

OTN에서의 400Gb/s급 Flexible 이더넷 신호수용 위한 맵핑 기능 구현

이창기*

Implementation of Mapping Function for 400 Gigabit Flexible Ethernet Signal in OTN

Chang-Ki Lee*

요약 최근 이더넷 신호를 융통성 있게 구성하도록 하는 FlexE는 OTN을 통해 투명하게 전달하기 위하여 OTN으로 수용하는 것을 ITU-T에서 권고하고 있다. FlexE신호를 OTN 페이로드로 맵핑할 때 발생할 수 있는 비트율 차이를 보상하기 위하여 유휴 코드워드를 제거하거나 삽입하는 방법을 사용한다. 그러나 이와 같은 방법을 구현하기 위해 필요한 세부적인 기능 블록은 아직 공개되고 있지 않다. 본 논문에서는 최근 ITU-T 요구사항을 기초로 하여 400G급을 기준으로 FlexE 신호의 OTN 맵핑을 위한 세부적인 기능 블록을 살펴보았다. 또한 세부 기능 블록을 바탕으로 유휴 코드워드의 제거 및 삽입되는 발생 특성을 얻기 위하여 수학적 분석을 하였고, 이를 이용한 시뮬레이션을 결과를 보였다.

Abstract Recently, ITU-T recommends that FlexE, which allows the flexible configuration of Ethernet signals, be received by OTN for transparent transmission through OTN. To compensate for the difference in bit rate that can occur when mapping FlexE signals to OTN payload, an idle codeword is removed or inserted. However, the detailed functional blocks required to implement this method are not yet available. In this paper, based on the recent ITU-T requirements, a detailed functional block for OTN mapping of FlexE signals is proposed based on 400G class. In addition, based on the detailed functional blocks, mathematical analysis was performed to obtain the characteristics of removing and inserting idle code words, and the simulation results are shown.

Key Words : FlexE, Flexible Ethernet, IMP, ODUk, Optical Transport Network, OPUflex, OTN

1. 서론

광전달망인 OTN(Optical Transport Network) [1,2]은 동기식 전송 방식인 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)[3], FC(Fiber Channel), 이더넷 등의 다양한 종류의 클라이언트 신호들을 수용하여 고정된 프레임 길이를 가지는 페이로드에 맵핑하고, 오버헤드와 FEC를 추가한 동기식 프레임 구조로 형성하여 목적지까지 투명하게 전달하는 ITU-T에서 표준화한 광전송 방식이다. 최근 OTN의 클라이언트로 수용되는 이더넷 신호의 비트율을 그룹화를 통해서 융통성

있게 구성하여 망사용의 경제성을 확보할 수 있도록 하는 FlexE(Flexible Ethernet)[1,4,5]가 제안되었다. 이는 새로이 추가되는 200G, 400G 등 초고속 이더넷 PHY 비트율들도 이미 구축되어 있는 네트워크를 사용할 수 있도록 네트워크의 효율성을 높이기 위한 방법이다. 이와 같은 FlexE를 OTN으로 수용하기 위해서는 IMP(Idle Mapping Procedure)[1,6-8] 방법을 이용하는 것으로 ITU-T[1]에서 연구되고 있다. 이는 FlexE신호를 OPUflex(혹은 ODUflex) 페이로드로 맵핑하면서 발생할 수 있는 비트율 차이를 보상하기 위해 유휴 코드워드를 제거하거나 삽입하여 비트율을

This Paper was supported by research Fund of UIDUK University in 2018.

* Department of IT Convergence, UIDUK University

Received May 08, 2019

Revised June 11, 2019

Accepted June 13, 2019

적응하는 방법이지만 그러나 아직 기본적인 기능블록 [6,7]만 제시되고 있고, 이를 구현하기 위해 필요한 세부적인 기능 블록은 아직 공개되고 있지 않다. FlexE를 OTN으로 수용하기 위한 IMP 방법을 시스템 개발을 위한 구현 기술을 확보하려면 세부적인 기능블록에 대한 연구가 선행되어야 한다. 또한 유휴 코드워드 제거 및 삽입은 OTN 시스템 성능을 약화시킬 수 있는 지터 등이 발생할 수 있어서 이들의 발생 특성에 대한 세부적으로 제시된 연구 결과가 없기 때문에 이에 대한 수학적 분석을 통한 관련 연구가 필요하다. 국내에서는 ETRI를 중심으로 OTN에 관한 연구가 진행되어서 차세대 OTN에 대한 일반적인 ITU-T 표준화 동향 [10,11]을 분석하였고, 무선 액세스망의 ODUk 맵핑 [12], 100G신호의 OTU4 맵핑 프레임[13]기술 연구를 수행하였으나 이는 FlexE 신호를 수용하기 위한 방법 아니거나 100G신호를 FlexE를 통하지 않고 OTU4로 직접 수용하는 초기 방법으로 아직 FlexE를 OTN으로 수용하기 방법에 대한 연구는 아직 제시되지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 ITU-T에서 권고하고 있는 요구사항을 기초로 하여 400G급을 기준으로 FlexE 신호의 OTN 맵핑을 위한 세부적인 기능블록을 제시한다. 또한 제시된 기능 블록을 바탕으로 유휴 프레임의 제거 및 삽입되는 발생 특성을 얻기 위하여 수학적으로 분석하고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 보인다. 본 논문의 결과는 향후 400G급 이상의 FlexE 신호를 맵핑할 수 있는 OTN 시스템 개발과 이를 바탕으로 국산화 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

