

## 전달 계층 프로토콜 구현 및 시험에 관한 연구

正會員 田 東 根\* 正會員 車 均 鉉\*

### Realization and Test of the Transport Layer Protocol

Dong Keun Jeon\*, Kyun Hyon Tchah\* *Regular Members*

#### 要 約

본 논문은 ISO 8073과 ADDENDUM 2 프로토콜에 의해 규정되는 CLNS위에 작용하는 전송층 레이어의 테스트와 구현을 설명하였다.

전송층 레이어의 구현을 위해, 다섯개의 모듈과 인터페이스 프리미티브가 정의되었다. 이 프로토콜은 정식으로 SDL이라 칭하고 C 언어로 프로그램되었다.

소프트웨어 검증을 위해, 프로토콜 테스터가 정의되고 테스트 시나리오가 정의되었다. 검증은 테스트 시나리오를 기초로 구현되었다.

본 논문에 나타난 전송층 레이어 소프트웨어는 약간의 변조로 실상황에서 사용되어진다. 이 논문에 나타난 프로토콜 테스터는 또한 다른 프로토콜 테스터의 검증을 위해 사용된다.

#### ABSTRACT

This thesis describes the realization and test of the transport layer operating on the CLNS (Connection Less Network Service) which is specified by ISO 8073 and ADDENDUM 2 protocol. For realization of the transport layer, five modules and interface primitives were defined. This protocol was formally described by SDL (Specification and Description Language) and was programmed in C-language. For verification of the software, protocol tester was implemented and test scenarios were defined. The verification was accomplished based on the test scenarios.

Transport Layer software presented in this thesis may be utilized in a real situation with some modifications. Protocol tester presented in this thesis can also be used for verification of other protocol softwares.

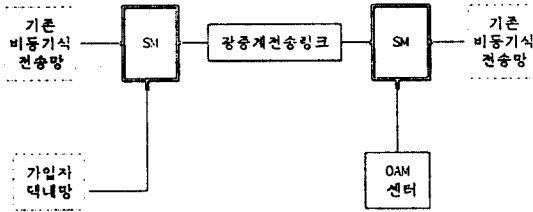
#### I. 서 론

기본 통신망을 구성하는 3대 요소중의 하나인 전송

은 지금까지 통신기술의 발전을 선도해 왔다고 해도 과언이 아니며, 현재에도 다양성, 지능성, 융통성의 실현을 목표로 지속적인 연구개발이 추진되고 있는 상태이다. 전송은 PCM 전송기술과 광섬유 통신기술의 도입으로 대용량 디지털 신호의 경제적인 전송이라는 일대 전환을 맞았으며, 앞으로 협/광대역 서비

\*高麗大學校 電子工學科  
Dept. of Electronic Eng., Korea University  
論文番號: 93-66

스의 효율적인 전송을 위해서 또 한번의 변화가 예상되고 있는바, 기존 전송체계를 지배해왔던 비동기식 전송체계로부터 동기식 전송체계로의 전환이 바로 그것이다.



SM : Synchronous Multiplexer ( 동기식 다중 장치 )

그림 1. 동기식 다중 시스템의 구성

Fig. 1. Configuration of Synchronous Multiplexer System

동기식 전송에서는 그림 1과 같이 분산되어 있는 여러개의 다중장치들을 효율적으로 관리하기 위하여 다중 장치 내의 OAM(Operation, Administration, Maintenance) 관련 정보들은 다중 장치의 DCC(Data Communication Channel) 처리 기능을 이용하여 OS(Operation System)에 전달되어 진다. 따라서 이러한 DCC 운용을 담당하는 OSI 7 Layer 통신 프로토콜의 구현이 요구된다. 이 7 Layer 프로토콜 중 하위 계층인 Layer 1, 2, 3는 많이 개발되어 왔으나 상위 계층의 프로토콜들은 FTAM(File Transfer, Access, and Management)이나 MHS(Message Handling System) 같은 데이터 통신 서비스를 통해 일부 구현되었으며 동기식 다중장치의 DCC 같은 특정 프로토콜 처리를 위해서는 아직 연구 개발이 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 동기식 디지털 계층의 DCC 처리 프로토콜 중 4 Layer로서 CLNS(Connectionless Network Service)를 지원하는 Class 4의 전달 계층을 구현하기 위하여 ISO 8073/ADD2 권고안을 중심으로 기능분석 및 구현 방안에 대해 검토하고 이를 토대로 전달 계층의 기능을 수행하는 소프트웨어를 구현하였다. 또한 구현된 프로토콜의 기능을 검증하기 위한 테스터를 구현하여 이를 시험하였다. 특히 이 테스터는 본 논문에서 구현된 전달 계층뿐만 아니라 다른 프로토콜의 검증을 위해서도 활용이 가능하도록 구현하였으며 Debugging이 용이하도록 하는 기능들을 제공하였다.

## II. 전달 계층 설계

### 2.1 전달 계층 기능 및 절차 분석

본 논문에서는 unacceptable residual error rate를 제공하는 Type C의 Network Connection?인 CLNS 상에서 동작하는 전달 계층의 구현을 의도하였으며 이를 위하여 오류 검출 및 복구(error detection and recovery) 기능을 제공할 수 있는 class 4의 전달 계층을 구현하였다. 전달계층은 손실, 중복, 순서에 맞지 않게 도착한 TPDU(Transport Protocol Data Unit)의 처리 기능을 제공함으로써 End-to-End간 신뢰성 있는 데이터를 전달하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 크게 접속 설정, 접속 해제 및 데이터 전달 과정으로 나누어 그들에게 각각 제공되어지는 기능들은 다음과 같다.<sup>[1][2]</sup>

#### 2.1.1 접속 설정(Connection Establishment)

##### 1) 접속 설정

두 TS user 사이에 새로운 전달 접속(Transport Connection)을 설정하는 기능이다. TE가 TS 사용자로부터 T\_CONNECT request를 수신한 경우 이 프리미티브의 QOS를 조사한다. 이 때 TE가 최소 수용 QOS 값보다 큰 QOS를 제공할 수 있으면 peer에 CR TPDU를 전송하고 그렇지 않으면 사용자에게 T\_DISCONNECT indication을 송신하여 접속이 설정될 수 없음을 알린다. CR TPDU를 전송한 TE가 CC TPDU를 수신한 경우에는 TS 사용자에게 T\_CONNECT confirm을 송신하고 peer에게 AK TPDU를 전송한다. 이로써 접속 설정의 과정이 완료된다. 한편 TE가 peer로부터 CR TPDU를 수신한 경우에는 TS 사용자에게 T\_CONNECT indication 프리미티브를 송신하고 T\_CONNECT response를 기다린다. T\_CONNECT response를 수신하게 되면 CC TPDU를 peer에게 전송하고 접속의 설정을 알리는 AK TPDU를 기다린다.

