

# 성형망 기반의 수중 다중매체 통신 네트워크와 단편화 기법

임동현<sup>†</sup>, 김승근<sup>\*\*</sup>, 김창화<sup>\*\*\*</sup>

## Underwater Multi-media Communication Network based on Star Topology and a Fragmentation Technique

DongHyun Lim<sup>†</sup>, Seung-Geun Kim<sup>\*\*</sup>, Changhwa Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Due to the difference between the underwater communication environment and the terrestrial communication environment, the radio communication mainly used on the ground cannot be used in underwater. For this reason, in the underwater communication environment, various communication media such as acoustic waves, infrared rays, light and so on has been studied, but there exist several difficulties in operating them individually due to their physical limitations. The concept for overcoming these difficulties is the very underwater multi-media communication, a method to select a communication medium best suitable for the current underwater environment among underwater communication multi-media whenever there occurs underwater communication failure. In this paper, we present an underwater multi-media communication network based on star topology and a fragmentation and reassembly technique to solve the problems caused by the different MTU (Maximum Transmission Unit) sizes among different underwater communication media. We also present the estimations and analysis on processing times in each of fragmentation and reassembly and the total data amount for transmitting fragments in our proposed underwater multi-media communication network.

**Key words:** Underwater communication, Underwater multi-media communication, Fragmentation, Star topology

### 1. 서 론

수중 환경에서는 매질의 차이로 인해 지상 통신에서 주로 사용되는 전파 통신을 그대로 사용하는 것이 어렵다. 전파가 물을 통과하게 되면 흡수, 굴절, 반사 등의 요인으로 먼 거리까지 전달이 안 되기 때문에

수중 통신에선 음파, 적외선, 광, 자기장과 같은 다양한 통신 매체들을 연구하고 있다. 하지만 현재 수중 통신에서 연구되고 있는 통신 매체들은 통신 거리, 영향을 받는 환경 요인, 전송 속도 등 장단점이 명확하여 개별적으로 운용하기에는 어려움이 존재한다. 이에 여러 수중 통신 매체 중에서 통신환경이나 에너

\* Corresponding Author: Changhwa Kim, Address: (26403) 150, Namwon-ro, Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Republic of Korea, TEL: +82-33-760-8663, FAX: +82-33-760-8661, E-mail: kch@gwnu.ac.kr  
Receipt date: Oct. 7, 2021, Revision date: Nov. 11, 2021  
Approval date: Nov. 17, 2021

<sup>†</sup> Dept. of Computer Science&Engineering, Gangneung-Wonju National University  
E-mail: yeklys@gwnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> Ocean System Engineering Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)  
E-mail: sgkim@kriso.re.kr

<sup>\*\*\*</sup> Dept. of Computer Science&Engineering, Gangneung-Wonju National University

\* This research was a part of the project titled "Development of the wide-area underwater mobile communication systems" funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

지양 등 상황에 가장 적합한 통신 매체를 선택하여 송수신하는 다중매체 통신 개념이 대두되기 시작했다. 그러나 다중매체 통신 또한 통신을 위해 여러 통신 매체를 운용해야 한다는 점 때문에 단일 통신에 비해 더 많은 자원 및 에너지 소모가 발생하며, 다중매체 통신환경에서도 두 노드 간에 서로 동일한 매체가 존재하지 않는다면 프로토콜 차이로 인해 1대1 통신이 불가능하다는 문제가 존재한다[1-4].

이에 이전 연구에서 중계기 기반의 다중통신 기술에 관한 연구를 진행하였으며 이를 통해 서로 다른 통신 모듈을 가진 두 노드 간의 통신 중계에 성공하였다. 하지만 해당 연구에서는 통신 매체들의 프로토콜 차이로 인한 통신 속도, 대역폭 차이 등의 문제를 해결하지 못하여 이로 인한 문제들로 용량이 큰 메시지를 중계할 수 없었다[5]. 예를 들어 중계기가 두 노드의 통신을 중계한다고 할 때 한 노드의 MTU 크기가 다른 노드의 MTU 크기보다 더 큰 경우가 발생할 수 있다. 이 때 MTU 크기가 큰 노드에서 MTU 크기가 작은 노드로 메시지를 중계하는 경우 메시지 손상, 손실, 또는 지연이 발생할 수 있다[6]. 이에 대한 연구 또는 유사한 연구가 진행되지 않았고 이에 본 논문은 이를 방지하기 위해 중계 계층에서 MAC(Media Access Control) 레벨의 단편화를 진행하여 중계기가 통신 중계 시 서로 다른 통신 모듈들의 MTU 크기에 맞춰 메시지를 전달할 수 있도록 하는 방법을 개발하고 실효성이 있는지 성능측정을 진행한다. 이를 위해 2절의 관련 연구에서 현재 수중 다중매체 통신 연구에 대한 현황을 살펴보고 3절에서 중계시스템 아키텍처와 수중 다중매체 링크 설정 프로토콜을, 4절에서는 중계 프로토콜에서 사용되는 중계 프레임과 중계 테이블 구조를 제시한다. 그 후 5절과 6절에서 각각 단편화와 조립화 알고리즘에 대한 상세한 내용을 소개하고 7절에서 알고리즘들의 성능을 평가한 후 8절 결론으로 논문을 마무리하도록 한다.

## 2. 관련 연구

수중 다중매체 통신에 관한 연구는 그리 많지 않다. D. Shin and C. Kim[7]은 수중 다중매체 통신이 기존 수중 단일 통신에 비해 가지는 강점을 설명하고 몇 가지 요구사항이 제시되었다. 이 연구에서는 다중매체 통신은 다양한 통신 매체를 복합적으로 운용하

