

선박 통합 네트워크 구조 성능 분석

이성형*, 김재현°, 문경덕*, 이광일*, 박준희*

Performance Analysis on Integrated Ship Area Network

Sung-Hyung Lee*, Jae-Hyun Kim°, Kyoung-Deuk Moon*, Kwangil Lee*, Jun Hee Park*

요약

본 논문에서는 선박 통합 게이트웨이를 이용하여 선박 내 기기를 하나의 네트워크로 연결하는 선박 네트워크(Ship Area Network)에 대하여 네트워크의 구조를 분석하고 모든 기기의 연결을 담당하는 선박 통합 게이트웨이의 망요소적 역할 및 필요 최소 성능에 대해 분석한다. 이를 위하여 선박 내 네트워크에 대한 참조망 구조 및 중단간 연결에 대해 분석하고 트래픽 모델 및 선박 네트워크의 요구사항을 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 선박 통합 네트워크 구조를 반영하는 네트워크 시뮬레이터를 설계하였다. 망요소에 대한 성능 평가 결과, 제한된 네트워크에서 통합 게이트웨이가 스위치로서 동작하고 약 30,000 packets/s 이상의 성능을 보유하였을 때, 선박 네트워크가 선박 내부의 트래픽을 안정적으로 전송하였음을 확인할 수 있었다.

Key Words : ship area network, performance analysis, network simulation, integrated SAN, integrated gateway

ABSTRACT

This paper analyzes ship area network(SAN) with integrated gateway. For the analysis, this paper analyzes reference network architecture, end-to-end connection model, traffic model, and requirement of SAN. Also, the type of network element and minimum performance of integrated gateway is derived by ship area network simulator. The performance evaluation results show that a integrated gateway operating as network switch with performance over than 30,000 packets/sec can provides end-to-end connection with satisfaction of requirement of each end-to-end connection.

I. 서론

선박 네트워크 또는 선박 영역 네트워크(Ship Area Network)는 선박 내에 구축되어 제어 명령, 상태 정보, 문서 및 도면 정보 등을 교환할 수 있도록 제공되는 백본 네트워크를 말한다. 선박 네트워크는 선박 내 기계장치 제어를 선원이 직접 수행할 필요 없이 중앙에서 가능하게 하기 때문에 선박 자동화에 반드시 필요한 요소이며 컨테이너선 및 크루즈선과 같은 대형 선박을 약 30여명의 선원만으로도 운항이 가능하도록

해주는 역할을 수행한다.

초기의 선박 네트워크에서는 네트워크가 존재하지 않았던 선박에 네트워크를 설치하여야 하는 어려움과 네트워크의 속도가 빠르지 않고 회선의 신뢰성이 낮다는 특성 때문에 그림 1의 좌측과 같이 통신이 필요한 개별 시스템 사이에 직접적 연결을 이용하는 방식인 점대점(point-to-point) 연결 방식을 이용하였다. 그러나 이러한 연결 방식은 점대점 연결 방식을 위해서 선의 길이가 전체적으로 증가하기 때문에 배선 비용 증가 및 고장 발생 시 원인 탐색과 수리에 어려움이

※ 본 연구는 지식경제부의 지원을 받는 정보통신표준화 및 인증지원사업의 연구결과로 수행되었음.

◆ 주저자 : 아주대학교 전자공학부 무선인터넷연구실, xaviersr@ajou.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 아주대학교 전자공학부 무선인터넷연구실, jkim@ajou.ac.kr, 종신회원

* 한국전자통신연구원, kdmoon@etri.re.kr, 정희원, leeki@etri.re.kr, juni@etri.re.kr

논문번호 : KICS2013-01-013, 접수일자 : 2013년 1월 10일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 7일

