검증항목 기반의 설계 검증을 수행하였다. 설계 검증 수행결과로 분해/조립 및 정비절차와 관련된 구성품의 설계 문제점을 확인할 수 있었고, 부적절한 케이블 길이와 설치경로 등에 대한 개선사항을 도출할 수 있었다.

검증을 통해 도출된 설계 변경(안)은 ILS 요소개발 중 하나인 연구 및 설계반영 활동의 산출물로 활용 가능하다. 도출된 설계 변경(안)을 기반으로 연구 및 설계반영 검토표를 작성하여 설계 사항을 관리하며, 적용 가능한 사항은 설계 변경을 통해 정비 및 운용 측면에서 보다 효율적인 무기체계를 확보할 수 있도록 유도한다. 또한 정비시간 단축 및 정비개념 효율성 증대 등을 통하여 보다 개선된 RAM(Reliability Availability Maintainability) 및 LSA(Logistic Support Analysis) 결과를 도출할 수 있다.

3D 기반의 형상자료 및 정비절차 등은 전자식 기술 교범(IETM : Interactive Electronic Technical Manual) 및 전자식교보재(CBT : Computer Based Training)에 활용 가능하다. 특히, DMS의 경우 테블릿 PC에서도 형상 확인 및 충돌체크가 가능하도록 운용할 수 있는 Viewer를 개발하고 증강현실 기능을 적용하여, 보다 효율적인 정비수행과 군수지원교육이 가능할 것으로 판단된다.

향후 지속적인 설계 검증 수행을 통하여 개선 가능한 사항을 확인하고 시제작 이전에 설계의 문제점을 해결함으로써 전력화 후 운용단계에서 발생할 수 있는 고장 및 성능개량 사항을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Lee, "Collaborative Maintenance Simulation System Using Virtual Mockup," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 15, No. 1, pp. 148-165, 2012.
- [2] Y. Kim and J. Park, "A Study on Virtual Assembly Simulation Using Virtual Reality Technology," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 13, No.

- 11, pp. 1715-1727, 2010.
- [3] Y. Park, H. Ju, C. Kim, N. Jung, J. Lee and I. Lee, "Virtual Simulation for Assembly and Maintenance Tasks," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 21, No. 4, pp. 75-80, 2012.
- [4] J. Jung, K. Kwon and D. Jo, "Validation of Weapon Systems Maintainability with M&S System," KIMST Annual Conference Proceedings, 2010.
- [5] G. Heo, J. Choi and K. Kwon, "An Automatic Assembly/Disassembly Procedure for Generating Maintenance Guideline," Proceedings of IJIE: Theory, Application and Practice, 2013.