

LVC 연동을 위한 통신미들웨어 구현방안 및 비교에 관한 연구

원경찬¹, 김재오^{1*}, 구자환², 이호준¹, 김용필¹
¹육군분석평가단, ²한성대학교

A Study on Implementation and Application of Communication Middleware for LVC Interoperability

Kyoungchan Won¹, Jaeoh Kim^{1*}, JaHwan Koo², Hojun Lee¹, Yong-Pil Kim¹
¹Center for Army Analysis & Simulation, ²Hansung University

요약 현재 국내에서는 실시간체계(Live), 가상훈련체계(Virtual), 구성시뮬레이션체계(Constructive)를 각각 개별적으로 운용하여 훈련 및 연습을 지원하고 있다. 육군에서는 동시성 및 통합성 훈련 효과를 달성하기 위해 현재 운용 중인 L, V, C 체계를 연동하여 적용하는 방안을 연구하고 있다. LVC 체계간 연동은 실제 전장환경에서 수많은 전투 및 전술 훈련 기능을 제공하기 때문에 다양한 이종의 전투체계를 통합 운용할 수 있는 연동 미들웨어 기술이 필요하다. 연동을 위한 대표적인 미들웨어 방식은 HLA와 DDS 방식이 있다. 한미연합연습간 구성시뮬레이션 체계인 워게임모델간 연동은 주로 HLA 방식으로 구축되어 있고, 실시간 모의체계의 연동 미들웨어로는 DDS가 적용되고 있다. HLA는 시간 동기 및 제어가 가능한 분산시뮬레이션 환경에 적합하고, DDS는 분산환경의 대용량 실시간 데이터 전송에 적합하다. 본 논문에서는 LVC 연동훈련체계의 프로토타입을 통해 두 가지 연동방식의 성능측정을 분석하였다. 성능측정을 위해 적합성, 실용성, 표준성, 호환성, 기능성, 유지보수성 측면의 능력을 비교하였고, 전문가의 의견을 종합 후 다변량 분석기법의 하나인 대응분석을 활용하여 효용성이 높은 방식을 선정하였다. 본 연구를 바탕으로 LVC 연동을 위한 통신미들웨어 구현 및 비교분석을 통해 향후 국내 LVC 연동훈련체계 구축에 기여할 것으로 판단한다.

Abstract Currently, in Korea, L, V and C simulations are performed individually. The ROK Army is researching ways to link and apply the currently operating L, V and C systems to achieve the effect of simultaneity and integration training. Since interoperability between LVC systems provides numerous combat and tactical training functions in the actual battlefield, interoperability middleware technology that can integrate and operate various heterogeneous combat systems is subsequently required. Some of the representative middleware methods for interoperability are the HLA and DDS methods. The HLA methods mainly construct the interoperability between war game models, which is a configuration simulation system between the ROK-US Combined Exercises, and DDS is applied as the interoperability middleware method of the actual operation simulation system. The HLA is suitable for distributed simulation environments where time synchronization and control are possible. On the other hand, the DDS is suitable for large-capacity real-time data transmission in distributed environments. To analyze the performance measurements of these two methods, a prototype of the Division-Level LVC interoperability training system was developed, and the capabilities of the two methods were compared in terms of suitability, practicality, standardization, compatibility, functionality, and maintainability. An efficient method was selected using a correspondence analysis which is a kind of multivariate analysis. In conclusion, this study is expected to contribute to the establishment of the LVC interoperability systems in the future.

Keywords : Live·Virtual·Constructive, Interoperability, Middleware, HLA, DDS, Multivariate Analysis

*Corresponding Author : Jaeoh Kim(Center for Army Analysis & Simulation, ROK Army)
email: c14180@gmail.com

Received August 3, 2021
Accepted December 6, 2021

Revised August 24, 2021
Published December 31, 2021

1. 서론

현대전은 무기체계간 신속 대응을 위해 네트워크 중심 전으로 발전하고 있고 여러 체계가 통합하여 운용되는 A System of Systems로 발전하고 있다. 네트워크 중심전 페러다임에서는 전투에 참여할 모든 체계들간의 유기적인 작전이 필요하므로 개별적으로 운용되는 각종 모의훈련 체계 간 상호연동도 필수적이다[1,2].

기존 개별적으로 운용되던 실시간체계(Live, 이하 L), 가상훈련체계(Virtual, 이하 V), 구성시물레이션체계(Constructive, 이하 C)간의 유기적 결합을 통한 작전 수행 훈련이 필요하여 대규모 LVC 체계간 실시간 연동 기술의 개발요구가 증가하고 있다. LVC 체계 간 연동을 통합하기 위해서는 상호 이질적인 미들웨어 간 연동이 필수이다. 이에 따라 시스템 아키텍처는 다수의 정보처리 노드들이 고속 네트워크로 연결 및 통합되는 분산처리 구조로 설계되고 있으며, 시스템의 복잡도가 증가함에 따라 시스템 내에서 전송 및 처리되는 데이터의 종류와 양도 현저히 증가한다[3].

복합 시물레이션 체계 내에서도 타 시물레이션 체계들과의 연동 필요성이 증가하고 있으나 이중 서버, 언어, 네트워크 기술의 혼재로 인해 상호연동이 어렵다. 기술적으로 LVC 체계간 연동은 실제 전장환경에서 수많은 전투 및 전술훈련 기능을 제공하기 때문에 다양한 이중 전투 체계를 통합 운용할 수 있는 연동 미들웨어 기술이 필요하다[4].