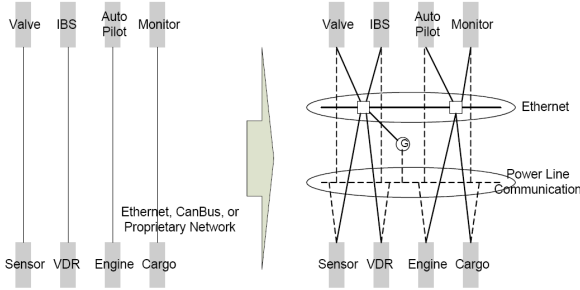


그림 1. 점대점 연결 방식의 선박 네트워크 구조(좌측)와 선박 통합 네트워크 구조(우측)
 Fig. 1. Ship Area Network with point-to-point connection(left) and integrated ship area network(right)

있고, 최근 네트워크의 발달에 따라 이더넷(Ethernet) 및 전력선 통신(Power Line Communication)의 링크 속도 및 신뢰성이 증가하여 점대점 연결방식이 더 이상 필요하지 않다는 점 등 다양한 이유에 의해 그림 1의 우측과 같이 각각의 시스템을 하나의 네트워크에 물려 통신을 수행하는 방식인 선박 통합 네트워크(Integrated Ship Area Network) 구조로 변경되어 가고 있다^{[1]-[3]}. 이러한 네트워크 구조에서는 각 장비들에 대한 연결을 통합 게이트웨이(integrated gateway)가 연결해주어 상호간에 통신이 가능하도록 한다.

이러한 선박 네트워크 구조에 대한 성능 분석 결과로 크루즈 선박에서 선박 내 멀티미디어 서비스 제공을 위한 네트워크 토폴로지 별 패킷량 분석^[4] 및 도선(ferry boat)에서 광통신 적용시 오류 발생률과 수리 주기 등을 분석^[5]한 결과가 있다. 또한 동일한 참조망 구조에 대해 세가지 네트워크 시스템을 적용하고 비교^[6]하기도 하였다. 그러나 이러한 연구에서 백본 네

트워크 구성을 위한 네트워크 요소의 역할 및 최소 요구 성능에 대해서는 분석이 이루어지지 않았다.

본 논문에서는 통합 선박 네트워크 구조의 선박 영역 네트워크에 대해 성능 분석을 수행한다. 이를 위하여 선박 통합 네트워크에 대한 참조망 구조 및 종단간 연결에 대해 분석하고, 또한 각 연결에 대한 트래픽 모델에 대해 분석하고, 선박 네트워크가 갖추어야 할 요구조건들을 분석한다. 설계한 네트워크의 성능 검증 및 통합 게이트웨이의 망요소적 역할, 최소 성능을 확인하기 위하여, 선박 네트워크 시뮬레이터를 개발하여 이를 활용하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 선박 통합 네트워크의 설계 및 이를 위한 분석에 대해 제시한다. 3장에서는 설계한 선박 통합 네트워크의 성능 분석을 위한 시뮬레이터에 대해서 설명하며 4장에서 성능 분석 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 선박 통합 네트워크 구조 분석

2.1. 참조망 구조 및 종단간 연결 분석

이 절에서는 선박 통합 네트워크에 대한 참조망 구조 및 종단간 연결에 대해 분석을 한다. 선박 통합 네트워크의 참조망 구조는 그림 2와 같다. 선박 내에는 선박의 위치 추적을 위한 AIS(Automatic Identification System), GPS(Global Positioning System) 관련 장비가 있으며, 선박 내부기기에 대한 상태 측정, 통보, 제어를 위한 센서 및 액츄에이터에 해당하는 AMS(Alarm Monitoring System), Gauge

