사설 PSTN에서 2W 전화 신호의 이더넷 변환 프로토콜

신진범^{*,1)} · 조길석¹⁾ · 이동관¹⁾ · 김태현¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제1기술연구본부

A Conversion Protocol for 2W Telephone Signal over Ethernet in a Private PSTN

JinBeom Shin^{*,1)} · KilSeok Cho¹⁾ · DongGwan Lee¹⁾ · TaeHyon Kim¹⁾

¹⁾ *The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 24 June 2021 / Revised 13 September 2021 / Accepted 30 September 2021)

Abstract

In this paper, we proposed a protocol to convert 2W telephone analog signals to Ethernet data in a private PSTN 2W tactical voice system. There are several kinds of operational problems in the tactical telephone network where 2W telephone copper lines are installed hundreds of meters away from the PBX in a headquarter site. The reason is that it is difficult to install and maintain the 2W telephone copper cable in severe operational fields and to meet safety and stability operational requirements of the telephone line under lighting and electromagnetic environments. In order to solve these challenging demands, we proposed an efficient method that the 2W analog interface signals between a private PBX system and a 2W telephone is converted to Ethernet messages using the optical Ethernet data communication network already deployed in the tactical weapon system. Thus, it is not necessary to install an additional optic cable for the ethernet telephone line and to maintain the private PSTN 2W telephone network. Also it provides safe and secure telecommunication operation under lightning and electromagnetic environments.

This paper presents the conversion protocol from 2W telephone signals over Ethernet interface between PBX systems and 2W telephones, the mutual exchange protocol of ethernet messages between two converters, and the rule to process analog signal interface. Finally, we demonstrate that the proposed technique can provide a feasible solution in the tactical weapon system by analyzing its performance and experimental results such as the bandwidth of 2W telephone ethernet network and the transmission latency of voice signal, and the stability of optic ethernet voice network along with the ethernet data network.

Key Words : 2W Telephone(2선 전화기), 2W Over Ethernet(2W 신호의 이더넷 변환), PSTN(Public Switched Telephone Network, 공중 교환 전화망), PBX(Private Branch Exchange, 사설 음성교환기), VoIP(Voice of IP 음성 인터넷)

* Corresponding author, E-mail: jinbumshin@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

2Wire(이선식, 이하 2W라고 함) 유선 PSTN(Public Switching Telephone Network) 전술 음성망이 Fig. 1과 같이 광 이더넷 데이터 망과 별도로 분리되어 운용되는 경우, PBX(Private Branch Exchange) Site에서 원거리로 이격된 유선 2W 전화기 회선은 야지 전투 환경에서 설치/분리에 시간이 소요되고, 낙뢰나 전자파 환경에서 유선 계통의 보호를 위해 사용에 제한이 있다. Fig. 2와 같이 Site A/B PBX와 외부 2W 전화기 구간에 2W-이더넷(2W Over Ethernet) 변환장치를 사용하면, 기존 광 이더넷 데이터 망에 통합된 전술 음성망의 운용이 가능하다. 그러므로 별도 음성 케이블의 설치와 분리가 필요 없으므로 음성망의 유지보수가 용이해지며, 낙뢰나 전자파 환경 영향성도 없어지고, 정보 보안 측면에서도 안전성이 보장되는 장점이 있다. 기존 데이터 망에서 이더넷스위치와 광변환기를 사용하고 있으므로 2W-이더넷 변환장치에는 2W 전화 아날로그 신호의 인터페이스와 2W-이더넷 프로토콜 처리의 추가를 위한 비용이 발생하지만, 운용 편의성과 안전성 및 유지보수에 따른 비용 효과가 충분하다고 판단된다.

Fig. 2에서 2W-이더넷 변환장치 간의 처리 프로토콜로는 VoIP^[1-4]를 고려할 수도 있고, 2W 전화기의 아날로그 신호(제어, 호출, Tone 및 음성)를 2W-이더넷으로 변환하는 기술^[5]을 고려할 수도 있다. 기존의 PSTN 2W 장비들과 호환성이 요구되는 PBX 음성교환기는 VoIP의 지원이 불가능하므로 단지 PBX와 2W 전화기 사이의 인터페이스 구간만을 VoIP로 적용하기에는 VoIP 기반 프로토콜인 H.323^[6] 및 SIP(Session Initiation Protocol)^[7]은 소프트웨어 적으로 너무 무겁고 복잡하므로 부적합하다.