LVC 연동을 위한 통신미들웨어 방식은 DIS, HLA, DDS, TENA, CTIA 등이 있다. DIS는 2010년 이후로 거의 활용하지 않고 있으며, TENA와 CTIA는 미군을 중심으로 비공식 표준으로 적용하고 있으며, 미군 외에는 접근이 어렵고 활용실태가 저조하여 본 연구에서는 보편적으로 사용할 수 있는 HLA(High Level Architecture/Run Time Infrastructure)와 DDS(Data Distribution Service) 방식을 구현하고 성능을 비교하였다[4]. 자세한 사항은 2장에서 설명하겠다.

현재 국내 C체계에 대한 연동은 주로 HLA 기반으로 구축되어 있고, L체계의 연동 미들웨어로는 DDS가 적용되고 있다. 국내 LVC 연동을 위한 연구는 2015년도에 HLA와 DDS간 유사성 분석과 API 매핑에 대한 연구를 하였고, 서로 다른 미들웨어 간 연동을 제안하고 실험적으로 HLA와 DDS간 유사성을 분석하였다[2]. 또한, LVC 훈련체계 연동을 위한 HLA, DDS 기반의 연동 미들웨어 구현을 위한 게이트웨이를 연구하였다[5]. HLA는 시간

동기 및 제어가 가능한 분산시물레이션 환경에 적합하고, DDS는 분산 환경의 대용량 실시간 데이터 전송에 적합하다. 그러나 이는 L-C, V-C 등 일부 연동을 구현하였고, 실제 훈련데이터와 데이터 부하량 테스트 등 실제 환경에서 평가하지 않은 실험적인 연구성과여서 실제 훈련에 활용하기에는 제한사항이 있다[6].

본 논문에서는 LVC 연동훈련체계 구축의 핵심 기반 기술인 LVC 연동을 위한 통신미들웨어 방식을 연구하였다. 그 중 대표적인 방식인 HLA와 DDS방식을 구현하고 비교 분석하였다. 두 가지 방식의 성능측정을 분석하기 위해 적합성, 실용성, 표준성, 호환성, 기능성, 유지 보수성 측면의 능력을 비교하였고, 전문가의 의견을 종합하여 다변량 분석기법의 하나인 대응분석을 활용하여 효율적인 방식을 선정하였다.

본 논문이 이전 연구와의 차이점은 첫째, 국내 LVC 연동대상 체계의 실제 훈련자료를 획득하고 분석하였다. L체계는 여단급 KCTC 훈련자료, V체계는 육군 항공시물레이터 훈련자료, C체계는 BCTP단과 협조하여 창조 21모델의 훈련자료를 획득하여 연동을 위한 자료로 활용하였고, 실제 WAN 환경과 유사하게 구축하여 실험하였다. 둘째, LVC 체계의 연동을 위한 대표적인 미들웨어 구현방식인 HLA와 DDS를 구현하여 성능을 측정하였다. 셋째, 두 가지 방식에 대한 효용성을 비교 분석하기 위해 전문가의 의견을 수렴하여 대응분석을 통해 효용성을 비교 분석하였다.

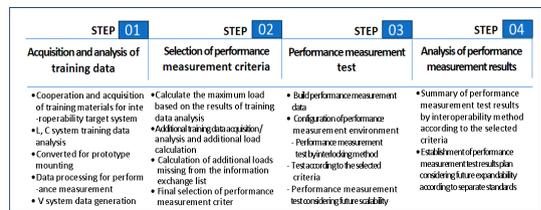


Fig. 1. Conceptual Diagram of Research Procedure

두 가지 방식을 비교 분석하기 위한 연구절차는 Fig. 1과 같이 훈련자료 획득 및 분석, 성능측정 기준 선정, 성능측정시험, 성능측정 결과 분석의 순으로 제시하겠다. 본 연구는 사단급 LVC 연동훈련체계의 핵심기술인 LVC 연동을 위한 통신미들웨어를 구현하고 효용성을 비교분석하여 적용함으로써 2026년 개발 예정인 목표체계 구축에 기여할 것으로 판단한다.

2. LVC 연동을 위한 통신미들웨어 관련 기술 연구

2.1 해외기술 적용 및 연구 사례

미군은 분산환경 하 체계를 연동하기 위해 Fig. 2와 같이 통신미들웨어를 개발하여 운용하고 있다[7].