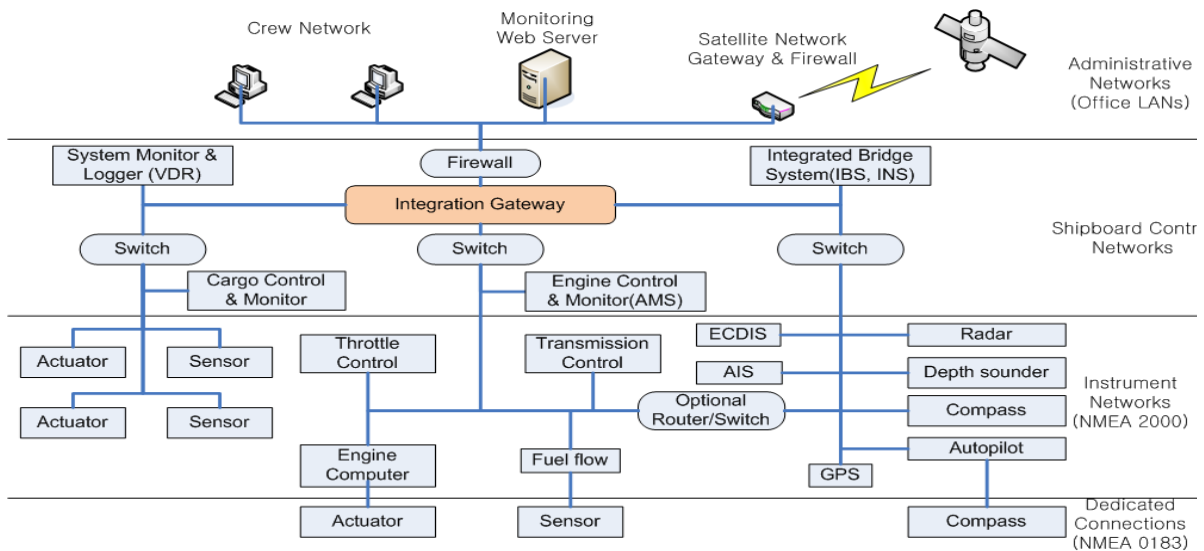


그림 2. 선박 통합 네트워크의 참조망 구조
 Fig. 2. Reference network architecture of integrated ship area network

NN1 등이 있다. 그리고 센서로부터 전달되어진 상태를 확인하는 웹페이지 생성을 위한 선박 내 웹 서버 및 항해 동안 발생한 이벤트를 기록하는 VDR(Voyage Data Recorder)이 있다. 또한 사용자에게 각 기기를 연결시켜 함교에서 모든 기기에 대한 동작을 가능하게 하는 IBS(Integrated Bridge System) 및 INS(Integrated Navigation System)이 있다. 그리고 선원이 개인적 및 점검용으로 사용할 수 있는 PC를 포함하는 선원 네트워크(crew network)와 외부와의 통신을 위한 위성 통신 시스템이 있다. 마지막으로 해당 기기들을 모두 연결해주는 통합 게이트웨이(integrated gateway)가 네트워크의 중앙에 위치한다.

상업적 컨테이너선에 대한 중단간 연결 및 해당 연결에 대한 transport protocol, 트래픽 모델은 선박 및 관련 표준에 따라 다르게 나타나지만⁷⁾, 기기가 가장 많을 것으로 예상되는 모든 기기가 설치된 경우에 대해서는 표 1과 같다. AMS의 정보는 기록 및 조회를 위하여 VDR과 웹 서버로 전송되며, VDR에서 수집된 정보 역시 웹 서버로 전송되어 기록 상황 및 수집된 선박의 상황을 확인할 수 있도록 한다. GPS, AIS, INS, Gauge NN1 등에서 발생하는 정보는 다양한 곳에서 활용되므로 정보를 모든 곳으로 전송하기 위해 브로드캐스팅을 사용한다. PC 및 VDR에서도 역시 주기적인 정보 요청 및 상태 확인을 위해 브로드캐스팅이 수행된다. 해당 중단간 연결에서 선원 네트워크 내부에서의 트래픽 및 선원 네트워크에서 위성 통신을 이용하는 트래픽은 포함되지 않았는데 이는 방화벽(firewall)을 이용해 해당 트래픽이 통합 게이트웨이로 유입되는 것이 차단되기 때문에 통합 게이트웨이에 영향을 주지 않기 때문이다.