2. OTN에서의 FlexE

다양한 결합을 통한 비트율의 융통성을 가진 이더넷 신호인 FlexE(Flexible Ethernet)는 기존에 사용하고 있는 이더넷 PHY 비트율과 또는 이와 다른 비트율들을 사용하는 이더넷 MAC 신호 등을 다양하게 사용할 수 있도록 지원하기 위한 일반적인 메커니즘을 제공하는 것이다[4]. 이는 새로이 추가되는 이더넷 PHY 비트율들도 이미 구축되어 있는 네트워

크를 사용할 수 있도록 네트워크의 활용도를 높이기 위한 방법이다. 여기에는 본딩을 통해 이더넷 PHY의 비트율 보다 높거나 낮은 비트율을 채널화하여 사용하고 있다. 즉 10G, 40G, m배의 25G를 통해서 얻어지는 다양한 이더넷 MAC 비트율을 현재 사용되고 있는 네트워크로 융통성 있게 전송할 수 있도록 하는 것이다. 예를 들어 아직 PHY로 지원되지 않는 250G와 150G MAC 신호는 기존 4개의 100G PHY로 보내거나 혹은 2개의 200G PHY로 보낼 수 있기 때문에 유연성을 가질 수 있다.

OTN으로 다양한 클라이언트를 수용하는 방법은 일반적으로 고정된 비트율인 CBR(constant bitrate)[1]로 하거나 다양한 비트율을 가진 클라이언트 신호를 GFP[9] 프레임으로 수용한 다음 OTN으로 맵핑할 수 있다. 그러나 FlexE를 OTN으로 맵핑하는 방법으로 고정된 비트율을 사용하는 CBR 방법이 적합하지 않고, GFP를 사용할 경우 FlexE를 GFP로 넣은 후 다시 OTN으로 맵핑해야 하기 때문에 구조적으로 더 복잡해지기 때문에 사용하지 않거나 주로 100G 이하의 클라이언트 데이터 처리에 사용한다. 이를 대신하여 유휴 코드워드를 제거하거나 삽입하는 방법을 이용하여 FlexE신호를 수용하는 방법으로 ITU-T에서 권고하고 있다. 기존에 제시된 FlexE 클라이언트 MAC 신호를 OTN 도메인에서의 맵핑 과정은 그림 1과 같이 대체적으로 기술되어 있지만 상세하게 구현 방안은 제시되지 않았다[6,7]. 그림 1에서 FlexE 장치영역에서는 FlexE 그룹 I/F, 캘린더 그룹, PHY 다운 기능 등으로 구성된다. 각각 다양한 비트율을 가진 FlexE 클라이언트 MAC신호는 네트워크에서 많이 사용하고 있는 FlexE 그룹 신호의 비트율로 변경하기 위하여 FlexE 그룹 I/F 기능과 캘린더 그룹 기능을 수행한다. 캘린더 그룹 기능은 입력되는 FlexE 클라이언트 비트율에 맞게 5G 대역을 가진 슬롯으로 순서대로 넣은 후 20×m개의 슬롯 길이를 가진 캘린더 데이터 블록으로 다중화하게 된다. 여기서 m은 100G 단위의 FlexE를 나타낸다. PHY 다운 기능은 일반적으로 이더넷 접속에 필요한 접속 기능을 수행하고, FlexE 그룹 PHY 신호를 출력한다. OTN 장치 영역에서 FlexE

그룹 PHY 신호가 수신되면 PHY 다운 기능의 역과정인 PHY 업 기능을 통해 FlexE 그룹 신호를 추출하고, 캘린더 디그룹 기능에서 20×m개의 슬롯 길이를 가진 캘린더 데이터블록으로 다중화되어 있는 FlexE 클라이언트 신호들을 역다중화하여 FlexE 클라이언트 MAC 신호들로 변환한다. 이 신호들은 OPUflex I/F 기능을 통해 OPUflex 프레임으로 맵핑된다. OPUflex로 맵핑할 때 FlexE 클라이언트 MAC과 OPUflex 프레임과의 비트율 차이를 보상해야한다.