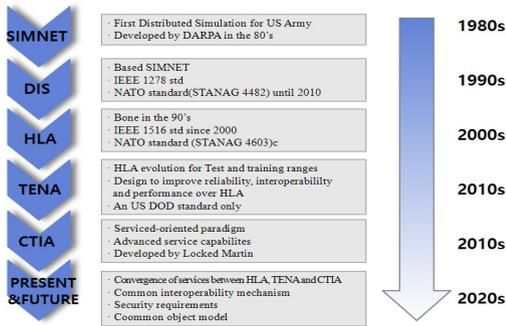


Fig. 2. Conceptual Diagram of Research Procedure

미국 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)는 지리적으로 분산되어 있는 시뮬레이션 시스템들의 훈련을 지원하기 위해 1980년대에 SIMNET(SIMulation NETwork)를 개발하였다. 이후 SIMNET의 진화 및 성숙화 프로토콜 시뮬레이션 유형수 확대화 플랫폼 수준의 훈련에 초점을 두고 DIS를 개발하였으며, DIS는 IEEE 1278 표준으로 2010년도까지 광범위하게 사용하였다. HLA는 1990년대 개발하여 2000년 이후로 IEEE 1516표준, NATO표준(STANAG 4603)으로 현재 전 세계적으로 가장 보편적으로 사용하고 있다. HLA는 분산 시뮬레이션을 통한 이종 시뮬레이션 간의 상호운용성, 시뮬레이션의 확장성, 재사용성을 제공하기 위해 최초 미 국방성 산하기관인 DMSO(Defense Modeling & Simulation Office)에서 만들어졌으며, 이후 SISO(Simulation Interoperability Standards Organization)로 이관하여 IEEE 표준으로 채택되었다[8]. TENA는 시험과 훈련용으로 HLA를 발전시킨 미들웨어로서 HLA상 신뢰성과 상호운용성, 성능을 향상시키기 위해 설계하였고, 미 국방성에서만 연동표준으로 사용하고 있다[9]. CTIA는 록히드마틴에 의해 개발되었고, 주로 Live 훈련 체계 연동을 위한 고수준 아키텍처로 네트워크 상황이 어려운 환경에서도 일정 수준의 이벤트를 전달하는 서비스를 제공하고 있다. 미군은 미래에 다양한 이종의 미들웨어를 통합하는 기능을 제공하기 위해 상이한 미들웨어

구조, 미들웨어 구현물 및 하부 네트워크 모델들 간의 상호운용성을 제공하고 보안 요구사항을 만족하는 미들웨어를 연구하고 있다[9].

DDS는 국제 표준화 기구 OMG(Object Management Group)에서 정의한 통신미들웨어로 발간/구독(Publish/Subscribe) 방식을 기반으로 미들웨어 간에 데이터 교환을 지원하는 표준 기술이다. DDS는 불특정 다수의 발간자(Publisher)와 구독자(Subscriber)가 네트워크에 참여하며, 발간자가 발간한 정보를 구독자가 구독함으로써 데이터의 교환이 이루어진다. 미 TwinOaks사는 저 자원 디바이스에 적용하기 위해 경량화된 DDS 기술을 개발하여 제품화하였다[10]. DDS의 경우 2001년에 개발되어 Time/Federation Management 기능 구현이 곤란하다는 견해가 있지만, 실시간 고신뢰 데이터 교환이 필요한 국방분야에 있어 통신통제(Control of Communication), QoS (Quality of Service) 실시간 연동이 가능하여 주목받고 있다[11]. 스페인 NADS사는 DDS를 V-C 체계의 기반 메시지 전달 플랫폼으로 적용하기 위한 기술과 LVC가 혼재된 환경에서 DDS를 미들웨어로 적용하기 위한 기술을 개발하고 있다. 또한, LVC 연동을 위한 미들웨어 프레임워크에 대한 연구개발을 DDS기술 개발업체인 PrismTech와 협력하여 수행하고 있으며, HLA와 DDS가 혼재하는 환경에서 시뮬레이션 미들웨어로 DDS를 지원하기 위해 DDS와 HLA연동을 위한 Gateway 기술을 개발하고 있다[11].

HLA는 2003년도에 최초로 출원되어 2015년에 가장 많은 출원이 되었고, DDS는 2015년 DDS를 기반으로 HLA를 이용하여 LVC 체계를 통합하려는 기술이 다수 출원되었다. 이는 L체계를 표현하는 DDS와 V-C체계를 연동해주는 HLA 두 가지 미들웨어를 연동하여 LVC 체계를 연동하기 위한 연구가 활발했다고 볼 수 있다. Fig. 3과 같이 2014년도부터 LVC 관련 HLA와 DDS 기술의 연구가 활발히 진행된 것을 알 수 있다[11].

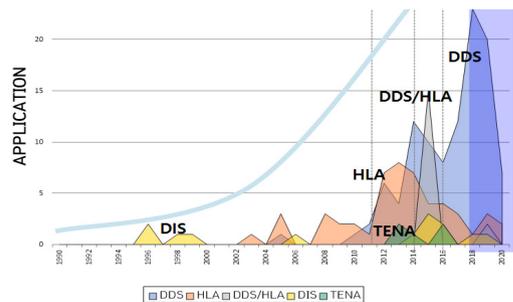


Fig. 3. LVC Integrated Architecture Patent Application Trend

HLA와 DDS간 주요 차이점은 Table 1과 같이 HLA는 Federate가 연동을 구성하고, OMT spec을 통해 선언관리를 하고, HLA를 통해 시간관리를 하는 반면 DDS는 Domain이 연동구성을 하고, DLRL(Data Local Recognition Layer)을 통해 선언관리를 하며, DCPS(Data Centric Publish Subscribe)를 통해 시간관리를 한다[4].