2.2. 네트워크 요구사항 분석

선박에 설치된 기기 및 선박 네트워크는 한번 출항하면 수개월 동안 해상에서 운용되기 때문에 기기의 오류 및 오동작으로 선박의 운항에 문제를 발생시키지 않아야 한다⁸⁾. 따라서 선박 네트워크를 설계함에 있어 기기의 오류에 의해 네트워크가 마비되는 현상을 방지하기 위하여 여러 환경에서 기기를 시험하게 되며, 기기 오류 발생 시 빠른 대처를 위하여 동일한 기기를 2개 이상 설치하여 백업 네트워크를 구성하고 기본 네트워크의 이상 발생 시 백업 네트워크로 전환하여 대처하는 구조를 일반적으로 이용한다. 그림 1의 우측의 구조를 이용할 때도 평시에는 Ethernet 또는 PLC 중 하나의 네트워크를 이용하다가 이용하던 네트워크에 문제가 발생할 경우 나머지 네트워크를 활성화하여 이용한다.

그러나 네트워크 구조 자체에 문제가 있는 경우에는 오류 발생 시 백업 네트워크로 전환을 하여도 백업 네트워크에서 동일한 오류가 발생하게 된다. 이러한 오류로는 선박 네트워크에서 전달되는 정보 손실에 의한 오동작과 패킷 지연에 의한 네트워크의 오버플로우 및 네트워크 요소의 멈춤 발생 등이 있다. 이러한 문제는 선박 운항 중에 적절한 시기에 선원들이 기기 제어를 어렵게 하고 화재, 충돌 및 기기 고장 등의 긴급 상황에서 대처를 늦게 하는 원인이 된다. 따라서 선박 네트워크는 선박 네트워크를 이용하여 전달되는 정보가 선박의 운항 및 긴급 상황에서 통신 수행 시 정보 손실이 거의 없도록 99% 이상의 전송률을 보장하고 갑작스런 전송량 증가 상황에서도 네트워크의 오버플로우가 없도록 평균 전송 주기의 1/10 수준의 전송 지연을 보장하여야 한다.

따라서 선박 네트워크가 갖추어야할 최소 요건은

표 1. 상업적 컨테이너선에서 중단간 연결 및 트래픽 모델
Table 1. End-to-end connection and traffic model of commercial container ship

Source	Destination	Transport Protocol	Packet size(kbits)	Transmission frequency (messages/period)	Number of devices
AMS	VDR	UDP	272	1/1 second	1
AMS	Web Server	UDP	272	1/1 second	1
VDR(Data)	Web Server	TCP	20	1/1 second	1
VDR(Image)	Web Server	TCP	8000	1/7 seconds	1
GPS	(Broadcast)	UDP	0.632 ~ 1.600	1/1 second	2 - 15
AIS	(Broadcast)	UDP	over than 0.632	50/1 second	2 - 15
INS	(Broadcast)	UDP	0.632	50/1 second	2 - 15
Gauge NN1	(Broadcast)	UDP	0.632	1/1 second	5 - 15
PC	(Broadcast)	UDP	0.632	1/1 second	5 - 15
VDR	(Broadcast)	UDP	0.632	1/1 second	5 - 15

아래와 같으며, 해당 조건을 만족하기 위한 통합 게이트웨이의 망요소적 역할 및 최소 성능에 대해 도출할 필요가 있다.

- 선박 네트워크에서 각 트래픽에 대해 중단간 패킷 손실율이 1% 미만일 것
- 선박 네트워크에서 중단간 평균 패킷 지연은 트래픽 발생 주기의 1/10 이하일 것

III. 선박 통합 네트워크 성능 평가 시뮬레이터

선박 통합 네트워크의 성능 평가를 위해 그림 3과 같은 네트워크 성능 평가 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터에서는 참조망 구조 및 각 장비에 대한 선박 내 위치를 반영하여 네트워크가 구성되었다. 통합 게이트웨이는 Upper Deck의 Wheel House 내부 랙(rack)에 위치하며 웹 서버 및 VDR 역시 Wheel House에 위치한다. INS, IBS 및 선원 네트워크는 Upper Deck의 7~8층에 위치하는 것으로 가정하였다. AMS는 엔진실에 위치하므로 가장 아래 위치하고 있으며 AIS, GPS 역시 실제 설치 거리를 고려하여 위치를 지정하였다.