TE를 운용하는데 사용되는 처리량(throughput), 전송지연(transit delay), 잔여 오차율(residual error rate) 등의 QOS 및 모든 정보와 파라미터가 이러한 접속 설정 과정에서 교환, 조정된다.

##### 2) 접속 거절(Connection Refusal)

CR TPDU를 수신한 TE가 접속설정 요구를 수락치 않을 때 사용하는 기능이다. CR TPDU를 수신한 TE가 TS 사용자에게 T\_CONNECT indication을 송

신한 후 사용자로부터 T\_DISCONNECT request service의 요구를 받게 되면 수신했던 CR TPDU에 대한 응답으로 DR TPDU를 송신하여 접속의 설정요구에 대한 기절을 나타낸다.

TE가 무효 TPDU를 수신하면 ER 또는 DR TPDU를 송신하여 응답한다. CR TPDU에 대한 응답으로 ER 또는 DR TPDU를 수신한 TE는 접속이 해제된 것으로 간주한다.

### 2.1.2 접속 해제(Connection Release)

#### 1) 정상 해제(Normal Release)

하나의 전달 접속을 해제하는 기능이다. 데이터 전송 단계에서 사용자로부터 해제가 요청되면 TE는 DR TPDU를 전송하며 DR이나 DC TPDU를 수신하면 TC가 해제된 것으로 간주하고 국부 기준(local reference)을 동결시킨다.

TE가 DR TPDU를 수신하였을 경우 다음과 같이 처리한다. TE가 이미 DR TPDU를 송신하였을 경우는 해당 접속이 해제된 것으로 간주한다. TE가 CR TPDU를 송신한 후 peer로부터 CC TPDU를 수신하지 못한 경우도 시도한 접속이 해제된 것으로 간주한다. 이 밖의 경우에는 접속이 해제된 것으로 간주하고 DC TPDU를 송신한다.

#### 2) Frozen Reference

전달 접속 해제시 사용된 source reference를 일정 시간 동안 재사용치 못하게 함으로써 이미 해제된 접속으로부터 전송된 TPDU와 새로운 접속 설정에 의해 전송되는 TPDU를 구분할 수 있게끔 하는 기능이다.

#### 3) Treatment of protocol errors

invalid TPDU나 프로토콜 에러를 발생시키는 TPDU를 수신하면 ER TPDU를 송신하고 수신된 TPDU는 무시한다.

### 2.1.3 데이터 전달(Data Transfer)

#### 1) TPDU 전달

TE는 전달하고자 하는 모든 TPDU를 N\_UNIT-DATA primitive의 user data field를 통하여 송수신한다.

#### 2) 세그먼트 및 재조립(Segmenting and Reassembling)

TSDU를 TPDU로 mapping하는 기능으로 TE는 TS 사용자로부터 수신한 TSDU를 최대 TPDU 크기에 맞게 하나 또는 그 이상의 DT TPDU로 분할하여 순서대로 전송하는데 이러한 절차가 세그먼트이다. 분할된 TPDU들을 수신하는 TE는 TPDU들을 재조립하여 TS 사용자에게 TSDU를 송신한다.

#### 3) 연결 및 분리(Concatenation and Sepertion)

여러 개의 TPDU들을 하나의 NSDU에 포함시켜 전송하는 연결 기능과 이를 수신했을 시 분리시키는 기능을 가진다.

#### 4) Data TPDU 번호 부여

에러 복구(error recovery), 흐름 제어(flow control), 재순서 부여(resequencing)의 기능을 가능케 하기 위해 TPDU에 시퀀스 번호(sequence number)를 정하는 기능으로 TE는 전송되는 첫번째 DT TPDU의 TPDU\_NR 필드에 시퀀스 번호 0을 할당하고 동일 TC상으로 보내지는 연속되는 DT TPDU의 TPDU\_NR 필드에 이전 값보다 1씩 증가한 값을 계속 할당한다. DT TPDU를 재전송할 때는 TPDU\_NR 필드 값을 그 DT TPDU를 처음 전송했을 때의 TPDU-NR 값과 같게 하여 전송한다.

sequence number의 범위는 Normal format이 선택된 경우는 modulo  $2^7$  산법, 확장 format이 선택된 경우는  $2^{31}$  산법을 적용하여 계산한다.

#### 5) 시간 초과에 의한 재전송

신뢰성 있는 데이터의 전송을 위하여 NS provider가 TPDU의 손실을 감지하지 못한 경우 손실된 TPDU를 재전송하는 기능을 제공한다. TE는 응답을 기다리는 TPDU들 중 재전송 시간을 경과한 TPDU가 있는지를 검사형 그것이 발생하면 전송 window 내의 첫번째 TPDU를 재전송 시키고 타이머를 다시 구동시킨 후 응답을 기다린다. 이렇게 TPDU를 정해진 일정 횟수 만큼 전송하고 다시 타이머가 구간을 경과하면 접속 해제 절차를 수행한다.

#### 6) TPDU 확인까지의 보류

TE는 응답을 요구하는 TPDU를 전송한 후 이 TPDU에 대한 응답을 기다리는데, 전송 과정 중 전송한 TPDU 또는 이의 응답에 해당하는 TPDU가 손실(loss)됨으로써 일정한 시간 구간 동안 응답을 받지 못할 수가 있다. 이런 경우 TE는 TPDU를 재전송

해야 하는데 이러한 재전송을 위하여 처음 전송한 TPDU를 복사하여 보유하는 기능이 제공되어 진다. 재전송을 위하여 TE는 CR, CC, DR, DT TPDU를 전송할 때 이 TPDU의 복사(copy)를 보유해야한다. 단 수신한 CR TPDU에 대한 응답으로 DR TPDU를 송신할 때는 이 DR TPDU의 복사를 보유할 필요가 없다.

이러한 TPDU들의 복사는 표 1에 나타난 것과 같은 해당 응답이 수신될 때까지 또는 TC가 해제될 때까지 보유되어 진다.