Table 1. Comparison Analysis of HLA & DDS

Index	HLA	DDS
Federation Management	Federate configures interoperability	Domain configures interoperability
Declaration Management	OMT Spec	Data Local Recognition Layer
ObjectManagement	Updating with parameter attributes	Data reader, writer
Ownership Management	Occurrence of ownership between federates	Expressing the strength of ownership through QoS policy
Time Management	HLA	Data Centric Publish Subscribe
Data Distribution Management	RTIAmbassador	DomainParticipant, Publish, DataWriter, Subscriber, DataReader
Qos	Unused	22 policies used
Security	Unapplied	Secret story algorism
Link Compatibility	Dynamic link available	Java API, C++ support
Web Service	Simple Object Access Protocol	Provide SOAP and more
Wire Protocol	Unused	2006 year, Interoperability code publication application
Wan Support	Gateway	Provide various protocols such as firewall

HLA는 국제표준 기반 LVC 구현이 용이하고, 국방 M&S 전용 특화 아키텍처로 시물레이션의 표현과 실행 관점에서 적합하다. DDS는 Real-Time Data Communication이 강점이며, 미 국방체계 SW 표준 통신방식으로 채택되었고, QoS와 대용량 데이터 전송이 가능하다. Fig. 4와 같이 HLA는 10개의 규칙과, Time/Federation Management 기능 등 특정 서비스에 대해 연동을 지원하고 있고, DDS는 데이터 연동, 모듈화, L체계 연동에 HLA보다 효율적으로 운용될 수 있음을 나타내고 있다[9].

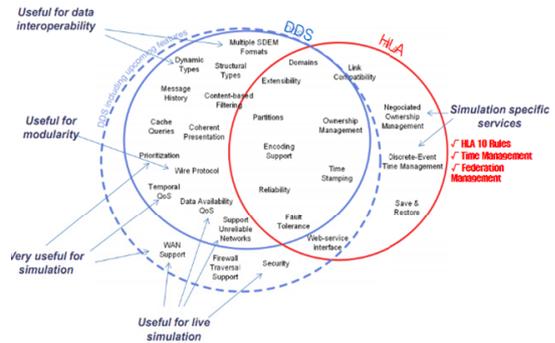


Fig. 4. Comparison of HLA & DDS

2.2 국내 기술적용 및 연구 사례

현 국내 LVC 연동을 위한 연구는 주로 한국전자통신원(ETRI)와 국방과학연구소(ADD)에서 연구를 진행하였다. ETRI에서는 DDS 시스템 구조, HLA-RTI 패킷 분석, RTI(실시간 인터페이스) 모델 및 HLA 인터페이스와 관련된 기술을 연구하였고, ADD에서는 이기종 시물레이션 시스템 상호연결, DDS 통신방법 및 가상 시물레이션 테스트 소프트웨어에 관한 기술, DDS를 기반으로 한 고해상도 공학급 모델 간 계층적 분산 시물레이션을 연구하였다. 건국대학교 산학협력단은 국내 대학 중 가장 많은 연구를 진행하였으며, HLA기반 대규모 네트워크 시물레이션, 가상 객체 생성 및 RTI에 관한 기술을 연구하였다 [4,6].

현재 한미연합연습과 육군전투지휘훈련에는 HLA 기반 하 구성시물레이션인 C-C간 연동을 통해 모의지원을 하고 있다. HLA 기반 연동체계를 개발하여 실제 훈련에 적용하고 있지만, 주로 위게임모델간 연동이 구축되어 있다. 육군은 L체계인 KCTC와 C체계인 여단급 이하 전투지휘훈련모델인 전투21 간 연동을 연구하였으며, KAIST 시스템모델링 시물레이션 연구실에서 해병대 위게임모델인 천자봉 모델과 전차 시물레이터 간의 연동을 구현하였다. 그러나 이는 실험적인 연구성과이며 실시간 대규모 데이터 전송 및 QoS 서비스가 제한적이며, 분리된 미들웨어와 이종 미들웨어 간 연동에 있어 상호운용성 및 확장성이 떨어진다[12].

DDS는 해군 차기호위함, 육군 여단급 과학화전투훈련단 사업, 차기 방공통제사업, 공군 무인기 지상통제센터 등 주로 L체계를 중심으로 적용하고 있다. 국내 LVC 연동을 위한 기술적용을 미군과 비교하면 Table 2와 같이 한국군은 주로 HLA 기반의 연동체계를 구성하여 훈련을 지원하고 있고, 미군은 HLA, DIS, TENA, CTIA 등

다양한 연동체계를 구성하고 있다[4].

Table 2. Comparison Analysis of HLA & DDS

Index	KOREA	US
Interoperability Standard Structure	HLA based Interoperability System configuration	HLA, DIS, TENA, CTIA based System configuration
Interoperability System Structure	Mainly C-C Interoperability System, Limited L-C Interoperability System	Almost perfectly LVC Interoperability
Interoperability System Structure Method	Interoperability System using HLA	Interoperability System using various Method
Interoperability Skill Level	HLA	HLA, TENA, DIS, CTIA

3. LVC 연동체계 통신미들웨어 구현을 위한 환경 구축

3.1 훈련자료 획득 및 분석

LVC연동을 위한 통신미들웨어 구현을 위해 실제 육군에서 구축하여 운영하고 있는 대표적인 모델을 선정하여 자료를 획득하였다. L체계 자료는 국내 최대 규모의 L체계 훈련장을 운영하고 있는 KCTC단과 협조하여 훈련부대 자료를 획득하였다. 부대정보, 기상정보, 지뢰지대 정보 등 객체정보와 상급부대 포병사격 등 상호작용 정보와 갱신주기를 획득하였고, 시나리오를 고려하여 일