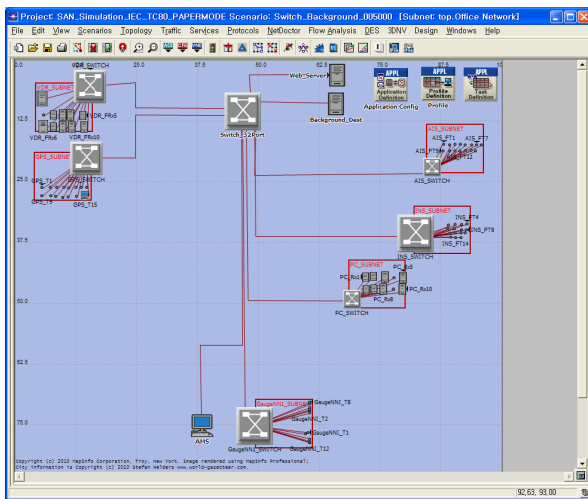


그림 3. 선박 네트워크 성능 평가 시뮬레이터
Fig. 3. Ship area network performance evaluation simulator

이 시뮬레이터는 OPNET 14.5로 구현되었다. 시뮬레이터 내부의 송신 노드들에서는 역할에 따라 표 1의 트래픽을 발생하며 수신 노드들에서는 수신한 패킷량, 지연시간 등을 기록하게 된다. 각각의 기록은 네트워크의 성능 평가에 필요한 패킷 손실율, 패킷 지연시간을 분석하는데 이용되었다.

IV. 선박 통합 네트워크 성능 평가

본 장에서는 선박 통합 네트워크에 대한 성능 평가를 수행한다. 성능 평가로는 통합 게이트웨이의 망요소적 역할을 선택하고 통합 게이트웨이의 최소 요구 성능을 파악한다.

4.1. 통합 게이트웨이의 망요소적 역할 선택

통합 게이트웨이는 모든 기기를 연결해주는 역할을 수행하기 때문에 허브(hub), 스위치(switch), 브리지(bridge) 또는 라우터(router)^[8]로 동작할 수 있다. 이 중 이더넷 포트의 수가 같은 종류의 장비를 연결하고 있는 지역 스위치 수보다 많지 않고, 선박 내 네트워크의 장비 수가 255개 미만이며, 네트워크에 대한 게이트웨이의 역할 및 IP 자동 분배 등의 기능은 위성 통신 게이트웨이에서 수행 가능하므로 통합 게이트웨이가 라우터의 역할을 수행하는 것은 적합하지 않다. 브리지는 네트워크 세그먼트의 연결에 사용하기 위한 장비로 스위치와 같은 계층에서 동작하나 포트의 수가 적기 때문에 역시 제외하였다. 허브를 사용할 경우에는 비용이 절감될 수 있으나, 1계층 장비이기 때문에 채널에서의 충돌 발생으로 패킷 손실이 발생할 수 있다. 반면에 스위치는 허브보다 비용이 더 많이 필요하나 물리적으로 분리가 되므로 충돌에 의한 패킷 손실이 발생하지 않는다. 그러나 허브를 사용하더라도 선박 네트워크에 대한 백본 네트워크 서비스 제공이 가능하다면 스위치를 사용할 필요가 없다. 따라서 허브와 스위치에 대한 선택은 시뮬레이션 등을 활용하여 성능을 확인할 필요가 있다.