므로 수중의 환경 변화에 강한 장점을 가지고 있지만, 기존 단일 통신과 달리 연구가 활발하지 않아 MAC/NWK(Media Access Control/Network) 테이블 관리, 수신 매체 판단 방법, 프로토콜, 경로 최적화 등의 요구사항을 제시한다. D. Shin and C. Kim[8]은 MAC과 NWK 계층을 중점으로 링크 설정, 데이터 전송, 라우팅, 매체 확장성 등의 구체적인 요구사항을 제시하여 다중매체 통신 기술 개발을 위한 초기 가이드라인을 제시하고 있다. D. You and C. Kim[9]은 다중매체 통신 시 서로 다른 통신 매체의 MAC 계층을 호환하기 위한 통합 MAC을 제시하며 이를 구현하기 위한 설계 접근 방향을 제시하고 수중 다중매체 통신환경의 통합 MAC을 개발하기 위한 방법을 제시하고 있다. 본 논문의 4절에서 설명되는 중계 계층은 여기서 제시된 상향식 설계 방식으로 설계되었다. D. Shin and C. Kim[10]은 다중매체 통신 네트워크의 통합 MAC 기반의 프로토콜 스택에 대한 모델이 제시되었다. 링크 설정 기법, 라우팅 기법, 네트워크 및 물리적 주소가 포함되어 있으며, 개별 물리 계층, 통합 MAC 계층, 네트워크 계층, 상위 계층으로 이루어진 상향식 프로토콜 스택에 대한 모델을 제시하고 있다. 수중 다중매체 통신에서의 단편화 기법에 관한 연구로는 1대1 통신에서 통신 매체의 변경으로 인해 발생하는 전송률의 차이를 호환하기 위한 단편화 기법이 제시되어 있으며 해당 연구의 단편화 기법은 통신 실패 상황 판단과 매체 선택 기능을 포함한다[6]. D. You and C. Kim[11]은 통신 매체들의 데이터 전송률과 링크 상태를 관리하는 통합 MAC을 제안하고 이를 구현하기 위한 논리적, 물리적 설계 방안을 제시하고 있다. 이 연구의 통합 MAC은 상향식 설계 방법을 통해 송수신, 오류제어, 단편화 기능을 보이고 있다. D. Lim and C. Kim[5]은 성형망을 대상으로 한 통합 MAC인 중계 계층을 개발하였다. 여기에서 중계 계층은 논리적 주소를 통한 송수신 기능을 제공하고 있으며 본 논문의 단편화 기능은 이 논문의 중계 계층에 기반하여 제시된다. 현재까지의 단편화에 관련된 연구는 MAC 계층의 통신, 1대1 통신 시 적용할 수 있는 단편화 기능이 연구되어 온 반면, 본 연구는 중계기 중심의 성형 망을 대상으로 중계기를 통한 통신 시 출발지 노드와 도착지 노드의 전송률의 차이로 인해 발생하는 문제점을 해결하기 위한 단편화 기법을 서술하고 있다.

### 3. 성형망 기반 수중 다중매체 중계시스템 아키텍처와 네트워크 구성

성형망 기반 수중 다중매체 중계시스템(이하 중계시스템이라 한다)은 수중 다중매체 통신환경을 지원한다. 수중 다중매체 통신 네트워크는 불안정한 수중 환경에서 이루어지기 때문에 수중 다중매체 통신 네트워크에서는 노드가 여러 가지 통신 매체를 가지고 환경 변화에 맞춰 여러 가지 통신 매체를 바꿔가며 통신해야 한다. 이때 통신을 하려는 두 노드 사이에 동일한 종류의 통신 매체가 수중 환경의 변화로 통신이 불가능한 상태가 되거나 동일한 종류의 통신 매체가 존재하지 않다면 통신을 할 수 없다는 문제점이 발생한다. 이를 방지하기 위해 모든 노드가 모든 종류의 통신 매체를 가지는 방법이 존재하나 비용과 에너지 등 자원 낭비의 문제가 발생한다.

이를 극복하기 위해 이전 연구에서 서로 다른 통신 매체를 사용하는 두 노드 간 통신을 위한 중계기를 개발하였다. 본 연구의 단편화 기술은 해당 연구의 중계기에 적용되어 같은 중계시스템 아키텍처가 적용된다.

중계기는 수중네트워크에서 중앙 시스템으로 작용하여 노드들을 관리하고 서로 다른 통신 매체를 사용하는 노드들의 통신을 중계한다.

#### 3.1 성형망 기반 수중 다중매체 중계시스템 아키텍처

중계시스템은 Fig. 1과 같이 크게 지상 스테이션, 중계기, 하위노드로 구성된다.

지상 스테이션은 중계기와 연결되어 있으며 수집된 데이터를 저장하는 역할을 수행한다. 중계기는 수 표면에서 지상 스테이션과 노드들에 연결되어 있으며 중계기는 중계 네트워크 내의 모든 통신 매체에 해당하는 통신 모듈이 장착되어야 한다. 노드는 중계기와 연결되어 있으며 다른 노드로 메시지를 보내거나 지상 스테이션으로 수집한 데이터를 전송한다. 노드는 한 개 또는 다수의 통신 모듈이 장착될 수 있으며, AUV(Autonomous Underwater Vehicle)와 같은 이동형 노드일 수 있다. 중계기는 지상 스테이션의 명령에 따라 노드들을 제어하거나 데이터 요청 메시지에 따라 노드로부터 데이터를 수집하여 전달한다. 노드들이 수집한 데이터를 중계기로 전송하거나 노드 간의 통신 시 서로 다른 통신 매체를 사용하는 경우 이를 중계하는 역할을 한다. 중계기는 노드로부터 메시지를 받게 되면 올바른 목적지 노드로 전달하게 되며, 이 과정에서 목적지 노드보다 송신지 노드의 통신 매체가 MTU 크기가 더 큰 경우 단편화를 진행하도록 한다.

#### 3.2 중계시스템 네트워크 구성 방법

중계 계층은 상이한 통신 매체들의 MAC을 연계하는 역할을 한다. 이를 위해 통신을 연계하기에 앞서 링크 설정 프로토콜을 통해 네트워크를 구성하고 연결된 노드들의 정보를 수집할 필요가 있다. 중계기는 자신의 링크 설정 단계에서 노드로부터 현재 연결된 노드의 MAC 주소, 매체 타입, MTU 크기 등을

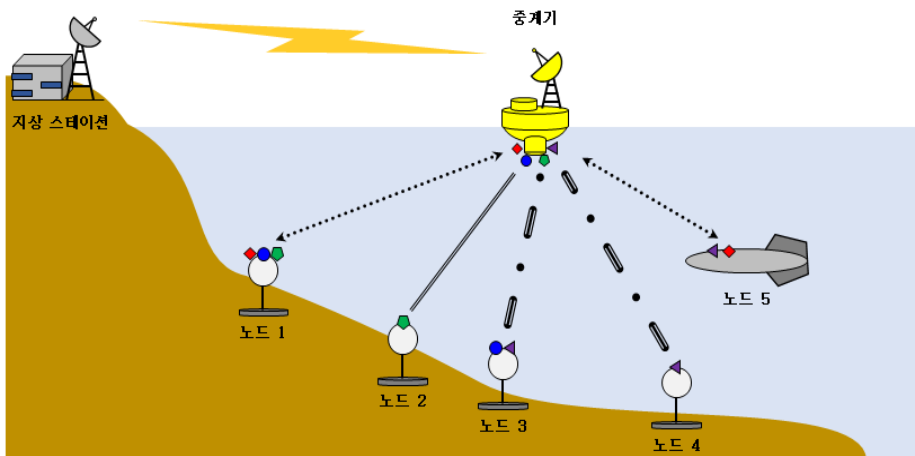


Fig. 1. Underwater Network Architecture.