Table 3. Test Data of L, V, C System

Index		L	V	C
Object Register	Unit	348	6,793	-
	Maneuvering Equipment	50	-	-
	Aircraft	-	-	6
	UAV	-	1	-
	Environment	1	-	-
Object Refresh	Unit	210,532	52,825	-
	Maneuvering Equipment	6,000	-	-
	Aircraft	-	-	180
	UAV	-	60	-
	Minefield	135	994	-
	Smoke	10	95	-
	Contaminated	20	10	-
Interac-tion	Artillery Fire	173	1,224	-
	Army Air Fire	-	-	30
	Detection	-	1,687	-

부 기동장비와 포병사격에 대한 객체를 추가로 생성하였다. V체계는 육군항공시물레이터 자료를 활용하여 항공기 객체를 등록하였고, 객체갱신과 상호작용 데이터를 확보하였다. C체계는 BCTP단과 협조하여 부대정보, 지뢰지대, 연막지역 등 객체정보와 객체갱신 정보를 획득하였다. 훈련자료를 분석 정리한 결과는 Table 3과 같다. L체계는 객체별 갱신주기마다 전체 객체정보를 갱신하므로 객체갱신 건수가 많고, C체계는 정보가 변경된 객체만 갱신하므로 객체갱신 건수가 상대적으로 적다.

3.2 성능측정 기준 선정

HLA와 DDS 방식이 실제 훈련에 적용 여부를 확인하기 위해 각 체계 훈련자료를 바탕으로 최대 부하량을 산출하였다.

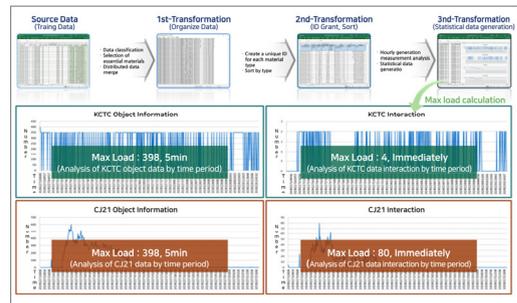


Fig. 5. Calculation procedure and results of Max Load

훈련 간 발생할 수 있는 최대 부하량을 산출하기 위해 각 체계의 훈련데이터를 분류하여 필수자료를 선별하였고, 분산자료를 병합하여 1차 자료를 정리하였다. 자료종류별 고유 ID를 생성하여 종류별 정렬 이후 시간대별 객체 데이터와 상호작용을 분석하였고, 시간별 발생량을 측정하여 최대 부하량을 산출하였다. 최대부하량 산출 및 결과는 Fig. 5와 같다.

L체계 최대 부하량은 객체정보와 상호작용 정보를 합하여 402개이고, V체계는 18개, C체계는 684개로 LVC 연동체계 최대 부하량은 1,104개이다. 제공받은 훈련자료의 최대 부하량을 산정하기 위해 추가 식별한 정보를 고려하여 성능측정 기준을 재산정하였다. 객체정보 중 훈련부대의 연막과 오염지역 및 시간, 포병사격, 보고서 등 추가된 정보를 합하여 Table 4와 같이 1,285개의 최대 부하량을 산출하였다.

Table 4. Test Data of L, V, C System

Index	Sum	Max Load		Additional Load	
		Object	Interaction	Object	Interaction
L	515	398	4	99	14
V	27	6	12	0	9
C	743	604	80	14	45
Performance Measurement Standard	1,285	1,104		181	

성능측정 데이터를 구축하기 위해 객체·상호작용 정보 중 데이터 크기가 크고, 발생량(부하량)이 큰 데이터로 선정하였고, 성능측정 데이터 선정을 위한 객체·상호작용 분석결과는 Table 5와 같다. 상호작용 정보는 처리 절차가 단순하므로, 객체정보 중 발생 빈도가 가장 많은 부대 정보를 성능측정 데이터로 선정하여 1,285개 만큼 발생하여 시험하였다.

Table 5. Analysis for Performance Measurement Data

Index	Data Size	Max Load	Result of Analysis
Weather	122byte	1	Size more 100byte, Load Minimum
Unit	103byte	952	Size more 100byte, Load Maximum
Ground Move Equipment	68byte	88	Size under 100byte, Load Medium
Aircraft	54byte	6	Size under 100byte, Load Minimum
UAV	54byte	1	Size under 100byte, Load Minimum
Minefield	68byte	17	Size under 100byte, Load Medium
Smoke	74byte	18	
Contaminated	74byte	8	
Interaction	Launch	103byte	Interaction Information is Simply Processed as One-Time Data
	Explosion	97byte	
	Detection	52byte	

성능측정을 위한 세부 구성은 Table 6과 같이 부대 정보, 부대 ID, 위치, 피해상태, 피아구분 등의 속성값으로 표현하였다.

Table 6. Unit Information Detailed Configuration

Attribute	Data Size	Attribute Description
Unit information	112bit	Unit information
Unit ID	64bit	Unit ID
Location	192bit	Unit's current coordinates
Damage state	32bit	Demage or not
Classification of friendly & enemy	32bit	Unit's identity
Combat power	32bit	Combat power
Unit identification	82bit	Unit identification
Split state	8bit	Split state
Occupation radius	96bit	Aggregate Unit's Occupation radius
Deployment	32bit	Deployment
Number of unit	32bit	Aggregate number of unit
Unit attribute	112bit	Split unit's attribute
Sum	103byte(826bit)	

3.3 성능측정 환경 구축

시험환경은 실제 LAN과 WAN을 사용하여 분산환경을 구축하여 Fig. 6와 같이 실험하였다.