이는 선박 종류와 선박이 운용되고 있는 상황에 따라 네트워크의 트래픽이 변화하기 때문이다. 일시적으로 긴급 상황이 발생하여 각 장비에서 트래픽 발생 주기가 줄어들면 네트워크에 발생하는 트래픽의 양이 변화한다. 또한 선박의 크기가 커지거나 추가적인 기기 관측 장비 및 CCTV와 같은 감시 장비를 추가로 장착 하는 경우 같이 네트워크가 확장되는 경우에도 트래픽이 증가한다. 따라서 다양한 선박에서의 상황을 고려하여 네트워크 요소를 선정하기 위하여 본 논문에서는 해당 원인으로 인해 트래픽이 발생하는 것을 백그라운드 트래픽이 발생하는 것으로 가정하였다. 백그라운드 트래픽은 CCTV가 선박 내부에 추가된 상황을 가정하며, 하나의 노드는 1Mbps의 비디오 트래픽을 발생시키도록 설정하였다. 백그라운드 트래픽의 양에 따라 노드의 수는 점차 증가한다.

그림 4는 선박 게이트웨이가 허브 또는 스위치 역

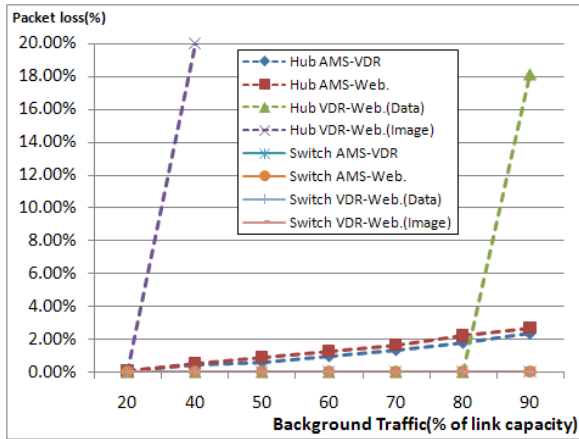


그림 4. 통합 게이트웨이의 망요소적 역할 및 백그라운드 트래픽 별 패킷 손실률
Fig. 4. Packet loss ratio with respect to background traffic and role of integrated gateway

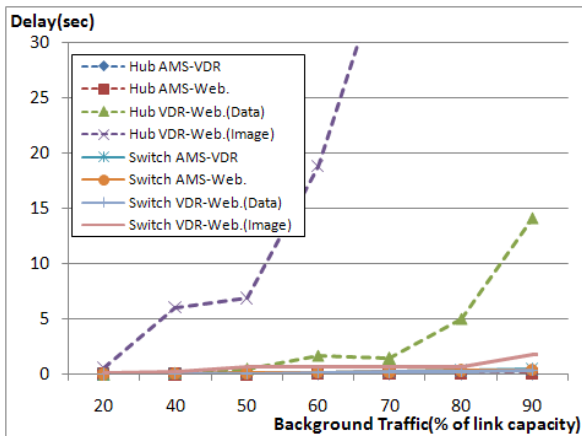


그림 5. 통합 게이트웨이의 망요소적 역할 및 백그라운드 트래픽 별 지연시간
Fig. 5. End-to-end delay with respect to background traffic and role of integrated gateway

할을 수행할 경우에 백그라운드 트래픽에 따라 나타나는 각 트래픽의 패킷 손실율을 나타내며 그림 5는 이 때 각 트래픽의 지연시간을 나타낸다. 링크 용량은 100Mbps로 가정하였으며 시뮬레이션은 1200 초 동안 수행하였다. 이 결과에서 통합 게이트웨이가 허브 역할을 수행할 경우 물리적으로 동일하게 연결시키는 허브의 특성에 의해 MAC 계층에서 충돌이 증가하므로 UDP 프로토콜을 이용하는 트래픽은 패킷 손실, TCP 프로토콜을 이용하는 트래픽은 재전송으로 인한 지연을 겪게 된다. 반면 스위치를 이용할 경우에는 물리적으로 분리가 되므로 충돌이 발생하지 않아 손실이 발생하지 않고 재전송에 의한 지연시간이 나타나지 않는다. 따라서 통합 게이트웨이는 스위치 역할을 수행하는 것이 가장 적합함을 확인할 수 있다.