받아 이를 중계 주소 테이블, 매체 정보 테이블에 기록하여 상이한 매체들 간의 통신 중계 과정에서 사용한다. 또한, 링크 설정 중 중계 계층에서 노드들의 MAC 주소를 관리하기 위해 중계 계층에서 사용하는 논리적 주소인 MID(Mediation Identification)를 발급한다. 링크 설정 프로토콜의 자세한 알고리즘은 Fig. 2와 같다.

중계기와 노드의 개별 MAC이 연결되면 노드는 링크 설정 메시지에 자신의 매체 정보를 전송한다. 중계기가 링크 설정 메시지를 수신하면 링크 설정 메시지에 담긴 노드의 주소 정보와 매체 정보를 중계

테이블에 기록한다. 그 후 노드에 MID를 발급한 후 발급된 MID를 응답 메시지에 담아 전송하여 링크 설정 프로토콜을 마무리한다. 중계 테이블과 MID에 대한 자세한 내용은 다음 절에서 다시 다루기로 한다.

#### 4. 수중 다중매체 통신 중계를 위한 프레임과 테이블 구조

수중 통신 매체들은 각기 다른 통신 특성을 가지고 있기 때문에 통신 프로토콜 또한 차이가 발생한 다. 중계 계층은 Fig. 3과 같이 각 통신 매체들의 상이

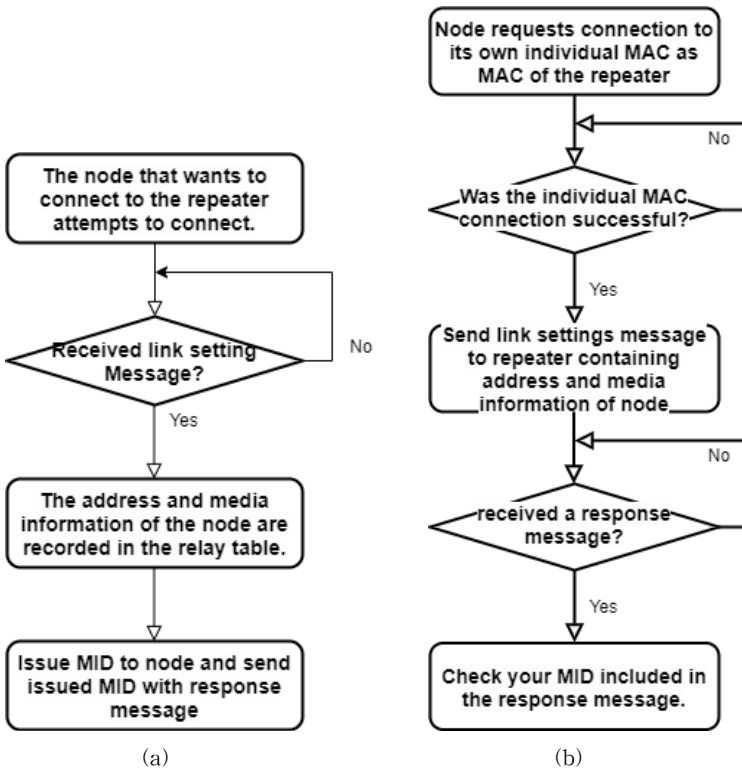


Fig. 2. Link setup protocol algorithm, (a) Node-side algorithm and (b) Mediator-side algorithm.

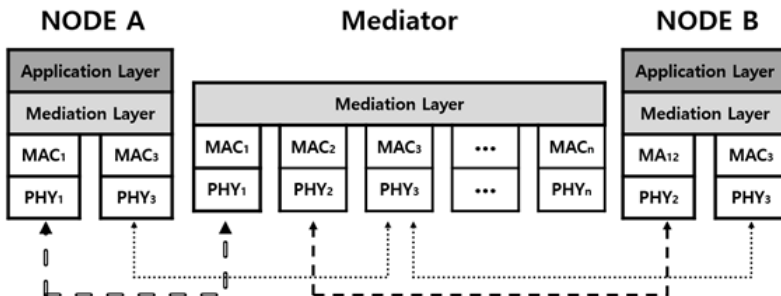


Fig. 3. Protocol stack of mediation layers.

Table 1. Mediation Frame Structure.

Frame Length	Frame Type	Src MID	Dest MID	Seq Number
Fragment Number	End of Frame(EOF)	PayLoad		

- Frame Length는 Frame의 총 길이를 나타낸다.
- Frame Type은 프레임의 타입을 나타낸다.
- Src MID와 Dest MID는 중계 계층에서 부여된 논리적 주소로 노드의 근원지와 목적지 주소를 나타낸다.
- Seq Number는 프레임의 순서 번호를 나타낸다.
- Fragment Number는 단편의 순서 번호를 나타낸다.
- End of Frame은 단편이 마지막 단편인지를 나타낸다.

한 개별 MAC 프로토콜을 호환한다. 중계 계층은 크게 중계 계층의 메시지 구조인 중계 프레임과 주소 정보를 관리하는 중계 주소 테이블(MAT : Mediation Address Table), 매체 정보를 관리하는 매체 정보 테이블(MIT : Media Information Table) 그리고 중계 계층에서 사용되는 주소체계인 MID를 사용한다.

4.1 중계 프레임

중계 프레임은 중계 계층에서 통신을 위해 사용하는 메시지 구조이다. 중계 프레임은 Table 1과 같이 구성되어 같은 필드를 가진다.

4.2 중계 테이블

중계 테이블은 중계기가 통신을 중계하기 위해 필요한 정보들을 기록하는 테이블이다. 이 정보들은 링크 설정 단계에서 하위노드로부터 수신하여 테이블을 갱신한다. 중계 테이블은 주소 정보를 기록하는 중계 주소 테이블과 매체 정보를 기록하는 매체 정보 테이블로 구성된다.