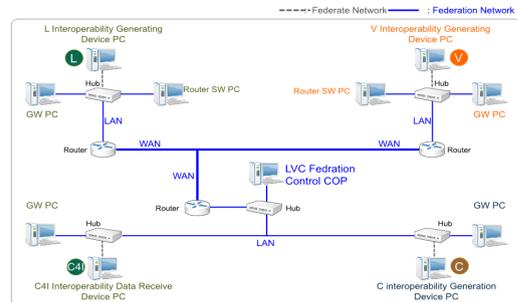


Fig. 6. Environment Diagram for Test

성능측정 시험절차는 Fig. 7과 같이 객체정보를 생성한 이후에 객체를 등록하고, 시작시간을 측정한 후 갱신 정보의 송수신 시간을 측정하여 처리시간을 산출하였다. 성능측정을 위해 데이터 송수신 아키텍처, 데이터 모델, 데이터, 발생 수, 지연시간 및 발생량 확인 기능을 제공하는 성능측정 도구를 구현하였다. 성능측정 데이터는 L 체계 연동데이터 생성장치 → L체계 연동환경 → L체계 게이트웨이 → LVC 연동환경 → C체계 게이트웨이 → C 체계 연동데이터 생성장치 순으로 전달되며, 역순으로 재전송하여 Fig. 7과 같이 성능을 측정하였다.

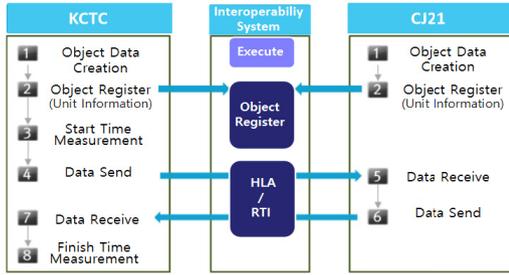


Fig. 7. Example of Performance Measurement

4. LVC 연동체계 구현결과 및 비교분석

4.1 성능측정 결과 분석

성능측정은 10회 반복하여 평균치를 비교하였다. 실험결과 DDS 연동방식의 초당 처리량이 HLA의 초당 처리량보다 약 1.5배 빨랐다. DDS는 초당 1,870 ~ 1,981 개의 객체를 처리하였고, HLA는 초당 1,179 ~ 1,450개의 객체를 처리하였다. 실험결과 등록된 객체의 개수는 지연시간, 초당 처리량에 크게 영향을 주지 않았다. 연동 정보 중 갱신 주기가 가장 빠른 항공기 정보인 2초 이내를 기준으로 판단했을 때 HLA 방식은 1,285개 데이터를 1.09초에 처리하였고, DDS 방식은 1,285개 데이터를 0.68초에 처리 완료하여 HLA, DDS 연동방식 모두 성능 기준안 2초 이내를 충족하였다.

4.2 효용성 비교 결과

시간의 성능이 빠르다고 해서 더 효과적인 방식이라고 단정을 지을 수 없어서 실제 LVC연동 구축시 어느 방식이 더 효과적인지 효용성을 분석하기 위해 전문가 설문을 하였다. 설문은 국방 M&S를 대표하고 본 연구를 이해할 수 있는 군학연의 전문가를 편성하여 실시하였다. 전문가 설문부서는 LVC 운용 및 소요를 담당하는 육군부서(Army), 연구소를 대표해서 국방과학연구소(ADD)와 방위산업기술지원센터(DITSC), M&S를 연구하는 한국과학기술원(KAIST), 한국기술교육대(KTEC), 동국대학교(Dongguk Univ.)를 선정하여 총 6명의 전문가 설문을 하였다.

효용성의 비교 기준은 Table 7과 같이 ETRI의 민간 협력기술 자료 중 실시간 L-V-C 연동을 위한 통합 미들웨어 프레임워크 개발 분석 자료 참조하여 10개의 비교 기준을 선정하였다. 적합성(V1 미들웨어 개발 목적 및 용도, V2 국방분야 적용사례), 실용성(V3 도입 소요 비

Table 7. Unit information detailed configuration

Index	Element	Comparison Criteria
V1	Suitability	Middleware Development Purpose
V2		Defense Application
V3	Practicality	Development Cost
V4	Standard	Compliance with International Standards
V5		Interoperability System Development & Application Procedure
V6	Compatibility	Other Middleware Compatibility
V7	Functionality	Environment Management Service Level
V8		Time Management Service Level
V9		Other Service Levels Offered
V10	Maintenance	Maintenance Technical Support

용), 표준성(V4 국제표준 준수 수준, V5 연동체계개발 절차 적용), 호환성(V6 타 미들웨어 호환성), 기능성(V7 환경관리 서비스 수준, V8 시간관리 서비스 수준, V9 기타 서비스 제공 수준), 유지보수성(V10 유지보수 기술지원)이다.