표 1. TPDU 확인

Table 1. Acknowledge of TPUDs

보유되는 TPDU	다음의 확인 응답 수신시까지 보유
CR	CC, DR, ER TPDU
DR	DC, DR TPDU
CC	DT, AK TPDU
DT	DT TPDU의 TPDU_NR 보다 큰 YR_TU_NR을 가진 AK TPDU

7) 명시적 흐름 제어(Explicit Flow Control)

DT TPDU의 흐름을 제어하는 기능을 제공하기 위하여 TE는 CR이나 CC TPDU의 송신시 credit 필드에 초기 credit = 0을 할당한다. 이값은 peer TE의 UWE(Upper Window Edge) 초기값을 나타낸다. CR이나 CC TPDU를 수신한 TE는 LWE = 0, UWE = 수신된 TPDU의 credit 값으로 window를 정한다.

peer로부터 전송되는 DT TPDU의 제어를 위하여 수신측 TE는 아무때나 AK TPDU를 peer에게 전송할 수 있는데 이때 AK TPDU의 YR\_TU\_NR 필드 값은 수신된 DT TPDU의 가장 큰 sequence number + 1 보다 커서는 안된다. UWE는 수신된 CDT 값에 따라 증가 또는 감소될 수 있다.

만약 new YR\_TU\_NR > old YR\_TU\_NR이면 new LWE = new YR\_TU\_NR 이고 new UWE = new YR\_TU\_NR + new credit 이 된다.

8) 재 시퀀스(Resequencing)

NS provider로부터 순서에 맞지 않게 수신된 TPDU들을 TS 사용자로 송신하기 전에 순서에 맞게 재정렬하는 기능을 제공하는데 TE는 수신된 DT TPDU의 TPDU-NR field에 명시된 순서에 맞게 모든 DT TPDU를 TS 사용자에게 송신한다. 즉 전송

window 내에서 순서에 맞지 않게 수신된 DT TPDU는 순서에 맞게 전송 window를 채우고 난 후 TS 사용자에게 송신된다.

만약 new sequence number = old TPDU의 sequence number 이면 수신된 DT TPDU는 중복된 것이다. 중복 TPDU가 AK TPDU의 손실로 인하여 발생한 재전송인 경우에는 TE가 응답을 수신하고 중복 DT TPDU 내에 포함된 data는 무시한다. sequence number는 이전의 사용 이후 일정 시간 동안 동결되어 재사용 되지않는다. 그렇지 않은 경우 new, valid TPDU와 이미 수신하였거나 응답한 TPDU와의 혼란이 발생한다.

9) 비활동 제어(Inactivity Control)

NC의 예기치 않은 단절이나 peer의 고장에 대처하기 위해 제공되어 지는 기능으로 timer가 아무런 TPDU를 수신하지 않은 채 비활동 시간(inactivity time) 구간을 경과하면 TE는 해제 절차를 수행한다. 아무런 데이터도 보내지 않을 때 peer의 비활동 타이머가 끝남으로 하여 원치않게 접속이 해제되는 것을 방지하기 위하여 TE는 데이터가 없을 때 TPDU의 손실의 가능성을 고려하여 적당한 간격으로 peer에게 AK TPDU를 송신해야 한다.

10) 검사합계(checksum)

NS provider에 의해 발생하는 TPDU의 파손(corruption)을 검출하는 기능을 갖는다. 검사합계의 사용 여부는 접속 설정의 과정에서 결정 된다. CR TPDU에서는 항상 사용되며 접속 설정 과정에서 사용 안함이 합의 되지 않은 이상 모든 다른 TPDU에서도 사용된다.

송신 TE는 다음 법칙이 만족 되도록 검사합계 parameter set를 넣은 TPDU를 전송한다.

$$\sum_{i=1}^L a_i = 0 \text{ (modulo 255)}$$

$$\sum_{i=1}^L ia_i = 0 \text{ (modulo 255)}$$

이때 i = TPDU 내에서의 octet 번호 (즉 위치)

a<sub>i</sub> = octet 값

L = TPDU 길이

TC에서 검사 합계의 사용이 합의되었을 때 수신된

TPDU가 위의 범칙을 만족하지 않을 때는 TE는 그 TPDU를 버린다.

2.2 전달 계층 프리미티브

전달계층 프리미티브에는 TS 사용자와 전달계층 사이의 전달 서비스 프리미티브와 전달계층과 네트워크계층 사이의 네트워크 서비스 프리미티브가 있으며 또한 peer 전달계층 간에 전달되어지는 전달 프로토콜 데이터 단위가 있다. 정의된 이들 프리미티브 및 전송시의 그들의 관계에 대해 그림 2에 나타내었다.

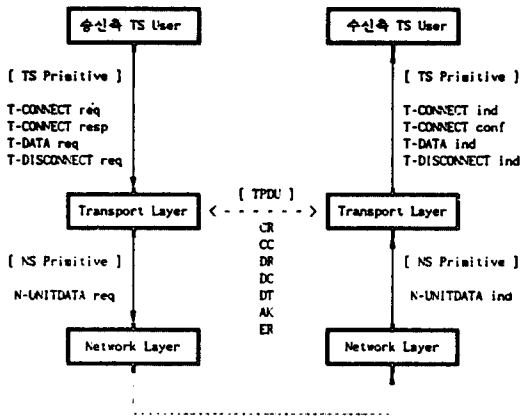


그림 2. 전달 계층 프리미티브  
Fig. 2. Transport Layer Primitives

2.2.1 전달 서비스 프리미티브<sup>[1][2]</sup>

전달 서비스 프리미티브는 전달계층이 사용자에게 제공하여 주는 서비스를 정의하여 준다. request형 프리미티브는 TS 사용자가 전달계층에 연결의 설정 및 해제 그리고 데이터 송신을 요청하기 위해 사용되고 indication형 프리미티브는 전달계층이 TS 사용자에게 이들을 수신하였음을 알릴 때 사용된다. response형 프리미티브는 연결 설정 요청을 수신한 TS 사용자가 그 요청을 수락함을 나타낼 때 사용되며 confirm형 프리미티브는 전달계층이 TS 사용자에게 이를 수신하였음을 나타낼 때 사용된다. 이들 각각의 프리미티브에 포함되는 파라미터들은 다음과 같다.

2.2.2 네트워크 서비스 프리미티브<sup>[1][2]</sup>

네트워크 서비스 프리미티브는 전달계층이 이용하는 네트워크 서비스를 정의한다. 본 논문에서 구현한 전달

표 2. 전달 서비스 프리미티브

Table 2. Transport Service Primitives

프리미티브	파라미터
T-CONNECT request indication	Called Address Calling Address Quality Of Service TS user data
T-CONNECT response confirm	Responding Address Quality Of Service TS user data
T-DATA request indication	TS user data
T-DISCONNECT request	TS user data
T-DISCONNECT indication	DISCONNECT Reason TS user data

계층은 비연결형 네트워크 서비스 상에서 동작하므로 이용하는 네트워크 서비스 프리미티브는 접속 설정이나 해제에 관계된 것들을 포함하지 않는다. request형 프리미티브는 전달계층이 네트워크 계층에 데이터 송신을 요청하기 위해 사용되고 indication형 프리미티브는 네트워크 계층이 전달계층에게 이를 수신하였음을 알릴 때 사용된다. 이들 각각의 프리미티브에 포함되는 파라미터들은 다음과 같다.