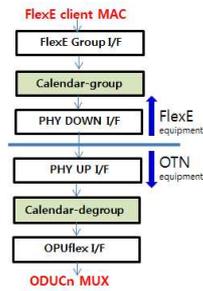


그림 1. OTN에서의 FlexE 접속
Fig. 1. FlexE interface in OTN

3. FlexE의 OTN 맵핑 기능 실현

FlexE 신호의 OTN 접속 기능을 상세하게 구현하기 위하여 제시한 기능 블록은 그림 2와 같다. 여기서 FlexE 클라이언트 MAC신호들은 400Gbps급 전송을 위하여 250G와 150G 신호를 사용하고, 캘린더 기능을 통해서 4개의 100G PHY 신호로 바꾸어서 전송하는 경우를 고려하였다. FlexE 클라이언트 MAC신호들은 64비트 단위로 나눈 후 66B 블록으로 변환하고, FlexE 그룹 신호로의 형성하기 위하여 클라이언트 클럭 도메인과 FlexE 그룹 클럭 도메인과의 비트율 차이를 보상하기 위하여 유향 블록을 삽입 혹은 제거하게 된다. 캘린더 그룹 기능은 2장에서와 같이 5G 대역 슬롯 20개의 길이를 가진 100G 캘린더 데이터 블록 4개로 다중화하게 된다. 캘린더 그룹 기능에서 나온 100G 단위의 4개의 66B 블록들은 이더넷 접속에 필요한 스크램블 기능과 PMA/PMD 기능을 수행하고, FlexE 그룹 PHY

신호를 출력한다. OTN 장치 영역에서 FlexE 그룹 PHY 신호가 수신되면 PMD/PMA 기능과 디스크램블 기능을 통해 4개의 100G FlexE 그룹 신호를 추출하고, 캘린더 디그룹 기능에서 20개의 슬롯 길이를 4개로 다중화되어 있는 FlexE 그룹 신호들을 역다중화하여 250G와 150G 비트율을 가진 FlexE 클라이언트 MAC신호의 66B 비트들을 추출한다. 추출된 66B 코드워드들은 OPUflex 맵핑 블록을 통해서 그림 3과 같이 ITU-T G.709에서 권고하고 있는 OPUflex 프레임의 페이로드로 맵핑된다. OPUflex 프레임으로 맵핑할 때 FlexE 클라이언트 MAC 비트율과의 OPUflex 프레임과의 클럭 차이를 보상하기 위해 66B 유향 코드워드를 삽입 혹은 제거해야한다.

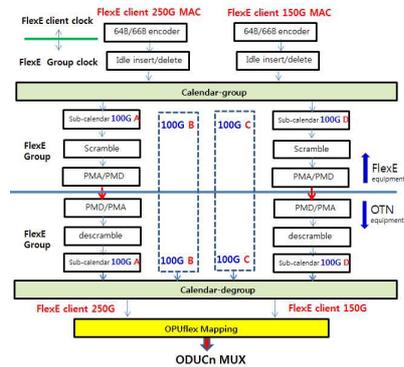


그림 2. FlexE의 OTN 접속 기능
Fig. 2. OTN interface function of FlexE

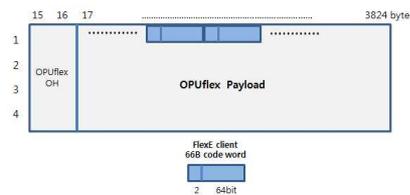


그림 3. FlexE의 OPUflex 프레임 맵핑
Fig. 3. OPUflex frame mapping of FlexE

캘린더 그룹 기능은 250G와 150G의 FlexE 클라이언트 MAC신호들을 5G 대역 슬롯 20개의 길이를 가진 100G 캘린더 데이터 블록 4개로 다중화하기 위한 세부 기능은 그림 4의 (a)와 같으며, 여기서 처