4.2.1 중계 주소 테이블

중계 주소 테이블은 중계기가 노드들을 관리하고 매체별로 서로 다른 MAC 주소를 관리하기 위해 사용한다. 중계 주소 테이블은 Table 2와 같이 구성되며 각 필드의 의미는 다음과 같다.

여기서 MID는 중계 계층에서 서로 다른 통신 모듈들의 MAC Address를 관리하기 위해 사용하는 논리적 주소이다. 각 통신 모듈들의 MAC Address들은 주소의 길이와 형식이 모두 다르기 때문에 그대로 사용하기에는 어려움이 있어 이를 MID를 이용해 관리하도록 한다.

4.2.2 매체 정보 테이블

매체 정보 테이블은 노드의 통신 매체들의 특성을 담은 테이블로 단편화 시에 필요한 MTU 크기와 통신 매체의 MAC Address의 형식 등의 정보가 기록되어 있다.

매체 정보 테이블은 Table 3과 같이 구성되며 각 필드의 의미는 다음과 같다.

Table 2. Mediation Address Table Structure.

...	Mediation ID (MID)	Media Type	MAC Address Type	MAC Address (max size)	...
-----	--------------------	------------	------------------	------------------------	-----

- Mediation ID(MID)는 중계 계층에서 사용되는 논리적 주소이다.
- Media Type은 통신 매체의 종류를 의미한다.
- MAC Address는 노드의 통신 매체에 종속적인 실제 MAC 주소를 의미한다.
- Media Address Length는 MAC Address의 길이를 의미한다.

Table 3. Media Information Table Structure.

...	Media Type	MAC Address Type	Media Address Length	MTU SIZE	...
-----	------------	------------------	----------------------	----------	-----

- Media Type 매체의 종류이다.
- Media Address Length 매체의 MAC 주소 길이이다.
- MAC Address Type 매체의 MAC 주소 형식이다.
- MTU SIZE는 해당 매체의 최대 메시지 크기를 의미한다.

### 5. 단편화 방법

중계기는 송신 노드의 메시지 크기가 수신 노드의 MTU 크기보다 클 때 단편화를 진행한다. 매체 정보 테이블에서 수신 노드의 MTU 크기를 검색하여 수신한 메시지를 MTU 크기로 나누어 보낸다. 단편화 알고리즘은 Fig. 4와 같이 진행된다. Fig. 4(a), (b), (c)는 각각 단편화를 위한 메인 알고리즘, 현재 단편

이 마지막 단편인지를 검사하는 서브루틴 그리고 처리할 단편의 개수를 구하는 서브루틴이다. Table 4는 단편화 알고리즘 내에 사용되는 용어에 대한 설명이다.

단편화를 진행하기 위해서는 프레임의 단편의 크기를 정해야 한다. 이를 위해선 목적지 노드와 통신 시 사용되는 통신 매체의 MTU 크기를 알 필요가 있다. Fig. 5는 중계기가 통신 매체의 MTU 크기를

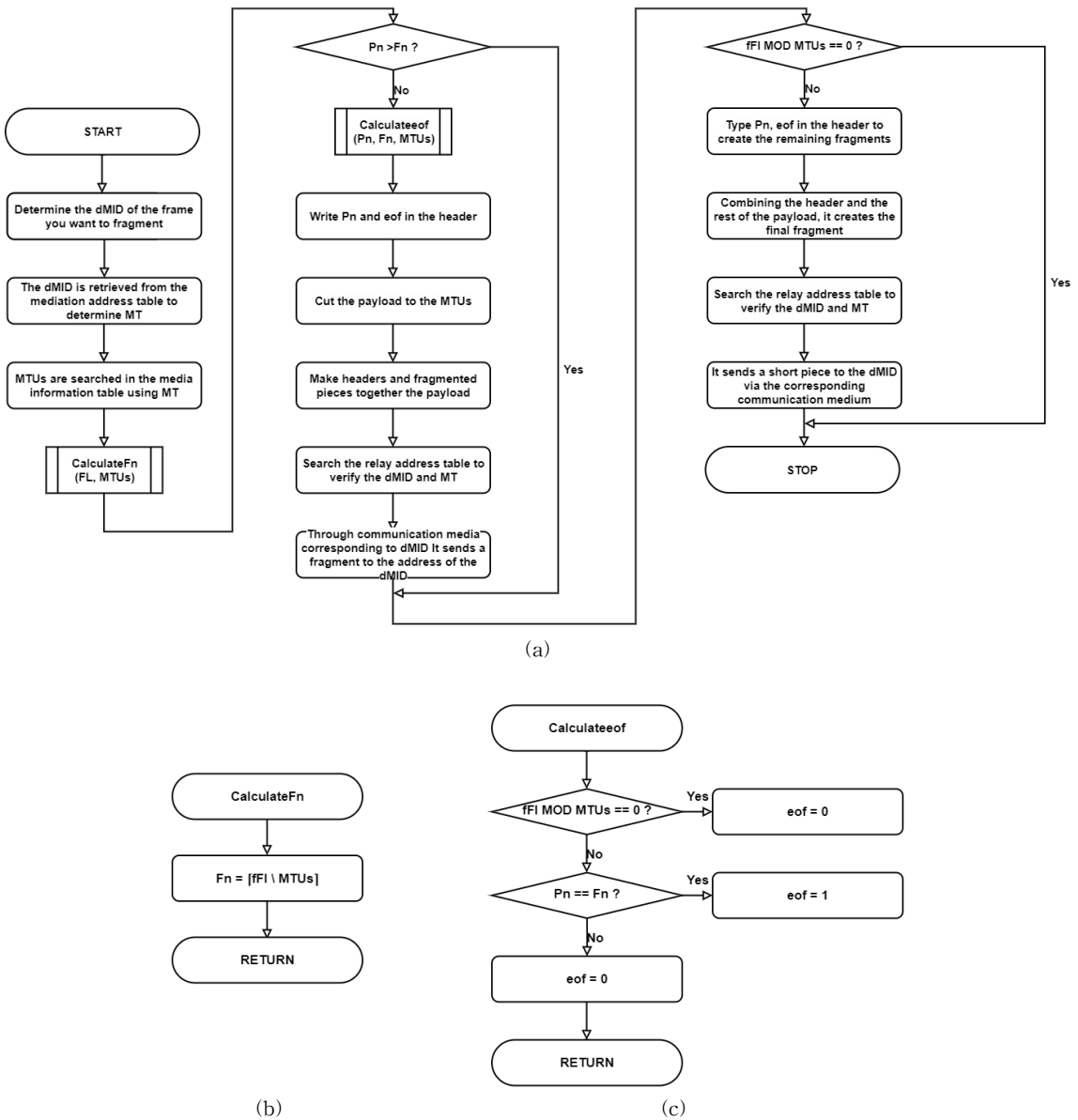


Fig. 4. Fragmentation algorithm, (a) Fragmentation main algorithm, (b) CalculateEOF subroutine, and (c) CalculateFN subroutine.