그림 6은 통합 게이트웨이의 패킷 스위칭 능력에 따라 각 트래픽 별 패킷 손실률의 변화를 나타낸 그래프이며 그림 7은 평균 지연시간을 나타낸 그래프이다. 이 결과에서 네트워크의 지연시간은 설정한 요구 조건을 모두 만족하고 있으나 패킷 손실률의 경우에는 통합 게이트웨이의 성능이 약 30,000 packets/s 미만인 경우에 요구 조건을 벗어나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 통합 게이트웨이가 30,000 packets/s 이상의 패킷 스위칭 능력을 보유하면 선박 네트워크의 요구조건을 만족하면서 네트워크가 원활하게 동작 가능함을 확인할 수 있다. 참고로 해당 성능은 중급 네트워크 스위치의 성능인 약 10Mpackets/s^[9]에 비해 0.3% 정도에 해당하는 성능이기 때문에 통합 게이트웨이가 일반 상업용 스위치보다 특별히 뛰어난 성능을 보유할 필요가 없음을 확인할 수 있으므로 장비의 내구성이나 고장 발생 빈도 등 성능 분석 외적의 요구 사항만 만족된다면 상용 장비를 선박 네트워크에 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있다. 다만 장비의 별도 개발이 필요할 경우에는 본 논문의 성능 제한을 참고할 필요가 있다.

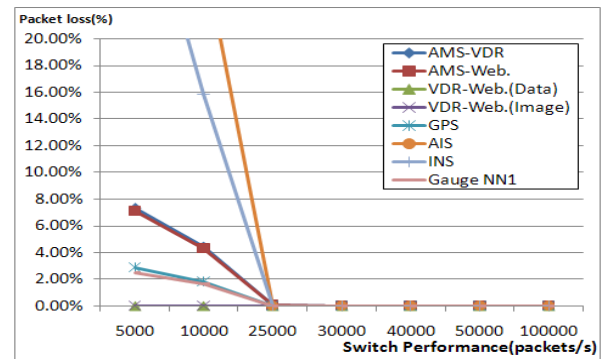


그림 6. 스위치 성능 별 패킷 손실률
Fig. 6. End-to-end packet loss ratio with respect to switching performance of integrated gateway

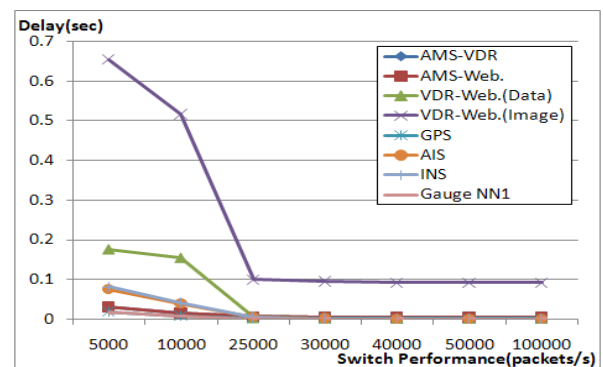


그림 7. 스위치 성능 별 지연시간
Fig. 7. End-to-end delay with respect to switching performance of integrated gateway