설문의 구성은 HLA 및 DDS 미들웨어에 대해 각각 앞서 기술한 10개 요소에 대해 가중치를 선정하여 평가하였다. 표본이 극소표본임을 고려할 때 HLA와 DDS의 효용성은 t-검정 등의 방법은 부적절하다. Table 8은 요소별 산술 평균값을 나타낸 것이다. 전반적으로 HLA가 DDS에 비해 높지만, 도입 소요 비용(V3), 유지보수 기술 지원(V10)은 DDS가 우월함을 확인할 수 있다.

Table 8. Mean of the 10 comparison criteria

Index	HLA	DDS
V1	12.5	12
V2	9.2	5.7
V3	2.7	10
V4	9.2	7.6
V5	8.8	5.5
V6	3	2.8
V7	11.7	5
V8	10.5	4
V9	7.5	6.7
V10	6.8	10.8
Total	81.9	70.1

본 연구에서는 평가요소별 각 기관의 특성을 더 탐색하기 위하여 다변량 분석(multi-variate analysis) 기법의 하나인 대응분석(correspondence analysis)을 하였다. 대응분석은 주성분 분석(principal component analysis)과 마찬가지로 자료의 행과 열의 연관성을 조

정하여 통찰력을 얻기 위한 도표화 과정 측면에서 유사하지만, 범주형 자료로만 구성된 경우 사용하는 점에서 큰 차이가 있다. 또한, 대응분석은 χ^2 -검정과 같이 두 개의 범주형 자료 간 동질성 또는 독립성 검정을 하는 것이 아니라 두 범주형 변수가 가진 범주 간 관계를 탐색하는 방법이다. 대응분석에 관한 상세한 설명은 생략하지만 독자의 이해를 돕기 위해 참고문헌을 제시한다[13,14].

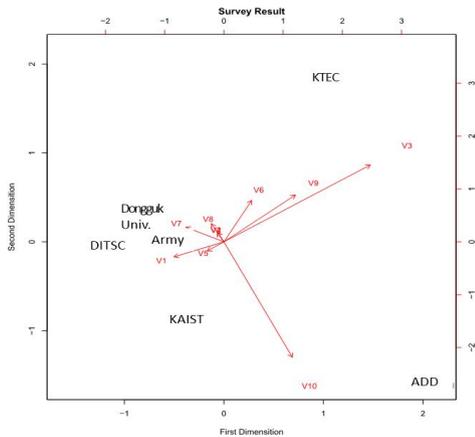


Fig. 8. Correspondence Analysis Plot for HLA

Fig. 8은 HLA의 효용성에 대한 대응분석 플롯이다. 효용성의 비교 기준은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 V1, V2, V5, V7, V8을 그룹 '1'로, V3, V6, V9를 그룹 '2'로 V10을 그룹 '3'으로 가정하자. 육군 담당부서, 방산산업기술지원센터와 동국대학교는 그룹 '1'의 중요성을 함께 강조하는 반면, 한국기술교육대는 그룹 '2'에 대해 중요성을 강조하는 것을 알 수 있다. 국방과학연구소와 한국과학기술원은 그룹 '3'의 중요성을 강조하였다. 이것의 의미로 그룹 1을 강조한 세 개의 부서는 LVC 연동을 위한 기술연구와 M&S 사업 경험을 토대로 적합성과 표준성, 기능성을 통해 LVC 연동체계의 안정적인 사업추진을 강조한 것으로 해석할 수 있고, 그룹 2는 국방 M&S에 대한 사업보다는 시스템 엔지니어링에 대해 많은 연구를 수행한 기관으로 초기 단계부터 사업의 중요성을 정량적으로 분석하여 타 미들웨어의 호환성과 실용성의 중요함을 강조한 것으로 판단된다. 그룹 3은 국방 M&S 핵심기술을 다수 연구한 기관으로 기술개발 이후 원활한 운용을 위한 기술지원과 능력을 강조한 것으로 판단된다.