Table 4. Fragmentation Algorithm Terms.

Symbol	Description
dMID	Destination MID
MT	Media Type
MTUs	MTU SIZE
fFl	Full Frame Length
Fn	Number of fragments to process
Pn	fragment Number to Process Currently
EOF	End of Frame

가져오는 과정을 보여준다.

먼저 단편화하려는 프레임의 목적지 MID를 확인한다. 이를 통해 목적지 MID를 중계 주소 테이블에서 검색하여 매체 타입을 알아내고 해당 매체 타입에 맞는 MTU 크기를 매체 정보 테이블에서 검색한다. 처리할 단편의 개수를 계산한다. 처리할 단편의 개수를 계산하는 다음 식 (1)과 같으며 전체 프레임 길이를 MTU 크기로 나누어 결정된다.

$$\left\lceil \frac{Fl}{MTUs} \right\rceil \quad (1)$$

처리할 단편의 개수를 구한 후에는 본격적으로 단편 프레임을 만들기 시작하며 현재 처리하려는 단편의 번호가 처리해야 할 단편의 크기보다 커질 때까지 반복하게 된다. 먼저 EOF를 계산한다. EOF값은 Fl을 MTUs로 나누었을 때 나누어떨어진다면 현재 처리하려는 단편의 번호가 처리해야 할 단편의 개수보다 작은 경우에는 중간 단편이므로 0, 같은 경우에 마지막 단편임을 의미하므로 1로 설정한다. 만약 나누어떨어지지 않는다면 마지막 프레임은 나머지 프레임으로 따로 처리하므로 전부 0으로 처리한다. 계산한 eof 값과 단편 번호를 헤더에 입력한 후 페이로

드를 MTU 크기에 맞춰 잘라낸다. 그 후 헤더와 페이로드를 합쳐 단편을 구성한다. 이때 매체 타입이나 MID 주소와 같은 정보는 단편화하려는 메시지의 헤더의 값을 참고한다. 구성된 단편을 전송하기 위해 중계 주소 테이블을 검색하여 목적지 주소와 매체 타입을 확인한다. 그 후 목적지 노드에 해당하는 통신 매체를 통해 목적지 노드의 주소로 단편을 전송한다. 만약 FL을 MTUs로 나누었을 때 나누어떨어졌다면 나머지 프레임을 처리해야 한다. 나머지 프레임의 경우 EOF는 항상 1이며 단편 번호는 처리할 단편의 개수에 1을 더하면 된다. 계산된 단편 번호와 EOF 값을 통해 헤더를 만든 후 나머지 페이로드를 합쳐 마지막 단편을 구한 후 마찬가지로 중계 주소 테이블을 검색하여 목적지 주소와 매체 타입을 구하여 목적지 노드의 통신 매체를 통해 목적지 노드의 주소로 단편을 전송한다.

## 6. 조립화 방법

수신 노드가 MTU 크기의 차이로 인해 중계기로부터 단편화되어 전송된 메시지를 받은 경우, 메시지를 읽기 위해선 조립화 과정이 필수이며 이에 대한 알고리즘은 Fig. 6과 같다. Table 5는 단편화 알고리즘 내에 사용되는 용어에 대한 설명이다.

조립화 시에는 단편의 헤더 값을 읽고 헤더에 적혀있는 단편 번호, 통신에 사용한 통신 매체의 MTU 크기, eof값을 사용하여 메시지를 조립한다. 수신 노드는 조립화 버퍼에 조립화할 단편이 있는지 계속 확인한다. 만약 조립화할 단편이 수신되었다면 단편의 헤더를 확인하여 단편의 길이, 번호, EOF 값을 확인한다. 그 후 Fig. 7과 같은 과정으로 단편의 위치를 구한다.

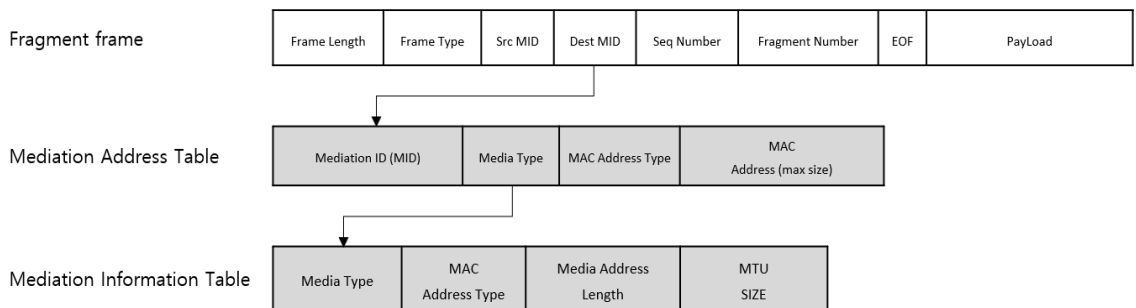


Fig. 5. MTU Size Search Process for Communication Media on Destination Link.