표 3. 네트워크 서비스 프리미티브

Table 3. Network Service Primitives

프리미티브	파라미터
N-UNITDATA request indication	Source Address Destination Address Quality Of Service NS user data

2.2.3 전달계층의 전달 프로토콜 데이터 단위<sup>[1][2]</sup>

전달계층에서 처리되어 상대 전달 개체(peer transport entity)간에 전달되어지는 전달 프로토콜 데이터 단위(TPDU: Transport Protocol Data Unit)는 다음의 7가지 종류가 있다.

- 1) CR TPDU: 접속 설정을 요구하기 위해 사용되는 Connect Request TPDU이다.
- 2) CC TPDU: 접속 설정 요구에 대해 이를 수락함을 나타내기 위해 사용되는 Connect Confirm TPDU이다.

- 3) DR TPDU : 접속 해제를 요구하기 위해 사용되는 Disconnect Request TPDU이다. 이는 사용자로부터 T-DISCONNECT request 프리미티브를 수신했을 때에도 생성되고 또한, 전달계층 내에서 프로토콜 에러가 발생하였거나 또는 데이터의 수신 없이 타이머가 종료 되었을 때 전달계층에 의해 생성된다.
- 4) DC TPDU : 접속 해제 요구에 대해 이를 수락함을 나타내기 위해 사용되는 Disconnect Confirm TPDU이다.
- 5) DT TPDU : 접속 설정이 완료된 후 사용자에 의해 전달된 T-DATA request 프리미티브를 처리하여 목적지로 전송하기 위해 사용되는 Data TPDU로 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 오류 탐지 및 복구, 흐름 제어, 올바른 순서의 데이터 전송 기능을 수행하기 위하여 시퀀스 번호를 나타내는 필드를 포함한다.
- 6) AK TPDU : 전송된 데이터를 제대로 수신하였음을 나타내기 위해 사용되는 Acknowledge TPDU이다. 다음에 받을 시퀀스 번호를 포함하는 필드와 송신측으로부터 받을 수 있는 DT TPDU의 갯수를 Credit 필드를 포함한다.
- 7) ER TPDU : 무효 TPDU가 수신되었을 때 송신 측에 이를 알리기 위해 사용되는 Error TPDU이다. 이들 각각의 TPDU가 포함하는 파라미터들은 다음과 같다.
- CR(LI, Code & Credit, DST-REF, SRC-REF, Class & Option, TPDU\_Size, Version\_No, Checksum, Add\_option, Ack\_time, Throughput, Residual\_error\_rate, Transit\_Delay, User\_Data)
- CC(LI, Code & Credit, DST-REF, SRC-REF, Class & Option, TPDU\_Size, Checksum, Add\_option, Ack\_time, Throughput, Residual\_error\_rate, Transit\_Delay, User\_Data)
- DR(LI, Code, DSP-REF, SRC-REF, Reason, Checksum, User-Data)
- DC(LI, Code, DST-REF, SRC-REF, Checksum, User-Data)
- DT(LI, Code, DST-REF, EOT & TPDU-NR, Checksum, User-Data)
- AK(LI, Code & Credit, DST-REF, YR-TU-NR, Checksum, Lower-Window-Edge, User-Data)
- ER(LI, Code, DST-REF, Reject\_Cause,

Invalid\_TPDU, Checksum, User-Data)

위의 TPDU에 사용된 각 파라미터들은 다음의 의미를 갖는다.

LI : Length Indication

User Data 필드와 LI 필드를 제외한 TPDU의 길이를 나타낸다.

Code : 각 TPDU의 종류를 구분해 주는 코드

Credit : AK TPDU를 받지 않고 한번에 보낼 수 있는 DT TPDU의 수를 나타내며 window와 비슷한 의미로 수신할 수 있는 버퍼의 크기에 따라 좌우되며 데이터의 송·수신 과정에 따라 크기가 수시로 변화한다.

SRC-REF : Source Reference

TPDU를 initiate하는 전달 개체에서 TC(Transport Connection)를 구분하기 위해 사용하는 reference

DST-REF : Destination Reference

접속 요구를 수신한 remote 전달 개체에서 요구된 TC를 구분하기 위해 사용하는 reference

Add\_option : Additional Option Selection

검사합계, 신속 데이터 전달 서비스의 사용 유무를 선택

Reason : TC를 해제하는 이유

EOT : End Of TSDU

1로 set되면 현재의 DT TPDU가 전체 TSDU의 끝임을 나타낸다.

TPDU-NR : 보내는 DT TPDU의 시퀀스 번호

YR-TU-NR : 다음에 받고자 하는 DT TPDU의 번호를 나타내는 시퀀스 번호

이들 프리미티브 및 TPDU의 상호 관계를 정상적인 경우에 있어 간략히 나타내면 다음 그림 3과 같다.

### 2.3 상태 및 상태 천이도

전달계층의 상태는 다음과 같은 8가지의 상태로 구성했다.<sup>[1][2]</sup>

1. REFWAIT(Waiting for frozen reference time) 상태

접속 해제가 이루어진 후 동결 참조 시간(frozen reference time)이 경과되기를 기다리는 상태이다. 아직은 지연된 TPDU가 전달될 가능성이 있는 상태이

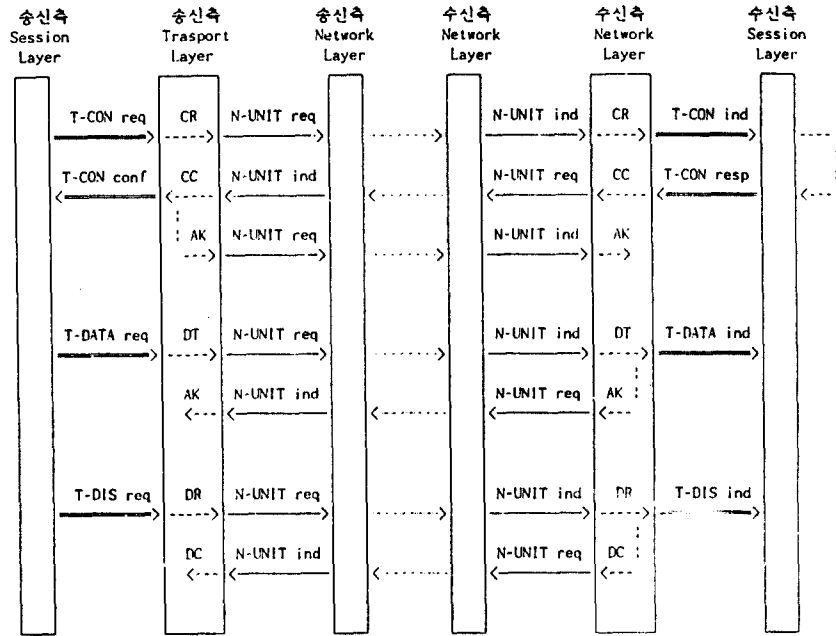


그림 3. 프리미티브 상호 관계  
Fig. 3. Relation between primitives

므로 접속에 할당되었던 reference들을 reference timer의 시간동안 재사용하지 않도록 보장해 주기 위한 상태이다. 이 상태가 지나면 전달 접속이 할당되지 않은 CLOSED 상태가 된다.