리되는 데이터와 클럭은 모두 병렬처리 기법을 사용한다. 250G FlexE 데이터를 버퍼에 쓴 다음 400G 클럭을 이용하여 만든 갭드된 250G 클럭으로 데이터를 읽어들이고, 동일한 방법으로 얻어진 150G 데이터를 합하면 400G 데이터로 만들 수 있다. 생성된 400G 데이터는 400G 클럭의 1/4로 갭드된 100G A, 100G B, 100G C와 100G D 클럭으로 버퍼에 쓴 다음 갭드된 100G클럭을 다시 듀티 50%로 재형성된 100G 클럭으로 읽으면 100G FlexE 그룹 데이터가 형성된다. 캘린더 디그룹 기능은 그림 4의 (b)와 같이 (a)의 역기능으로 각각 입력되는 4개의 100G FlexE 그룹 데이터를 버퍼에 쓴 후 동기된 400G 클럭으로 만든 갭드 100G 클럭으로 데이터를 읽어 들이고, 입력된 4개의 데이터를 20x4로 형성될 수 있도록 합하면 400G 데이터가 된다. 생성된 400G 데이터는 갭드된 250G 클럭과 150G 클럭으로 각각 버퍼에 쓴 다음 듀티 50%를 가진 동기된 250G 클럭과 150G 클럭으로 버퍼에서 출력하면 250G와 150G FlexE 클라이언트 MAC 데이터를 얻을 수 있다.

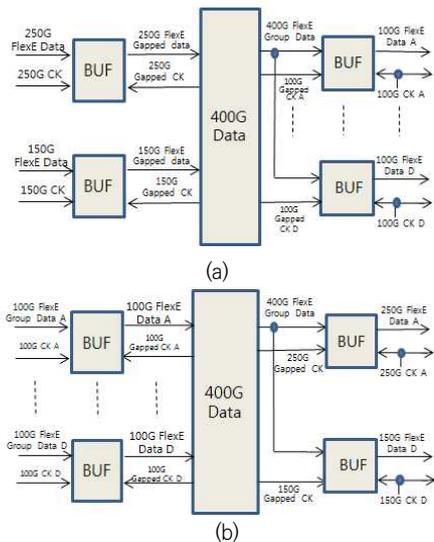


그림 4. 캘린더 그룹/디그룹 세부 기능
Fig. 4. Detail function of calendar group/degroup

캘린더 디그룹 기능에서 추출된 250G와 150G

FlexE 클라이언트 MAC신호의 66B 코드워드 데이터들은 OPUflex 프레임의 페이로드로 맵핑하기 위하여 수신되는 FlexE 클라이언트 MAC 신호의 클럭과 OTN 장치에서 사용하는 OPUflex 클럭과는 차이가 존재할 수 있다. 이와 같은 차이를 보상하기 위해서는 핵심적 기능블록인 OPUflex 맵핑 블록을 그림 5와 같이 구성해서 맵핑 과정에서 발생할 수 있는 차이를 흡수한다. 250G FlexE 신호의 66B 코드워드 데이터는 FlexE 클럭으로 파생된 쓰기 클럭에 의해 탄성버퍼에 저장하고, 읽기 클럭은 OTN 시스템 클럭 발생기에서 생성되는 OPUflex 클럭을 사용한다. 여기서 탄성 버퍼의 쓰기 클럭과 읽기 클럭의 차이가 발생하면 justification 제어를 통하여 차이를 보상한다. 쓰기 클럭이 읽기 클럭 보다 빠르면 66B 코드워드에서 유향 코드워드를 삽입하고, 반대로 쓰기 클럭이 읽기 클럭 보다 느리면 유향 코드워드를 제거하여 클럭 비트율의 차이를 맞추어준다. 보상된 66B 코드워드 데이터는 스크램블링을 거친 후 그림 3과 같이 순서대로 OPUflex 페이로드에 맵핑되고, 여기에 오버헤드를 추가하면 OPUflex 프레임이 완성되며, OPUCn 다중으로 OTN 도메인 영역으로의 전환이 완성된다.

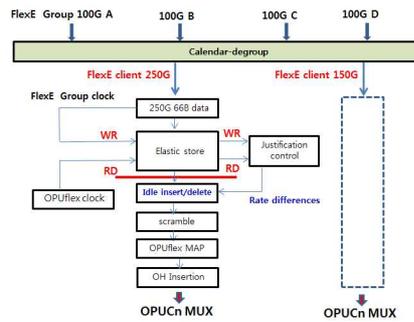


그림 5. OPUflex의 세부 맵핑 기능
Fig. 5. Detail mapping function of OPUflex

4. 유향 코드워드 발생 특성 분석

FlexE 신호를 OPUflex로 맵핑하는 과정에서 발생하는 유향 코드워드의 제거와 삽입은 메인 데이터 전송률을 약화시키거나 불필요한 데이터 처리 시간