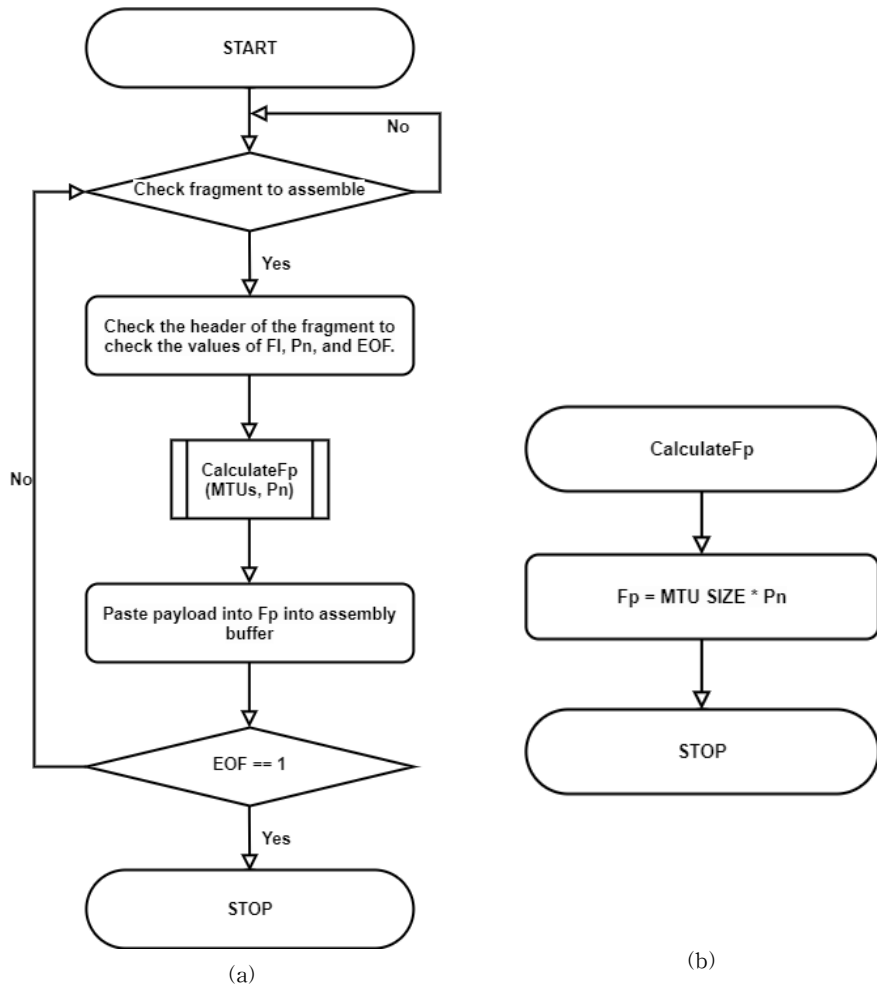


Fig. 6. Reassembly algorithm, (a) Reassembly main algorithm and (b) CalculateFp subroutine.

단편의 위치는 단편 번호와 MTU 크기를 통해 구할 수 있다. 헤더에서 읽어온 단편 번호를 단편의 Payload 길이와 곱하면 현재 단편을 붙여 넣어야 할 위치를 구할 수 있다. 그 후 조립화 버퍼의 단편을 넣어야 할 위치에 헤더를 제외한 페이로드를 붙여

넣는다. 만약 처리한 프레임의 EOF의 값이 1이라면 마지막 프레임이므로 조립화 버퍼의 마지막에 헤더를 제외한 페이로드를 붙여 넣은 후 조립화를 종료하고 상위레벨로 메시지가 도착했음을 알리고 올려 보낸다.

Table 5. Reassembly Algorithm Terms.

Symbol	Description
MTUs	MTU SIZE
Fl	Length of fragment
Pn	Number of fragments currently to be processed
eof	EOF
Fp	Location of fragment

### 7. 성능 평가

단편화 및 조립화 성능 평가는 중계기가 다양한 통신 매체들의 특성에 맞춰 단편화를 잘 진행해 낼 수 있는지와 처리 속도를 측정해 보는 것을 목적으로 한다. 성능 평가는 stm32f429zi 보드를 사용하여 진행하였으며 us 단위로 기능이 완료되는 시간을 측정하였다.



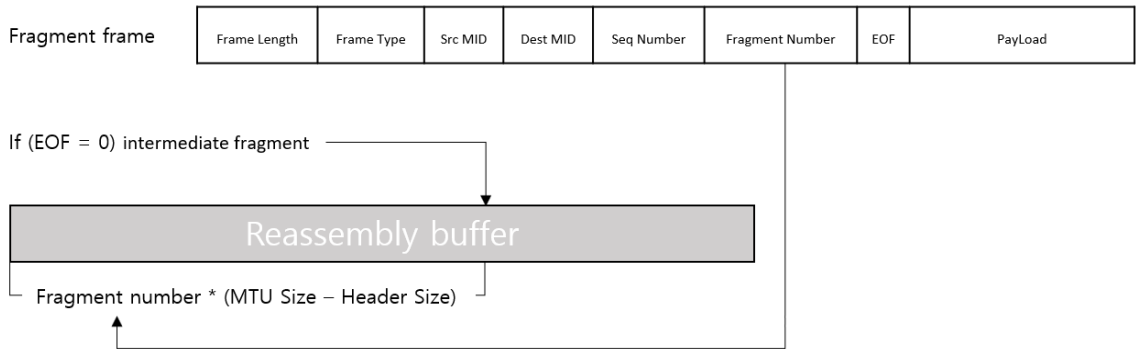


Fig. 7. The process of calculating the location of a fragment.

성능 평가를 위해 측정할 항목은 단편화와 조립화에서 단편 한 개를 처리하는 시간, 단편의 크기(MTU 크기)의 변화에 따른 처리시간을 측정하였다.

7.1 단편 한 개의 처리시간

단편화, 조립화 별로 MTU 크기에 따른 단편 한 개를 처리하는 시간을 측정하여 각각 얼마 정도의 시간이 걸리는지 측정했으며 그 결과는 Fig. 8과 같다.

실험은 단편화, 조립화 모두 4000byte의 페이로드를 처리할 때 MTU 크기를 25~1000까지 변화시키며 단편 한 개의 처리시간을 측정하였다. 그 결과 단편화와 조립화 모두 MTU 크기가 증가할수록 단편 한 개의 처리시간이 증가하는 모습을 관찰할 수 있었다. 또한, 전체적으로 단편화의 처리시간이 조립화

보다 더 오래 걸리는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 단편화의 경우 전송할 페이로드를 MTU 크기에 맞춰 자른 후 이를 Header와 결합하는 과정 등으로 단순히 수신한 단편을 버퍼에 붙여넣기만 하는 조립화에 비해 더 복잡한 과정을 가지고 있기 때문이다.

7.2 단편 크기(MTU 크기)에 따른 단편화 처리시간

단편화 시에 MTU 크기에 따라 전체 처리시간이 얼마나 차이가 나는지 측정했으며 그 결과는 Fig. 9와 같다.