2. CLOSED(Transport connection closed) 상태 아무런 전달 접속도 할당되어 있지 않은 전달 계층의 초기 상태이다.

3. WFCC(Wait for the CC TPDU) 상태 사용자로부터 T-CONNECT request 프리미티브를 수신하여 목적지로 CR TPDU를 송신한 후 그의 CC TPDU를 기다리는 상태이다.

4. WBCL(Wait for CC before sending DR for releasing) 상태 CR TPDU를 보낸 후 CC TPDU를 기다리는 도중 사용자로부터 다시 T-DISCONNECT request 프리미티브를 수신했을 때 peer에게 DR TPDU를 보내기 전 혼란을 피하기 위해 CC TPDU를 기다리는 상태이다. 이 상태에서 CC TPDU를 수신하게 되면 DR TPDU를 송신하며 접속 해제 단계로 천이하게 된다.

5. OPEN(Transport connection is open) 상태 접속 설정이 완료된 후 실제로 데이터의 전송이 이루어지는 상태이다.

어지는 상태이다.

6. WFTRESP(Wait for T-CONNECT response) 상태

전달 계층이 peer로부터 CR TPDU를 수신하여 이를 T-CONNECT indication 프리미티브를 사용하여 사용자에게 송신한 후 사용자가 접속 설정을 수락하는 T-CONNECT response 프리미티브를 전송하기를 기다리는 상태이다.

7. AKWAIT(Waiting for acknowledgement of CC TPDU) 상태

사용자로부터 T-CONNECT response 프리미티브를 수신하여 peer에게 CC TPDU를 송신한 후 이에 대한 확인 AK TPDU를 기다리는 상태이다. 이 상태에서 AK TPDU를 수신하게 되면 접속 설정이 완료되며 OPEN 상태로 천이하게 된다.

8. CLOSING(Release in progress) 상태

접속 해제가 이루어지는 상태이다. DC TPDU를 수신하여 접속 해제가 완료되면 REFWAIT 상태로의 천이가 이루어져 해제된 접속에 할당되었던 reference들을 일정 시간 동안 재사용치 않음으로써 혼란을 방지한다.

이렇게 구성이 된 8가지 상태에 대한 상태 천이도를 그림 4에 나타내었다.

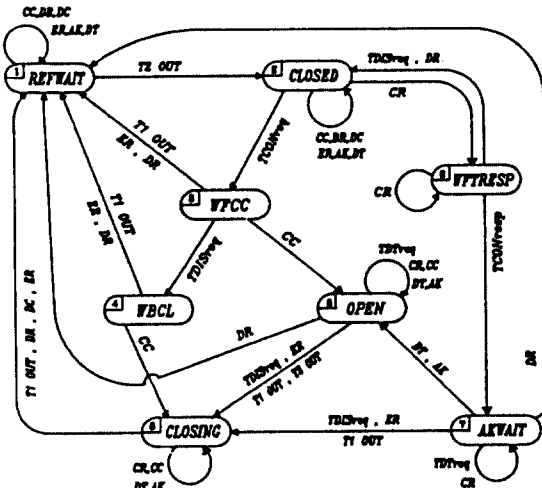


그림 4. 상태 천이도  
Fig. 4. State transition diagram

### Ⅲ. 소프트웨어 구현

이제껏 서술한 전달 계층의 기능, 프리미티브, 타이머, 상태천이에 대한 분석 및 설계에 의해 실제로 C언어를 이용, 본 논문에서 구현된 전체 소프트웨어 구조는 그림 5와 같다.

그림에서 볼 수 있듯이 구현된 전달계층은 크게 입력 데이터를 처리하는 입력 처리 루틴, TS 사용자로부터 전송된 데이터를 처리하는 L5 PROCESS, 네트워크 계층으로부터 전송된 데이터를 처리하는 L3 PROCESS, 전달계층에 의해 송신이 결정된 TPDU 또는 프리미티브를 생성하여 목적지로 전송하는 출력 기능을 담당하는 SEND PROCESS, 그리고 타이머 종료시의 동작을 수행하는 TIMER EXPIRED PROCESS의 5개의 모듈로 구성되어 있다.

입력 처리 루틴에서는 입력되는 데이터가 어느 곳으로부터 전송된 데이터인지를 구분한다. 그리하여 TS 사용자로부터 전송된 것이면 L5 PROCESS에, 네트워크로부터 전송된 것이면 L3 PROCESS에 해당 데이터를 전송한다. 이 과정을 통해 TS 사용자로부터 전송 데이터가 L5 PROCESS에 전송 되었다면

L5 PROCESS에서는 입력 종류에 따라 출력되어야 하는 데이터와 Set 되어야 하는 타이머의 종류를 결정하는 동작을 행한다. 전송될 데이터의 종류 및 그 목적지가 결정되면 SEND PROCESS 내에 포함된 여러 SEND 루틴 중 하나에 의해서 해당 목적지로 생성된 데이터를 전송한다. 이러한 과정을 행하는 중 Set되었던 타이머가 종료되면 TIMER EXPIRED PROCESS를 불러 종료시의 해당 동작을 행하게끔 되어 있다. 데이터가 네트워크 계층으로부터 전달되었을 경우 마찬가지로 L3 PROCESS로 데이터가 전송되어 같은 과정을 통하여 해당 동작을 수행하게끔 되어 있다.