적 낭비를 초래하고, 또한 이를 처리과정에서 지터 등이 증가할 것으로 예상되어서 OTN 시스템 성능이 저하되는 요인으로 나타날 수 있다. 이에 따른 영향을 분석하기 위해서는 일차적으로 유휴 코드워드의 제거와 삽입 발생되는 특성 분석이 필요하다. 이를 위한 이론적 수식 과정을 살펴보면 먼저 FlexE의 비트율 R_{FlexE} 는 (1)식에서와 같이 기본 이더넷 비트율 R_f 와 크기 S 의 곱으로 나타낸다. 여기서 기본 이더넷 비트율 R_f 는 5.15625Gbit/s이고, 크기 S 는 2, 8, $n \times 5$ 이며, $n \geq 1$ 이고, 비트율 허용치 P_{FlexE} 는 ± 100 ppm으로 정의하고 있다. (1)식에 따른 FlexE 비트율은 10G, 40G, 100G 등의 일반적인 이더넷 PHY 비트율과 75G, 125G, 150G, 250G 등 다양한 비트율을 가질 수 있다.

$$R_{FlexE} = (S \times R_f) \pm P_{FlexE} \quad (1)$$

OPUflex 페이로드 비트율 $R_{OPUflex}$ 은 FlexE 비트율을 OTN 프레임으로 동일하게 수용하기 위하여 ITU-T[1]에서 (2)식과 같은 비트율로 정의하고 있다. 여기서 R_f 와 크기 S 는 (1)식과 동일하고, 비트율 허용치 $P_{OPUflex}$ 는 일반적인 OTN 비트율 허용치인 ± 20 ppm과 달리 ± 100 ppm으로 정의하고 있다. FlexE 신호의 66B 코드워드가 맵핑되는 OPUflex 프레임 비트율 $R_{OPUflex}$ 는 오버헤드 R_{OH} 가 추가된 (3)식으로 표현할 수 있다.

$$R_{OPUflex} = (S \times R_f) \pm P_{OPUflex} \quad (2)$$

$$R_{OPUflex} = (S \times R_f + R_{OH}) \pm P_{OPUflex} \quad (3)$$

$R_{OPUflex}$ 은 그림 3에 따라 (4)식과 같이 OPUflex 페이로드 비트율과 오버헤드 비트율로 표현되고, $R_{OPUflex}$ 은 (5)식으로 나타낼 수 있다. 여기서 (5)식은 단순 산술적인 표현 보다 실제적 페이로드 데이터 처리위해 탄성버퍼에서 오버헤드 제외된 갭드 (Gapped) 형태로 데이터로 처리함을 의미하며, 평균적 비트율은 $R_{OPUflex}$ 와 동일하다.

$$R_{OPUflex} = R_{OPUflex} + R_{OPUflex} = R_{OPUflex} + \frac{2}{3808} R_{OPUflex} \quad (4)$$

$$R_{OPUflex} = R_{OPUflex} - R_{OPUflex} = \frac{3810}{3808} R_{OPUflex} - \frac{2}{3808} R_{OPUflex} \quad (5)$$

FlexE 신호 클럭과 OPUflex 신호 클럭과의 차이 비트율 R_{diff} 은 OTN 도메인 관점에서 볼 때 (6)식과 같이 표현할 수 있다. OPUflex와 FlexE의 차이시간값을 T_{diff} 이라하면 (7)식과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{diff} = R_{OPUflex} - R_{FlexE} \quad (6)$$

$$T_{diff} = T_{OPUflex} - T_{FlexE} = \frac{1}{R_{OPUflex}} - \frac{1}{R_{FlexE}} \quad (7)$$

66B 유휴 코드워드의 발생/제거 비율을 알기 위해서는 차이시간값 T_{diff} 와 OPUflex 시간과의 비율이 필요하다. 차이시간값 비율을 $M_{OPUflex}$ 이라하면 (8)식과 같이 쓸 수 있고, OPUflex와 FlexE 차이시간과 OPUflex 시간과의 누적 비율 $M_{OPUflex}$ 는 (9)식과 같이 쓸 수 있다. 여기서 a 는 누적 횟수이며, 1과 같거나 큰 정수이다.