실험은 200, 400, 600byte의 페이로드를 처리할 때 MTU 크기를 25~100까지 늘려가며 처리시간의 변화를 측정하였다. 실험 결과 전체 처리시간은 처리할 페이로드의 크기가 커지면 함께 증가하는 비례관계

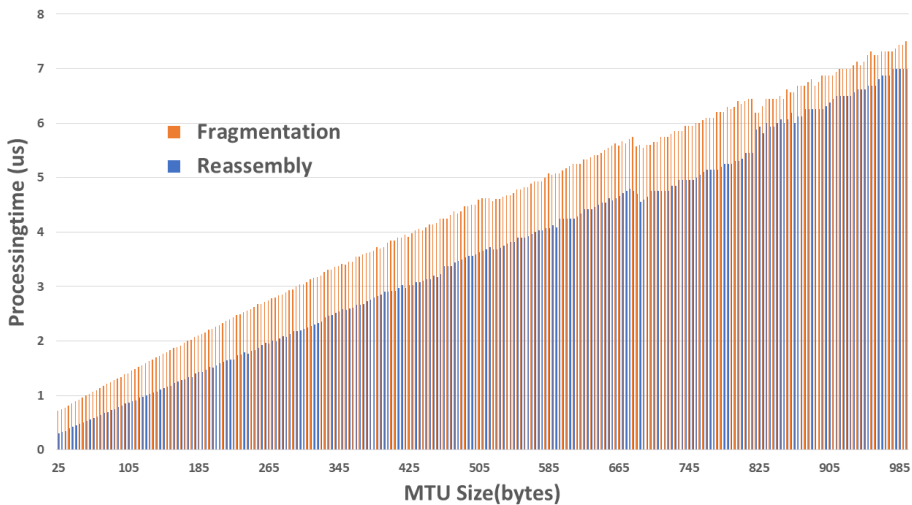


Fig. 8. Processing time for one fragment of fragmentation and assembly.

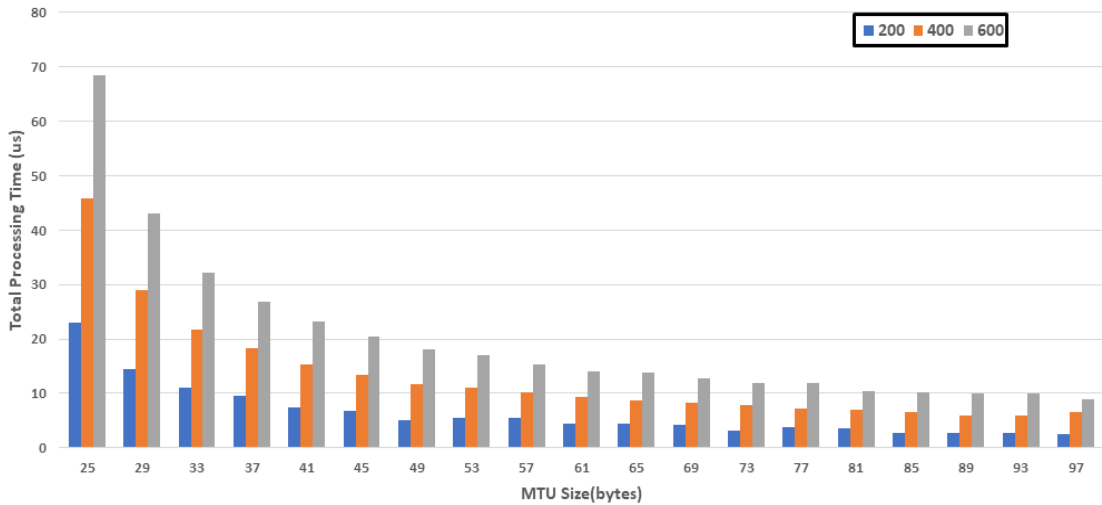


Fig. 9. Fragmentation processing time according to fragment size of fragmentation and assembly.

이며, 반대로 MTU 크기와는 반비례 관계를 가지고 있다. 특히 MTU 크기가 작아질수록 오버헤드가 급격하게 커지며, 반대로 MTU 크기가 커지면 오버헤드가 점점 작아져 점차 페이로드를 단편화하지 않고 보냈을 때의 처리시간에 가까워지는 것을 확인할 수 있다.

7.3 단편화로 인해 증가하는 오버헤드 측정

수중 통신은 지상 통신보다 훨씬 더 많은 자원을 소비한다. 이 때문에 단편화 기법을 통해 늘어나는 처리시간뿐만 아니라 헤더의 증가로 인한 증가된 오버헤드 양이 얼마나 큰지 또한 단편화 기법의 성능 평가에서 중요한 요소라고 볼 수 있다. MTU 크기와 MTU, 처리할 데이터량을 FP, 단편화 및 MAC 헤더 크기를 M과 H라고 할 때, 식 (2)와 같은 총 송신 데이터량 공식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & H + (MTU - H - M) * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil - 1) \\
 & + H + FP - (MTU - H - M) * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil - 1) \\
 & = (MTU - M) * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil - 1) + H + FP \\
 & - (MTU - M) * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil - 1) \\
 & + H * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil - 1) \\
 & = H + FP + H * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil) - H \\
 & = FP + H * (\lceil FP / (MTU - H - M) \rceil) \tag{2}
 \end{aligned}$$

Fig. 10은 MTU 크기와 보내야 할 총 데이터량에 따른 총 송신 데이터량을 보여준다.

그래프를 보면 MTU 크기가 커질수록 오버헤드

가 감소하고, 반대로 보내야 할 데이터의 총량이 증가할수록 오버헤드가 증가하는 모습을 확인할 수 있다. 이는 MTU 크기가 작을 때는 만들어야 할 단편의 개수가 급증하여 오버헤드 또한 급격하게 늘어나고, 반대로 MTU 크기가 커지면 만들어지는 단편의 개수가 적어져 오버헤드가 줄어든다고 해석할 수 있다.

8. 결 론

본 논문에서는 D. Lim and C. Kim[5]의 연구에서 개발한 다중매체 통신을 지원하는 중계기에 단편화 기법 알고리즘을 통한 흐름 제어 기능을 제시하였다. 또한, 단편화 알고리즘을 중계기에 구현하여 시뮬레이션을 통한 성능측정을 진행하였다. 이를 통해 다중매체 통신 시 서로 다른 매체별 MTU 크기를 효과적으로 호환시킬 수 있으며 성능측정을 통해 통신 시 변화되는 요인에 따라 처리시간과 오버헤드가 어떻게 관련되는지 확인하였다.