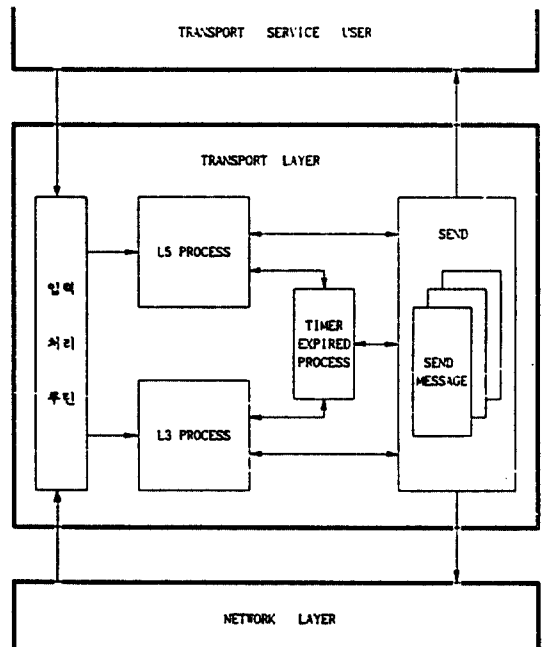


그림 5. 구현된 전달 계층의 소프트웨어 구조  
Fig. 5. Software structure of implemented transport layer

지금까지 설명한 테스트 항목을 테스트하기 위한 전체 흐름도는 그림 6.과 같다.

그림 7은 테스트하기 위한 소프트웨어이다.



#### IV. 실험 및 결과

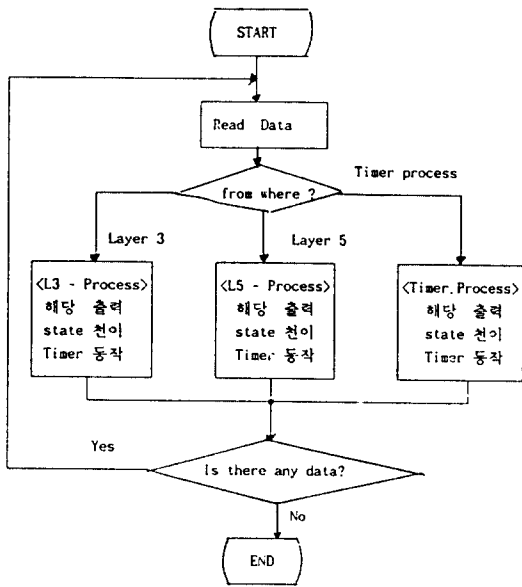


그림 6. 테스트를 하기 위한 전체 흐름도  
Fig. 6. The entire flow chart for testing

```

SEND_MSG sbox = 01 dbox = 00 length = 18
Message Display
01 00 64 00 01 04 00 02 80 04 00 02 60 03 06 64 01 80 01 e0
01 80 01 e0
-----
L4 < == L5 : THIS STATE IS 2
-Receive TCONreq primitive
Received TCONreq is acceptable. So Send CR TPDU
Try to Send CR TPDU
set_timer
T_ENQ TTYPE=1, TVALUE=10
Send_CR terminated
NOW STATE IS 3

Trace more ?

SEND_MSG sbox = 00 dbox = 02 length = 2e
Message Display
01 2c 01 00 64 00 01 40 c0 01 07 c4 01 01 c3 02 00 00 c6 01
02 85 08 04 00 02 80 04 00 02 60 84 03 03 06 64 87 08 01 80
01 e0 01 80 01 e0
-----
L3_MAIN> msg from layer 4

Trace more ?
02 00 2b 00 02 29 d3 00 01 00 64 4e c0 01 07 c3 02 00 00 c6 01 02 85
04 00 02 80 04 00 02 60 84 03 03 06 64 87 08 01 e0 01 80 01 e0

SEND_MSG sbox = 02 dbox = 00 length = 2b
Message Display
02 29 d3 00 01 00 64 4e c0 01 07 c3 02 00 00 c6 01 02 85 08
04 00 02 80 04 00 02 60 84 03 03 06 64 87 08 01 80 01 e0 01
80 01 e0
    
```

그림 7. 테스트 소프트웨어  
Fig. 7. Test software

#### 4.1 테스트 시나리오

구현된 전달 계층을 시험하기 위한 실험 환경 및 절차는 3.2절에서 설명된 바와 같다.

국부 테스트 방법을 이용한 시험을 위해서는 우선 테스트 시나리오가 입력된 입력 화일이 필요하다. 입력 화일에는 모든 전달 계층의 기능을 테스트할 수 있도록 가능한 모든 사용자로부터의 프리미티브와 네트워크 계층으로부터의 프리미티브가 수록되어 있어야 한다. 테스트 시나리오는 권고안과 본 논문에서 구현한 전달 계층의 알고리즘 및 SDL(Specification and Description Language)을 중심으로 하여 시험 사항을 도출하여 작성하였다. 특히 입력 조건과 출력 조건을 조사하여 가능하면 먼저 행해진 시험의 결과가 다음에 행해질 시험의 조건의 되도록 시험 순서를 결정하여 최소의 시험으로 최대의 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

시험되어야 하는 테스트 항목들은 크게 전달 접속 설정 시에 수행되어야 할 기능들에 대한 것과 데이터 전송시에 수행되어야 할 기능들, 그리고 접속 해제와 관련되는 기능들에 대한 것으로 구성된다.

#### 4.1.1 접속 설정 기능에 대한 테스트 항목

접속 설정 및 그의 거절과 관계된 기능에 대한 테스트가 필요하다. 이를 위하여 사용자로부터 접속 설정 요구에 해당하는 프리미티브를 수신하였을 경우 해당 메시지를 출력시키는가, 또한 peer로부터 접속 설정 요구 TPDU를 수신했을 경우 올바른 메시지를 출력시키는가에 대한 테스트를 행하며 이로 인해 접속 설정의 기능이 올바르게 수행되는지를 테스트한다. 한편 접속 설정 요구를 수락할 수 없을 때 이를 거절하는 기능도 올바르게 수행되는지 테스트되어야 한다.

#### 4.1.2 데이터 전달 기능에 대한 테스트 항목

데이터를 송신할 때와 수신할 때에 관계되는 기능들에 대한 테스트가 필요하다. 우선 송신시의 기능에 대한 테스트를 위하여 사용자로부터 전송된 TSDU (Transport Service Data Unit)를 최대 TPDU의 크기에 맞도록 여러개의 TPDU로 세그먼트하여 전송하는 기능이 제공되는 지를 테스트해야 한다. 또한 손실된 TPDU를 검출하여 이를 처리하기 위하여 재전송 타이머가 종료되었을시 재전송이 제대로 이루어

어 지는지를 테스트하여야 한다. 한편 수신시의 기능에 대한 테스트도 행해져야 한다. 재전송으로 인해 중복되게 도착한 TPDU에 대한 처리가 제대로 이루어 지는지 또, 전송시의 각기 다른 지연으로 인해 순서에 맞지 않게 도착한 TPDU들에 대한 처리가 제대로 이루어 지는지, 또 무효 TPDU의 처리가 제대로 이루어 지는지를 검시한다. 또한 검사합계 필드를 이용하여 전송시 발생할지도 모르는 TPDU의 오류를 검출하여 이를 처리하는 기능이 제대로 수행되는지를 검사한다.