2W-이더넷 변환 기법은 PBX 측과 전화기 간의 2W 아날로그 인터페이스를 이더넷 데이터로 변환하여 2W 통화를 지원하는 방법으로 탑재 소프트웨어가 단순하고 간결하여 패킷 전송 지연(Latency)이 매우 작으며, 지터링도 매우 짧다. 따라서 비교적 큰 전송 지연과 지터링이 존재하는 VoIP^[8,9]에 비하여 2W-이더넷 변환 기법은 음성 통화의 실시간성과 품질이 우수하다고 판단되므로 국지 2W 회선 구간에서 매우 적합하다. 대신에 2W 전화기의 아날로그 신호에 포함된 회선의 Ring/Hook 상태 신호, 다이얼링 DTMF Tone과 Ready(No Busy) Tone 및 Ringback Tone, 호출음(Ring),

Fig. 1. Private PSTN telephone network

Fig. 2. PSTN telephone network based on 2W over ethernet

그리고 통화 음성 신호를 상태에 맞게 처리하고, 이더넷 패킷으로 변환하여 송수신하는 프로토콜의 개발이 필요하다.

본 논문은 사설 PSTN 2W 전술 음성망에서 PBX와 2W 전화기 구간을 광 이더넷으로 연동하기 위한 처리 프로토콜 및 메시지를 포함하는 2W-이더넷 변환 장치를 제안하며, 2W-이더넷 변환장치 간에 송수신되는 음성 정보의 통신량, 음성 패킷의 지연 Latency 및 지터링, 그리고 음성 통화의 실시간성과 통화 품질에 대한 분석 결과도 제시하여 성능과 운용성을 입증하였다.

2. PSTN 2W-이더넷 변환장치 설계

2.1 2W-이더넷 변환장치 구성 및 계통

광 이더넷 데이터망과 혼합된 PSTN 2W-이더넷 음성망의 구성과 계통은 Fig. 3과 같다. 2W-이더넷 변환장치는 변환 프로토콜을 처리하는 CPU 보드, PBX와 인터페이스하는 2WCO 보드, 전화기와 인터페이스하는 2WCB 보드, 데이터/음성 이더넷 망을 지원하는 24G 이더넷스위치 보드, 그리고 원거리 통신을 위한 광변환 보드로 구성된다. CPU 보드에는 PBX와 2W 전화기 간의 아날로그 신호의 제어 및 처리, Tone과 음성 정보의 PCM 코딩 및 처리, 그리고 2W-이더넷 메시지를 송수신하는 소프트웨어가 내장된다. PBX와 연동하는 2W-이더넷 변환장치는 2W 전화기와 연동하는 변환장치와는 2W 인터페이스가 다르고, 처리 프로토콜도 다르지만 개발 비용과 유지보수 측면에서 하드웨어와 소프트웨어를 공용화로 개발하였다.

Fig. 3. Configuration of the 2W over ethernet converter

2.2 2W-이더넷 신호 흐름 계통

2W-이더넷 변환장치 간의 2W 전화기 신호의 송수신 계통은 Fig. 4와 같으며, CPU 보드에서 2W-이더넷 패킷의 송수신을 위한 IP는 Table 1과 같다. 전화기 13 신호는 변환장치의 2WCB 보드를 거쳐서 CPU 보드에서 처리(Tone 및 음성은 PCM 변환)되어 Table 1에 표시된 송신자 및 수신자 IP를 포함하여 이더넷 패킷으로 변환된다. 이더넷스위치 보드와 광변환 보드를 거쳐서 Site A 변환장치로 전송된 광 이더넷은 전기로 변환되며, 이더넷 패킷은 2W(13) 포트를 통하여 CPU 보드로 전송된다. CPU 보드는 해당 메시지를 처리(Tone 및 음성은 PCM 역변환)하여 재생한 아날로그 신호를 2W(13) 경로의 2WCO 보드로 출력하며,

2WCO 보드는 PBX와 인터페이스되는 2WCO 신호를 생성한다. 전화기14 및 15의 신호 경로도 동일하게 생성된다. CPU 보드는 이더넷 음성망을 2 개로 분리 운용할 수 있도록 2 개의 이더넷 포트를 지원하며, PBX 측 변환장치의 CPU 보드에서 2W(14/15) 이더넷 음성망을 2W(13) 음성망과 분리하였다.