$$M_{OPUflex} = \frac{T_{diff}}{T_{OPUflex}} \quad (8)$$

$$M_{OPUflex} = a \cdot \frac{T_{diff}}{T_{OPUflex}} \quad (9)$$

누적 비율 값이 OPUflex 기준으로 1비트 차이 나는 누적 횟수, 즉 $|M_{OPUflex}| \geq 1$ 이 되는 누적 횟수 a 는 (10)식으로 쓸 수 있다. 여기서 $M_{OPUflex} \geq 1$ 이면 R_{FlexE} 이 $R_{OPUflex}$ 보다 빠른 경우이고, $M_{OPUflex} \leq -1$ 이면 R_{FlexE} 이 $R_{OPUflex}$ 보다 느린 경우이다. 66B 유휴 코드워드가 삽입/제거가 요구되는 $M_{OPUflex}$ 는 ± 66 비트의 차이가 발생해야 하고, 이 때 66비트 차이가 발생하는 누적 횟수를 a_{66} 이라하면 (11)식을 통해 a_{66} 을 얻어질 수 있다. 여기서 $M_{OPUflex} \geq 66$ 이면 1개의 유휴 코드워드의 삽입, $M_{OPUflex} \leq -66$ 이면 1개의 유휴 코드워드 삭제가 필요한 경우이다. 여기서 탄성버퍼에서의 읽기/쓰기 클럭 간의 차이가 66비트를 수용할 수 있는 경우, 즉 +방향으로 66비트, -방향으로 66비트 나는 동안 오버플로우나 언더플로우가 발생하지 않는

경우를 가정한 134비트의 탄성버퍼 크기를 가진 경우를 고려하였다.

$$a \geq \left| \frac{T_{OPUflex}}{T_{diff}} \right| = \left| \frac{1}{M_{OPUflex}} \right| \quad (10)$$

$$a_{66} \geq 66 \cdot \left| \frac{T_{OPUflex}}{T_{diff}} \right| = 66 \cdot \left| \frac{1}{M_{OPUflex}} \right| \quad (11)$$

만일 탄성버퍼 크기(ES)를 134보다 크게 사용할 경우 그 만큼의 여유 값을 가지게 되는데, 추가되는 크기는 순수 클럭 차이뿐만 아니라 지터 및 클럭 잡음[14] 등을 고려하여 결정해야한다. ES 를 134비트로 사용할 경우 OPUflex에서 66B 유휴 코드워드의 삽입 및 제거가 발생하는 시간 T_{Idle} 은 (12)식과 같이 누적횟수 a_{66} 와 OPUflex 페이로드 시간 $T_{OPUflex}$ 을 곱하면 구할 수 있고, 초당 66B 유휴 코드워드 삽입/제거 발생횟수 C_{Idle} 는 (13)식과 같이 표현할 수 있다. (12)식과 (13)식을 이용하여 시뮬레이션을 수행하면 유휴 코드워드의 발생 특성을 분석할 수 있다.

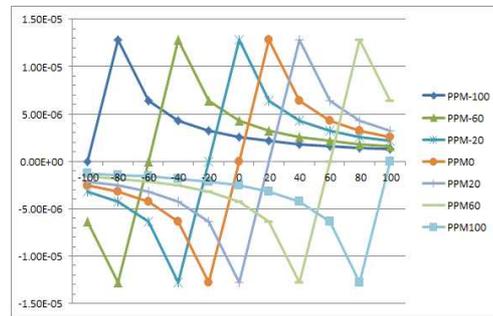
$$T_{Idle} = a_{66} \cdot T_{OPUflex} \geq 66 \cdot \left| \frac{T_{OPUflex}}{T_{diff}} \right| \cdot T_{OPUflex} \quad (12)$$

$$C_{Idle} = \frac{1}{T_{Idle}} = \frac{1}{a_{66} \cdot T_{OPUflex}} \leq \frac{|T_{diff}|}{66 \cdot (T_{OPUflex})^2} \quad (13)$$

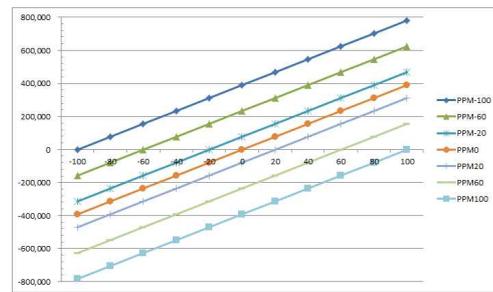
5. 시뮬레이션 결과

66B 유휴 코드워드 삽입 및 제거 발생시간 T_{Idle} 과 초당 66B 유휴 코드워드 삽입/제거 발생횟수 C_{Idle} 을 시뮬레이션을 통해 구하면 유휴 코드워드의 발생 특성을 분석할 수 있다. 250G와 150G 신호의 맵핑 과정에서 발생하는 T_{Idle} 과 C_{Idle} 를 시뮬레이션을 통해 얻은 결과는 그림 6, 그림 7과 같다. 그림 6은 250G일 때 x축인 FlexE 신호 비트율 허용치가 -100ppm에서 100ppm까지 변할 경우 그림 우측에 표시된 PPM값인 OPUflex 비트율 허용치가 -100ppm에서 100ppm까지 가변할 때의 결과이며, 그림 6의 (a)는 T_{Idle} , 그림 6의 (b)는 C_{Idle} 결과이다. 그림 6(a)에서 OPUflex 허용치와 FlexE 허용치가 각각 0ppm/ 20ppm일 때는 약 12.8 μ s마다 유