**4.1.3 접속 해제 기능에 대한 테스트 항목**

접속 해제를 위한 기능에 대한 테스트가 필요하다. 사용자에게 의해 요구된 접속 해제 요구 프리미티브에 의해 수행되는 정상 접속 해제에 대한 처리가 제대로 이루어 지는지를 테스트한다. 또한 여러 경우의 비정상 접속 해제에 대한 테스트가 수행되어야 한다. 우선 최대 전송 횟수 만큼의 전송이 이루어진 후에도 해당 응답을 수신치 못했을 때 이루어지는 접속 해제 기능, 아무런 TPDU도 수신치 못한 채 비활동 시간이 경과했을 경우 이루어지는 접속 해제 기능 및 프로토콜 오류에 의해 수행되는 각종 비정상 해제 기능이 제대로 수행되는지를 테스트 해야 한다.

**4.2 테스트 결과**

전달 계층은 초기에 CLOSED 상태에서 구동이 시작되어 수신된 입력 프리미티브 또는 TPDU에 따라

해당 출력 메시지를 목적지에 전달하고 관련 타이머를 구동, 또는 정지시키며 상태를 천이시키는 동작을 행하게 된다. 따라서 테스트에서는 입력 메시지의 종류에 따라 권고안에서 권고된 내용과 동일한 출력이 행해지는가, 해당 타이머에 대한 동작이 올바르게 행해지는가, 또 상태 천이가 올바르게 이루어지는가를 시험하였다. 테스트 수행 과정에서 권고안과 다른 출력을 얻으므로써 오류가 발생한 경우 이에 대해 잘못된 부분을 진단하여 프로그램을 수정하였다. 수정 후 다시 테스트를 수행하여 입력 시나리오 화일의 모든 입력에 대한 수행이 끝날 때까지 이를 반복하였다. 그 결과 구현된 전달 계층이 ISO-8073 / ADD2의 프로토콜과 일치하여 동작함을 확인하였다.

접속 설정, 데이터 전달 및 접속 해제 과정의 각 기능들에 대해 앞절에서 기술했던 시험 사항들을 테스트한 결과는 다음과 같다.

**4.2.1 접속 설정 기능 테스트**

- (1) 접속 설정 처리 기능에 대한 테스트
  - ① TS User로부터 접속 설정 요구를 수신한 경우
  - ② peer로부터 접속 설정 요구를 수신한 경우
- (2) 접속 거절 처리 기능에 대한 테스트
  - ① TS User로부터 시작된 접속 설정 요구를 거절하는 경우
    - 가. TS User의 T-CONreq를 수락할 수 없을 경우
    - 나. CR TPDU 송신 후 DR TPDU를 수신한

표 3. 접속 설정 기능 테스트 결과

Table 3. Result of connection establishment function test

시험사항		초기상태 및 입력	출력, Timer 동작, 상태천이
접속 설정 처리 기능	①	S2에서 acceptable TCONreq	CR 출력, T1 set, S3임을 확인
		S3에서 acceptable CC	T1 stop, T3 set, AK 출력, TCONconf 출력, S5임을 확인
접속 거절 처리 기능	②	S2에서 acceptable CR	TCONind 출력, S6임을 확인
		S6에서 TCONresp S7에서 AK 또는 DT	T1 set, CC 출력, S7임을 확인 T3 set, S5임을 확인
접속 거절 처리 기능	①	가 S2에서 unacceptable TCONreq	TDISind 출력, S2임을 확인
		나 S3에서 DR, S1에서 T2 time out	DC 출력, TDISind 출력, T2 set S1임을 확인, S2임을 확인
		다 S2에서 unacceptable CC, S8에서 DC, S1에서 T2 time out	T1 stop, T1 set, DR 출력, TDISind 출력, S8임을 확인, T2 set, S1임을 확인, S2임을 확인
		라 S3에서 ER, S1에서 T2 time out	TDISind 출력, T2 set, S1임을 확인, S2임을 확인
접속 거절 처리 기능	②	가 S2에서 unacceptable CR	DR 출력, S2임을 확인
		나 S2에서 acceptable CR S6에서 TDISreq	TCONind 출력, S6임을 확인, DR 출력, S2임을 확인

- 경우  
 다. CR TPDU 송신 후 unacceptable CC TPDU를 수신한 경우  
 라. CR TPDU 송신 후 오류 TPDU를 수신한 경우  
 ② peer로부터의 접속 설정 요구를 거절하는 기능에 대한 테스트  
 가. 수신한 CR TPDU가 unacceptable인 경우  
 나. CR TPDU를 수신하여 T-CONind을 User에게 송신한 후 이에 대한 응답으로 User로부터 TDISreq를 수신한 경우

이들 기능을 시험하기 위한 입력 시나리오의 입력 사항 및 그에 대한 출력 결과는 표 3과 같다.

4.2.2 데이터 전달 기능 테스트

(1) 데이터 송신시 처리 기능에 대한 테스트

- ① 세그먼트 기능  
 TSDU(Transport Service Data Unit) Size > 최대 TPDU Size-header인 경우 전체 TSDU octet를 (최대 TPDU Size-header) octet 만큼씩 나누어 올바르게 전송하는지 테스트  
 ② DT TPDU 순서 부여 기능  
 세그먼트로 나뉘어진 각 DT TPDU에 0부터 순서적으로 시퀀스 번호를 할당하여 전송하는지 테스트  
 ③ AK 수신시 해당 DT TPDU 전송 기능  
 전송된 AK TPDU의 YR\_TU\_NR 필드의 시퀀스 번호부터 시작하여 Credit 필드의 값만