V. 결 론

본 논문에서는 선박 통합 게이트웨이를 이용하여 선박 네트워크를 단일 네트워크로 구성하는 선박 통합 네트워크에 대해 성능 평가를 수행하였다. 특히 망의 중앙에서 전체 기기들을 연결하는 통합 게이트웨이는 망요소적 역할로 스위치가 가장 적합하며, 최소 스위칭 능력은 30,000 packets/s임을 확인하였다. 도출한 성능 요구 조건은 추후 선박 통합 네트워크 관련 장비 선정 또는 개발에 활용 가능할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] B. K. Park, "Hyundai Heavy Industries and Maersk begin new era of smart ship," *Monthly Maritime Korea*, Apr. 27, 2011. from <http://www.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=7962>
- [2] Lee A. Luft, Larry Anderson, Frank Cassidy, "NMEA 2000 A Digital Interface for the 21st Century," Institute of Navigation's 2002 National Technical Meeting, San Diego, California, Jan. 30, 2002.
- [3] J. H. Hwang, "Methods for advance of maritime, ship-building, and steel industries," *Monthly Oceans and Fisheries*, vol. 257, Feb. 2006.
- [4] M. J. Kim and J. W. Jang, "A comparative study on packet by network design in in-ship," in *Proc. 4th Int. Conf. Interaction Sci. (ICIS) 2011*, pp.194-199, Shanghai, China, Aug. 2011.
- [5] I. Jurdana, V. Tomas, and R. Ivce, "Availability model of optical communication network for ship's engines control," in *Proc. 3rd Int. Congr. Ultra Modern Telecommun. Control Syst. and Workshops (ICUMT) 2011*, pp.1-6, Budapest, Hungary, Oct. 2011.
- [6] D. Chen, L. Xia, and H. Wang, "Modeling and simulation of monitor-control network in ship power station," *Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS) 2008*, pp.384-388, Guangzhou, China, Aug. 2008
- [7] S. H. Lee, J. H. Kim, K. D. Moon, K. Lee,

and J. H. Park, "Backbone network architecture planning of ship area network," in *Proc. APWCS 2010*, pp. 1-5, Taiwan, May 2010.

- [8] T. Lammie, *Cisco Certified Network Associate Study Guide*, Sybex, Mar. 2007.
- [9] Cisco, *Cisco Switch Guide(2012)*, Retrieved Mar. 19, 2012, from <http://www.cisco.com>

이 성 형 (Sung-Hyung Lee)



2007년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
 2009년 2월 아주대학교 전자공학과 석사 졸업
 2009년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> MAC 프로토콜, QoS, 네트워크 성능 분석, 국방전술네트워크 등

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)



1987년~1996년 한양대학교 전산과 학/석/박사 졸업
 1997년~1998년 미국 UCLA 전기전자과 박사 후 연수
 1998년~2003년 Bell Labs, Performance Modeling and QoS Management Group, 연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 교수
 <관심분야> 무선인터넷, QoE/QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16, B4G/5G, 국방전술네트워크, 위성시스템 등

문 경 덕 (Kyoung-Deuk Moon)



1990년 한양대학교 전자계산
학과 (학사)
1992년 한양대학교 대학원 전
자계산학과(이학석사)
2005년 KAIST 대학원 정보
통신공학부(공학박사) 졸업
1992년~1996년 시스템공학

연구소 연구원
1997년~1999년 한국전자통신연구원 선임연구원
2000년~2009년 한국전자통신연구원 그린컴퓨팅미
들웨어연구팀장
2010년~2010년 한국전자통신연구원 그린컴퓨팅연
구부장
2011년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 홈네트워크, u-컴퓨팅, Green ICT, IT
조선융합

이 광 일 (Kwangil Lee)



2001년 충남대학교 전산학(박
사)
2000년 미국 국립표준과학연구
원 연구원
2002년 미국 메릴랜드대학교
연구원
2004년 미국 텍사스 주립대학

교 연구원
2006년~현재 한국전자통신연구원 자율제어미들웨
어연구실 선임연구원
<관심분야> 스마트선박, 해양플랜트, 라우팅/스위칭,
보안, 스마트홈

박 준 희 (Jun Hee Park)



1997년 한국전자통신연구원 연
구원
2005년 충남대학교 전산학(박
사)
현재 한국전자통신연구원 자
율제어미들웨어연구실 실장
<관심분야> 스마트선박, 해양

플랜트, 스마트홈