Fig. 4. Path of 2W telephone signal

Table 1. 2W ethernet IP setup for CPU board

CPU 보드/포트 구분		IP	Subnet Mask	포트 번호
PBX 측 2W-이더넷 변환장치 CPU	2W (13)	192.168.80.1	255.255.255.0	3100
	2W (14/15)	192.168.70.1	255.255.255.0	2100
가입자 13 2W-이더넷 변환장치 CPU	2W (13)	192.168.80.2	255.255.255.0	3110
	-	-	-	-
가입자 14 2W-이더넷 변환장치 CPU	-	-	-	-
	2W (14)	192.168.70.11	255.255.255.0	2110
가입자 15 2W-이더넷 변환장치 CPU	-	-	-	-
	2W (15)	192.168.70.12	255.255.255.0	2110

3. 2W-이더넷 처리 프로토콜 및 메시지 분석

3.1 호출/통화 처리 프로토콜

3.1.1 외부 전화기에서 Site 전화기 호출/통화 분석
외부 전화기(13~15)에서 Site A 전화기(11~12)를 호출하여 통화하는 절차는 Fig. 5와 같으며, 기존 장비

Fig. 5. Calling flow of external 2W telephone subscriber

인 PBX와 전화기의 동작은 큰 : 박스로 표시하였다. 2W-이더넷 변환장치는 PBX와 2WCO 아날로그 신호로 인터페이스하고, 전화기와는 2WCB 아날로그 신호로 인터페이스한다. 변환장치 간에는 호출/통화를 위한 이더넷 메시지는 박스로 표기하였으며, 박스는 메시지의 수신 처리와 PBX 및 전화기와의 인터페이스 처리를 나타낸다. 호출 및 통화를 위한 전화기 동작 상태는 좌측 및 우측에 가입자 상태로 표시하였다.

초기에 변환장치들은 Idle인 Ring Off와 Hook On 상태를 교환한다. 가입자 13에서 송수화기를 들면(Only Hook), PBX는 Ready Tone을 돌려준다. 가입자 13에서 다이얼링을 할 때 전화기 측 변환장치는 DTMF Tone을 Site 측 변환장치로 송신하며, PBX는 해당 가입자의 호출을 위한 Ring 신호를 발생시키고 Ringback Tone을 되돌려 준다. 이후 호출된 전화기의 송수화기

가 Hook Off 되면 통화가 시작된다. Tone과 음성 정보가 없는 단순 Ring/Hook 상태는 Control 메시지로 교환되며, PCM 정보인 Tone과 음성 정보는 Traffic 메시지로 교환된다. Traffic 메시지에도 회선 상태의 감시 및 관리를 위하여 Control 정보가 포함된다. Control 메시지는 1초 주기로 전송되며, Traffic 메시지는 20 msec 주기로 전송된다. Tone 및 음성 정보는 8 Khz 8 Bit PCM으로 표현된다. 외부 전화기에서 Site 전화기를 호출/통화하기 위해 요구되는 Control 및 Traffic 메시지는 다음과 같다.

- Control 메시지(1초 주기 전송)
 - 외부 전화기측 변환장치 : Hook On/Off
 - Site 측 변환장치 : Ring Off
- Traffic 메시지(20 msec 주기 전송)
 - 외부 전화기측 변환장치 : DTMF Tone(Hook Off) Voice(회선 Hook Off)
 - Site 측 변환장치 : Ready Tone(회선 Ring Off) Ringback Tone(회선 Ring Off) Voice(회선 Ring Off)

3.1.2 Site 전화기에서 외부 전화기 호출/통화 분석
Site 전화기(11~12)에서 외부 전화기(13~15)를 호출/통화하는 절차는 Fig. 6과 같으며, 기존 장비인 PBX와 전화기의 동작은 큰 : 박스로 표시하였다. 변환장치 간에 송수신되는 메시지는 박스로 표기하였으며, 박스는 메시지의 수신 처리와 PBX 및 전화기와의 인터페이스 처리를 나타낸다. 좌우측에는 가입 전화기의 동작상태를 표시하였다.