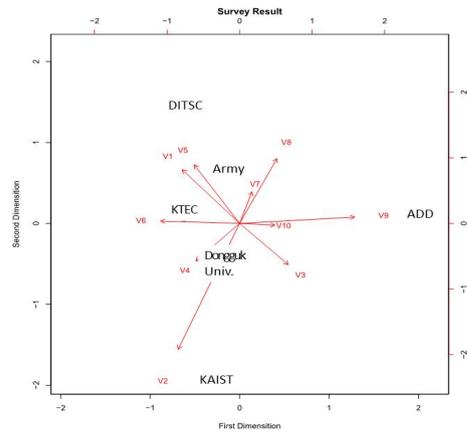


Fig. 9. Correspondence Analysis Plot for DDS

Fig. 9는 DDS의 효용성에 대한 대응분석 플롯으로 각 기관별 그룹화하여 의미를 해석하는데 HLA 설문결과에 비해 제한사항이 있으나 Fig. 8과 유사하게 해석할 수 있다. 특이한 사항으로 국방과학연구소는 연동체계 개발을 위해 제공되는 API의 개수를 정량적으로 비교하여 기타 서비스 제공수준과 유지보수비의 중요함을 강조하였고, 한국과학기술원은 국방분야 적용사례를 정량적으로 비교하여 적합성에 대한 중요성을 강조하였다. 본 대응분석을 통해 향후 LVC 연동훈련체계 사업 추진간 HLA와 DDS 방식을 구현하는데 있어 좀 더 효용성이 있는 방안에 대한 통찰력을 갖을 수 있다는 것에 의의가 있다. 2가지 연동방식 모두 성능요구 기준은 충족하나, 효용성은 HLA 방식이 우수하게 평가되어, 향후 국내 LVC 연동방식은 HLA를 적용한 연동방식으로 추진하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 이중의 L, V, C 체계를 분산환경 하 상호 연동하여 공통 가상환경에서 운용할 수 있는 대표적인 통신미들웨어인 HLA와 DDS 연동방식을 설계하고 구축하였다. 향후 사단급 LVC 연동훈련체계 구축에 필요한 기반기술인 HLA와 DDS를 통한 통신미들웨어 구현 기술을 확보한 것으로 본 연구에 의의가 있다. 특히 본 연구에서는 기존 연구와 다르게 가상의 데이터가 아닌 실제 훈련 간 유통되는 데이터를 활용하고 평가하였고, 실제 훈련의 부하량을 테스트함으로써 향후 26년에 전력화 예정인 육군합성전장훈련체계 개발의 가능성을

향상시켰다.

또한, HLA와 DDS 연동방식은 고유의 장점을 보유하고 있어 두 가지 연동방식을 비교하여 소요 비용과 재사용성, 미래 개발되는 체계와의 연동을 위한 확장성 등을 고려하여 분석하였다. HLA와 DDS 방식 모두 성능요구 기준은 충족하나, 전문가를 통한 효용성을 분석한 결과 HLA가 우수하게 평가되었다.

향후 사단급 LVC 연동훈련체계 외에 더 많은 데이터가 유통되는 다른 연동체계 구축 시 두 가지 연동방식을 모두 적용하여 다양한 체계에서 어느 방식이 더 효용성이 있는지를 검증할 필요가 있다.

References

[1] ROK HQ, "Army Vision 2030", pp 60-61, ROK HQ, 2019.

[2] H.K.Jun, Interoperable Middleware Gateway Based on HLA and DDS for L-V-C Simulation Training Systems, IEMEK, pp 345-362, 2015.
DOI : <http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2015.10.6.345>

[3] K. Fredrick, Creating Computer Simulation System, Prentice Hall, pp 19-26, 1999.

[4] ROK DAPA, Army Synthetic Training Environment Pilot Study, 2015.

[5] K.R.Cho, Similarity Analysis and API Mapping with HLA and DDS for L-V-C Realization, Journal of KIISE, pp 621-628, 2015.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06285151>

[6] H.J. Cho, "LVC Interoperability Architecture Technology Trend" Journal of the Defense Science & Technology Information, pp 84-94, DTaQ

[7] JOSE Ramon Martinez Slio, "Real time simulation with HLA and DDS how to develop true distributed real time simulations mixing IEEE HLA and OMG DDS standards", NADS, 2011.

[8] IEEE Std 1516.1-2000. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) - framework and rules

[9] Chong-Ho Lee, "A Proposal of Building an LVC for the ROK Military based on the HLA", Journal of the Korea Society for Simulation 26(1), 1-11p, 2017.

[10] Object Management Group: Data Distribution Service for Real-time Systems Ver. 1.2, 2007,
<http://www.omg.org/spec/DDS/1.2>

[11] ROK DTaQ, Defense Science & Technology Development Trend and Level, Vol. 8, 2019.

[12] K. C. Won, "Design and Effect Analysis of

Confederation Interface for ROK-US Combined Exercises', Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 19, No. 12 pp. 498-506, 2018.

DOI : <https://doi.org/10.5762/kais.2018.19.12.498>

[13] B. Eric, L. Rosaria, Correspondence Analysis. Theory, Practice and New Strategies, Chichester Wiley, 2014.

[14] G. Michael, Correspondence Analysis. in Practice, Boca Raton CRC Press, 2007.

원 경 찬(Kyoungchan Won)

[정회원]



- 2006년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (석사)
- 2019년 2월 : 광운대학교 방위사업학과 (박사)
- 2017년 6월 ~ 2021년 6월 : 육군 분석평가단 M&S정책발전장교
- 2021년 7월 ~ 현재 : 육군 분석평가단 M&S전략계획장교

<관심분야>

M&S, AI

김 재 오(Jaeoh Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학과 (석사)
- 2018년 2월 : 고려대학교 통계학과 (박사)
- 2019년 10월 ~ 현재 : 육군 분석평가단 빅데이터분석계획장교

<관심분야>

머신러닝, 인공지능

구 자 환(JaHwan Koo)

[정회원]



- 2009년 8월 : 아주대학교 정보통신공학과(석사)
- 2017년 2월 : 한성대학교 산업경영공학과 박사 수료
- 2010년 6월 ~ 현재 : 방위사업청

<관심분야>

M&S

이 호 준(HoJun Lee)

[정회원]



- 2003년 3월 : 고려대학교 전기전자공학 석사
- 2010년 1월 : University of Arizona 전자컴퓨터공학 박사
- 2018년 2월 ~ 2019년 12월 : 육군 분석평가단 모의분석과장
- 2020년 1월 ~ 현재 : 육군 분석평가단 M&S발전과장

<관심분야>

M&S, 온돌로지, 정보융합

김 용 필(Yong-Pil Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한양대학교 산업공학과(석사)
- 2004년 8월 : 한양대학교 산업공학과(박사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 육군 분석평가단장

<관심분야>

M&S, AI