- 크의 DT TPDU를 올바르게 전송하는지 테스트  
 ④ 시간 초과시 재전송 기능  
 재전송 타이머가 Time Out 되었을 때 전송한 DT TPDU중 AK를 받지 못한 첫번째 DT TPDU를 재전송하는지 테스트  
 (2) 데이터 수신시 처리 기능에 대한 테스트  
 ① 재조립 기능  
 EOT(End Of TSDU) 필드가 set된 DT TPDU를 수신했을 때 이제까지 전송된 DT TPDU를 순서대로 결합하여 TDTind 프리미티브를 사용자에게 전송하는지 테스트  
 ② 수신된 DT TPDU에 대해 적절한 AK를 송신하는 흐름 제어 기능  
 DT TPDU 수신시 마다 Credit를 하나씩 감소시키고 Credit가 0가 되었을 때 이를 알리는 AK TPDU를 보내거나 또는 수신된 DT TPDU들을 사용자에게 전송한 후 증가된 Credit를 포함하는 AK TPDU를 전송하는지, 또한, 전송 중 손실된 DT TPDU가 발생했을 때 YR\_TU\_NR 필드에 이 손실된 DT TPDU 번호를 알리는 AK TPDU를 올바르게 전송하는지 테스트  
 ③ 재전송으로 인한 중복 TPDU의 무시 기능  
 수신측에서 다음으로 받고자 하는 DT TPDU의 시퀀스 번호보다 작은 시퀀스 번호를 가진 DT TPDU를 수신했을 경우 이 DT TPDU는 이미 수신한 TPDU이므로 이를 무시하는지 테스트  
 ④ 재시퀀스 기능

표 4. 데이터 전달 기능 테스트 결과

Table 4. Result of data transmission function test

시험사항	초기상태 및 입력	출력, Timer 동작, 상태천이
데이터 송신시 처리 기능	① S5에서 TDTrq	Seq.No = 0 부터 순서적으로 초기 Credit 만큼의 DT 출력, T1 set, S5임을 확인
	② S7에서 TDTrq	요구를 일단 저장(AK 수신 후 S5가 되며 DT 전달), S7임을 확인
	③ S5에서 AK	AK의 YR_TU_NR 필드값의 Seq.No부터 Credit 필드값 만큼의 DT 출력, T1 set, S5임을 확인
	④ S5에서 T1 Time out	최근에 수신했던 AK의 YR_TU_NR 값의 Seq.No를 가지는 DT 출력, T1 set, S5임을 확인
데이터	① S5에서 EOT가 set된 DT	이제까지 전송된 DT를 순서대로 결합하여 TDTind 출력, AK 출력 T3 set, S5임을 확인
	④ S5, cdt > 1 에서 DT	credit 감소, T3 set, S5임을 확인

재조립시 시퀀스 번호 순서대로 결합하여 사용자에게 전달하는지 테스트

⑤ 손상된 TPDU 검출 및 처리 기능

검사합계 기준을 만족하지 않는 TPDU가 전송되었을 때 이는 전송 도중 TPDU 내 데이터에 손상이 발생한 것이므로 이를 무시하는지 테스트

이들 기능을 시험하기 위한 입력 시나리오의 입력 사항 및 그에 대한 출력 결과는 표 4와 같다.

V. 결 론

본 논문에서는 동기식 다중 장치 내의 OAM 정보 교환을 위한 DCC 운용을 담당하는 CLNS 상에서 동작하는 Class 4의 전달 계층 구현을 위하여 우선 ISO 8073 및 ADDENDUM 2의 권고안을 중심으로 필요한 기능과 절차를 분석하고 전달 계층과의 서비스 인터페이스인 프리미티브에 대한 파라미터 규정과 함께 포맷을 확정하였다. 또한 전달 계층 내부에서 처리되는 TPDU의 포맷을 확정하고 이들 프리미티브 간의 대응 관계 및 변화 관계를 규정하였다. 또한 해당 타이머를 정의하였으며 상태 및 전송 알고리즘에 의한 상태 천이도의 설계 및 SDL을 작성, 이를 토대로 전체 소프트웨어 구조 및 데이터 구조의 설계 과정을 거쳐 범용 언어인 C로 프로토콜 소프트웨어를 구현하였다.

또한 구현된 프로토콜의 검증은 위하여 테스터를 구현하고 SDL을 토대로 모든 가능한 입력 테스트 시나리오를 작성해 이를 시험함으로써 권고안에서 제시된 프로토콜의 동작을 확인하였다. 특히 본 연구에서 구현된 테스터 프로그램은 테스트 시나리오를 한 단계씩 시험할 수 있어 오류 발생시 이의 발생 부분을 쉽게 찾을 수 있어 프로그램의 수정이 용이하며 single task로 간단하게 PC상에서 테스트가 가능하도록 사용자 요구에 의한 타이머 관리 기능을 추가하여 debugging의 편의를 제공하였다.

본 논문에서 구현된 전달계층 소프트웨어는 타이머 기능, 메모리 관리 기능, 메시지 송수신 포맷 부분을 target machine인 동기식 다중 장치에서 사용하는 OS의 System Call에 적합하게 일부 수정함으로써 실질적인 네트워크 환경에 적용될 수 있을 것으로 기대되며 또한 본 논문에서 구현된 프로토콜 검증용 테스터는 debugging 시의 여러 편의를 제공할 수 있

도록 설계 되었으며 다른 프로토콜의 검증을 위해서도 사용이 가능하도록 구현되었으므로 타이머 기능, 메모리 관리 기능, 메일 박스 형태의 메시지 송수신 포맷을 구현된 테스터의 포맷에 맞게 일부 수정하면 전달 계층뿐만이 아닌 다른 검증용 위해서도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. ISO 8073, Information processing systems-Open Systems Interconnection-Connection oriented transport protocol specification, 1988.
2. ISO 8073 ADDENDUM2, Information processing systems-Open Systems Interconnection-Connection oriented transport protocol specification:Class 4 operation over connectionless network service, 1988.
3. ISO 8072, Information processing systems-Open Systems Interconnection-Transport service definition, 1986.
4. CCITT Blue recommendation X.224, Transport Protocol Specification For Open Systems Interconnection For CCITT Applications, 1988.
5. 김춘희, 동기식 NE용 Network 레이어 기능규격, 한국 전자 통신 연구소, 1991.
6. 차균현 외 4명, 멀티 프로세서간 통신 방식에 관한 연구, 고려대학교 정보통신기술 공동연구소 연구 보고서, 1991.7.
7. 김재근 외 6명, 155Mbps급 동기식 다중 기술 개발, 한국 전자 통신연구소 연구보고서 1990.12.
8. Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice Hall, 1989.
9. William Stallings, Data and computer communications, Macmillan, 1988.

田 東 根(Dong Keun Jeon)

正會員

1962年 8月 7日生

1986年：高麗大 電子工學科 卒業

1988年：高麗大 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)

1988年～現在：高麗大 大學院 電子工學科 博士課程



車 均 鉉(Kyun Hyon Tchah) 正會員

1939年 3月 26日生

1965年：서울大學校 工學士

1967年：美國 일리노이大學校 工學  
碩士 學位取得

1976年：서울大學校 工學博士 學位  
取得

1977年～現在：高麗大學校 工科大  
學 電波工學科 教授

※主關心分野：CAD 및 通信시스템 等