휴 코드워드의 삽입이 필요하고, 0ppm/100ppm으로 증가할 때는 약 2.56 μ s마다 삽입해야 함을 알 수 있다. 0ppm/-60ppm경우는 반대로 약 -4.26 μ s마다, 0ppm/-100ppm일 때는 약 -2.56 μ s마다 유휴 코드워드를 제거해야한다. -100ppm/100ppm일 때는 1.28 μ s마다 유휴 코드워드를 삽입해야 하고, 100ppm/-80ppm일 때는 반대로 -1.42 μ s마다 제거해야 함을 알 수 있다. 그림 6(b)에서 초당 발생횟수를 살펴보면 OPUflex와 FlexE가 허용치가 0ppm/20ppm일 때는 78,123회, 0ppm/100ppm일 때는 390,585회의 유휴 코드워드 삽입, 0ppm/-100ppm일 때는 -390,664회 유휴 코드워드 제거가 필요하다. -100ppm/100ppm일 때는 781,094회의 유휴 코드워드 삽입이 필요하고, 100ppm/-80ppm일 때는 -703,250회로 유휴 코드워드를 제거해야 함을 알 수 있다.



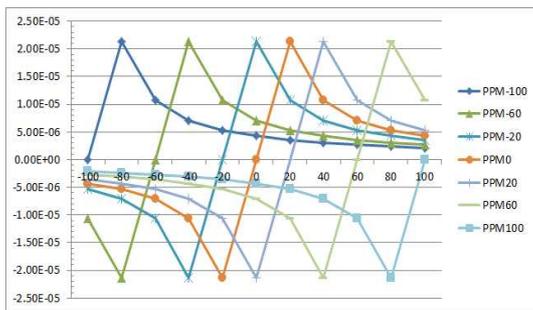
(a)



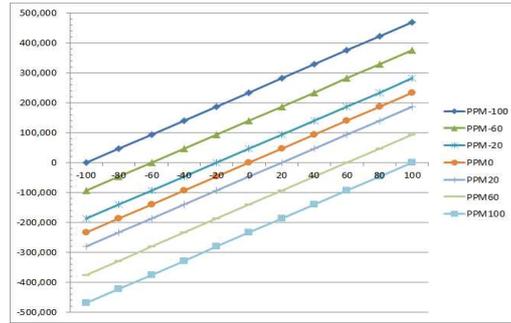
(b)

그림 6. 250G의 유휴프레임 발생시간과 발생횟수
Fig.6. Idle frame occurrence time and count of 250G

150G 신호의 비트율 허용치 변화에 따라 나타날 수 있는 T_{Idle} 과 C_{Idle} 의 결과는 그림 7에 나타내었다. FlexE 신호 비트율 허용치와 OPUflex 비트율 허용치가 각각 가변할 때 그림 7의 (a)는 T_{Idle} 의 결과이고, 그림 7의 (b)는 C_{Idle} 의 결과이다. 그림 7(a)에서 OPUflex와 FlexE 허용치가 0ppm/100ppm일 때 약 $4.26\mu s$ 마다 유휴 코드를 삽입해야하고, 0ppm/-100ppm일 때 약 $-4.26\mu s$ 마다 유휴 코드를 제거해야한다. -100ppm/100ppm일 때는 약 $2.13\mu s$ 마다 삽입, 100ppm/-80ppm일 때는 반대로 약 $-2.36\mu s$ 마다 유휴 코드를 제거해야 한다. 그림 7(b)에서 초당 발생횟수를 살펴보면 0ppm/100ppm일 때는 234,351회, -100ppm/100ppm일 경우는 크게 증가하여 468,656회로 삽입해야 한다. 0ppm/-100ppm일 때는 -234,398회, 100ppm/-80ppm일 경우는 -421,951회로 유휴 코드워드가 제거해야 함을 알 수 있다. 본 시뮬레이션 결과는 이상적인 상태에서 수식을 사용하여 얻어진 결과이며, 실제 시스템 클럭에 나타날 수 있는 잡음 성분[14] 등의 영향으로 측정된 결과와는 다소 차이가 있을 것이다. 본 논문의 결과에 클럭 잡음과 지터 등의 영향을 추가하여 후속 연구를 수행하면 실제 망에서 나타날 수 있는 좀 더 유용한 자료로 이용할 수 있을 것이다. 지금까지 여러 가지의 비트율 허용치 경우에 따른 결과는 FlexE 신호를 수용 가능한 OPUflex 시스템이나 세부 기능 설계할 때 기초 특성 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 7. 150G의 유휴 프레임 발생시간과 발생횟수