단편화와 조립화 기능의 MTU 크기, 처리할 페이로드의 크기의 변화에 따라 처리시간을 측정함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 단편화 과정이 조립화 과정보다 처리시간이 더 오래 걸린다.
- 2) 단편화 및 조립화의 처리시간은 처리할 단편의 개수에 영향을 받는다.
- 3) 단편화 과정에서 오버헤드는 MTU 크기와 반비례하며 처리할 페이로드의 크기와는 비례한다.

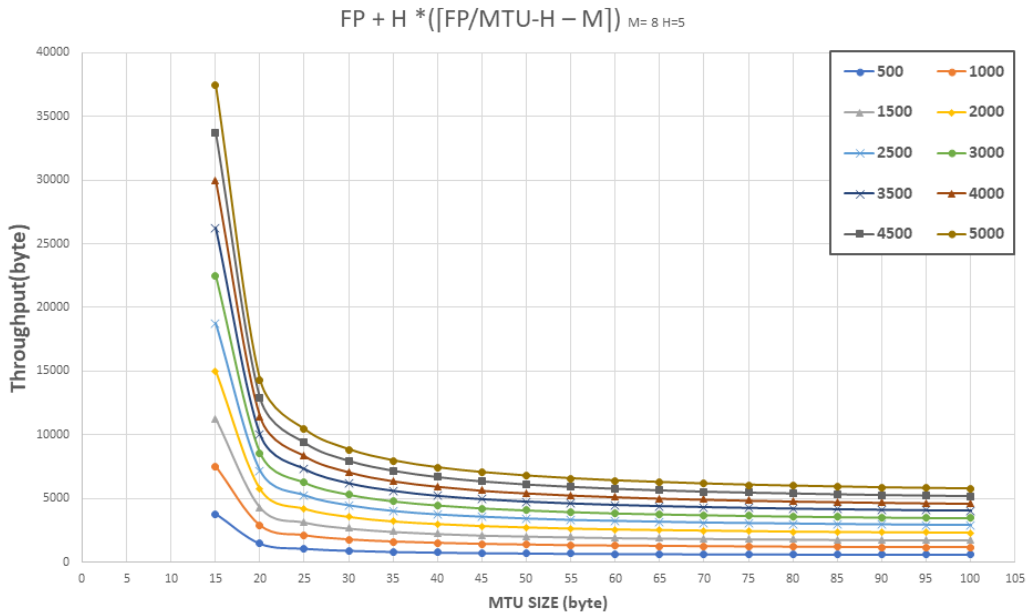


Fig. 10. Graph of the amount of outgoing data to be processed by MTU SIZE.

해당 단편화 기법을 통해 두 통신 매체 간 MTU 크기의 차이로 인해 발생하는 오류 및 지연 문제를 해결할 수 있다. 향후 연구에서는 본 연구의 단편화 기법을 적용한 가상 네트워크를 시뮬레이션하여 에너지 소모량을 측정하고 적용하지 않았을 때와 비교하여 오버헤드로 인해 발생하는 추가 에너지 소모량을 계산해보고자 한다.

REFERENCE

[ 1 ] D. Shin, S. Park, and C. Kim, "Technologies and Trends of Underwater Acoustic Communications," *The Magazine of the IEIE*, Vol. 45, No. 5, pp. 32-48, 2018.

[ 2 ] D.R.K. M., S. Yum, E. Ko, S. Shin, J. Namgung, and S. Park, "Multi-Media and Multi-Band Based Adaptation Layer Techniques for Underwater Sensor Networks," *Applied Sciences*, Vol. 9, No. 15, pp. 1-24, 2019.

[ 3 ] M. Park and V. Rodoplu, "UWAN-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Acoustic Wireless Sensor Networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 710-720, 2007.

[ 4 ] E. Ko, D.R.K. M., S. Yum, S. Shin, J. Namgung and S. Park, "Selection Mechanism for Underwater Multi-Media Communication," *Proceedings of the 2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp. 130-132, 2019.

[ 5 ] D. Lim and C. Kim, "A Study on Mediation Method in Star Network based on Multi-Media Communication," *Proceedings of the Korea information Processing Fall Conference*, pp. 140-143, 2020.

[ 6 ] D. You, D. Shin, S. Lim, S. Jeon, and C. Kim, "Implementation of a Fragmentation Method for Flow Control in Underwater Multi-media Communication," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 819-829, 2017.

[ 7 ] D. Shin and C. Kim, "A Method for Applying Multiple Wireless Communication Media to Underwater Communication," *Proceedings of the Korea Software Congress*, pp. 1334-1336, 2017.

[ 8 ] D. Shin and C. Kim, "Requirements for Underwater Communications Based on Multiple

Wireless Underwater Communication Media,” *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, pp. 621-622, 2018.

- [9] D. You and C. Kim, “Comparison Analysis of Integrated MAC Design Approaches for Multiple Media Communication in Underwater Environments,” *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 1219-1220, 2019.
- [10] D. Shin and C. Kim, “Protocol Stack for Using Multiple Wireless Communication Media in Underwater Environment,” *Proceedings of the Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences 2018*, pp. 1-6, 2018.
- [11] D. You and C. Kim, “Approaches to the Design and Modularization for Implementing Multi-media-based Underwater Communication to Use Integrated MAC,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 22, No. 11, pp. 1259-1268, 2019.



**임 동 현**

2015년~2021년 강릉원주대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
 2021년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 (석사과정)  
 관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, Embedded System



**김 승 근**

1995년 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 광주과학기술원 정보통신공학과(공학석사)  
 2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)

2002년 12월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원  
 관심분야: Underwater Acoustic Communication, System Design and Implementation, Synchronization Techniques, Channel Equalization, IoUT



**김 창 화**

1985년 고려대학교 수학교육과 (이학사)  
 1987년 고려대학교 전산학전공 (이학석사)  
 1990년 고려대학교 전산학전공 (이학박사)

1994년~1995년 University of Toronto, Enterprise Integration Lab. Post-Doc. & Visiting Professor  
 2002년~2004 미국 Texas A&M 대학 Visiting Scholar  
 1989년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수  
 2005년~현재 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템 기술연구센터 센터장  
 관심분야: Underwater Communication and Sensor Network, IoT/IoUT, Distributed System, Intelligent System