Fig.7. Idle frame occurrence time and count of 150G

6. 결론

최근 이더넷 신호를 융통성 있게 구성토록 해주는 FlexE는 OTN을 통해 투명하게 전달하기 위하여 OTN으로의 수용을 ITU-T에서 권고하고 있다. 이는 OTN으로 맵핑할 때 발생할 수 있는 비트율 차이를 보상하기 위해 유휴 코드워드를 제거하거나 삽입하여 비트율을 적응하는 방법이지만 아직 기본적인 기능블록만 제시되고 연구 중에 있다. 본 논문에서는 최근 ITU-T 요구사항을 기초로 하여 400G급을 기준으로 FlexE 신호의 OTN 맵핑을 위한 세부적인 기능 블록을 살펴보았다. 또한 세부 기능 블록을 바탕으로 유휴 코드워드의 제거 및 삽입되는 발생 특성을 얻기 위하여 수학적 분석을 하였고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 보였다. 본 논문의 결과는 향후 FlexE 신호를 수용하는 OTN 시스템 개발과 국산화 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문의 연구 과정에서 많은 조언을 주신 고제수 ETRI 책임연구원께 감사드립니다.

REFERENCES

[1] ITU-T Draft Recommendation G.709/ Y1331, "Interfaces for the Optical Transport Network(OTN)," June. 2018.

[2] ITU-T Draft Recommendation G.798, "Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks," Dec. 2017.

[3] ITU-T Recommendation G.707, "Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy(SDH)," 2007.

[4] OIF, "Flex Ethernet 2.0 Implementation Agreement," *IA OIF-FLEXE-02.0*, June 2018.

[5] ITU-T Publication, "Optical Transport Networks from TDM to Packet," 2016.

[6] S. Gorshe, "OTN Interface Standards for Rates Beyond 100Gb/s," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 36, no. 1, pp. 19-26, Jan. 2018.

[7] S. Gorshe, "A Tutorial on the New ITU-T G.709 OTN Evolution for Rates Beyond 100Gb/s," *Microsemi White Paper*, pp. 27-30, Mar., 2017.

[8] S. Gorshe, "Beyond 100G OTN interface standardization," *2017 Optical Fiber Communication Conference(OFC) proceeding*, March, 2017.

[9] ITU-T Recommendation G.7041/Y.1303, "Generic Framing Procedure(GFP)," 2016.

[10] J.S. Ko, J.W. Youn, K.J. Kim, J.H. Lee, "Next Generation OTN Technology Trend," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Information and Communication*, vol. 30, no. 7, pp. 33-40, July 2013.

[11] J.W. Youn, B.Y. Yun, H.J. Kim, T.S. Cheung, T.I. Kim, B.S. Joo, J.H. Lee, "Technology and Standardization Trends on Optical Transport Network," *ETRI Electronics and Telecommunication Trends*, vol. 30, no. 1, pp. 51-64, Feb. 2015.

[12] J.W. Youn, J.H. Kim, J.Y. Shin, K.J. Kim, "A Design and Implementation of OTU4 Framer for 100GEthernet," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 36, no. 12, pp. 1,601-1,610, Dec. 2011.

[13] J.S. Ko, J.W. Youn, B.S. Joo, J.Y. Shin, J.H.

Kim, "Mapping and Multiplexing Method of CPRI signals into ODUk Frame," *The Institute of Electronics and Information Engineers conference proceeding*, vol. 37, no. 1, pp. 1,887 -1,889, June 2014.

[14] ITU-T Recommendation G.8251, "The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN)," Nov., 2018.

저자약력

이 창 기 (Chang-Ki Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과 공학박사
- 1987년 12월 ~ 1999년 2월 : ETRI 광전송연구부 전송방식연구실 선임연구원
- 1999년 2월 ~ 현재 : 위덕대학교 IT융합학과 교수

〈관심분야〉 Optical Transport Network(OTN), Optical Transmission System, Synchronization