초기에 Ring Off(PBX 측 변환장치)와 Hook On(외부 전화기 측 변환장치) 상태에서 가입자 11/12에서 송수화기를 든 후 Ready Tone을 듣고 다이얼링을 하면 PBX는 가입자 13~15의 2WCO 라인에 호출(Ring) 신호를 출력한다. PBX 측 변환장치는 이를 Ring On Control 메시지로 외부 전화기 측 변환장치로 전송하며, 외부 전화기 측 변환장치는 이 메시지를 수신한 후에 전화기 호출을 위한 Ring 신호를 출력한다. 외부 전화기에서 벨이 울리고(Ringing), 송수화기를 들면 음성 메시지의 Control 정보에 Hook Off 상태가 PBX 측 변환장치로 전송되고, PBX 측 변환장치는 내부 상태를 Ring Off 상태로 전환하고 통화를 시작한다. Ring 신호는 전화기의 벨을 울리는 신호이며, 송수화기에 들리는 Tone과는 신호 특성이 다르기 때문에 Traffic

- Control 메시지(1초 주기 전송)
 - Site 측 변환장치 : Ring Off/On
 - 외부 전화기 측 변환장치 : Hook On/Off
- Traffic 메시지(20 msec 주기 전송)
 - Site 측 변환장치 : Voice(회선 Ring Off)
 - 외부 전화기 측 변환장치 : Voice(회선 Hook Off)

전화기 측 2W-이더넷 변환장치는 전화기 신호의 Hook 상태를 감시하고, 상태를 Control 메시지 및 traffic 메시지(Control 포함)로 송신한다. 또한 PBX 측

```

graph TD
    HO((Hook On))
    HOFF((Hook Off))
    
    HO -- "Hook On 상태 확인  
Hook On 상태 전송 to Site 변환장치" --> E1[Every 1 sec]
    E1 --> HO
    
    HO -- "외부 2W 전환기 송수화기 들" --> HOFF
    
    HOFF -- "DTMF Tone 및 Voice 메시지 수신(Hook Off)" --> E2[Every 20 msec]
    E2 --> HOFF
    
    HOFF -- "외부 2W 전환기 송수화기 내림" --> HO
    
    HO -- "Control 메시지 수신 시" --> I1[If Ring On, 전화기 벨 Ringing]
    I1 --> R1[Ring On/Off 상태 갱신]
    
    HOFF -- "Traffic 메시지 수신 시 (Ready/Ringback Tone 및 Voice)" --> I2[Ready/Ringback Tone 및 Voice 재생  
이남로그 Tone 및 Voice 재생 신호 출력  
Ring Off 상태 확인]
  
```

PBX 측 변환장치의 Ring State Diagram은 Fig. 8과 같다. Ring Off 상태에서 매 1 초마다 PBX의 Ring Off 상태를 확인하고, Ring Off Control 메시지를 전화기 측 변환장치로 전송하며, 전화기 측 변환장치로부터 수신되는 Control 메시지에서 Hook 상태를 확인한다. PBX에서 Ring On 신호가 수신되면 Ring On 상태로 천이하고, 전화기 측 변환장치가 Hook Off 될 때까지 Ring On Control 메시지를 송신한다. 또한 전화기 측 변환장치로부터 수신되는 Control 메시지에서 Hook 상태를 확인하고, Hook Off 상태이면 통화로 개설했던 Ring Off 상태로 천이한다. 통화로가 개설(외부 전화기 Hook Off)된 Ring Off 상태에서는 통화 음성 Traffic 메시지를 매 20 msec마다 송신한다. 또한 Traffic 메시지를 수신하여 음성을 재생 및 출력하

며, Hook Off 상태를 확인한다. Ring On 상태에서 PBX의 Ring Off를 수신하면, Ring Off 상태로 천이하고 다시 1초 마다 Ring 상태를 확인하게 된다.

Fig. 8. Ring off/on state diagram of site side converter

Table 2. 2W-ethernet packet

IP 헤더	
Source Port	Destination Port
Length	Checksum
Payload(Header/Control/Traffic)	

IP 패킷

UDP 패킷

Table 3. Transmission message of converter in side of subscriber

순서	메시지 구성	Type	세부 내용
1	메시지 ID	Unsigned Int	0x0002
2	Length	Unsigned Int	24 bytes + Traffic bytes
3	Header	송신자	0x0010 : 가입자13 0x0100~0x0105 : 가입자14~19
4		수신자	0x0000 : Site A
5		Seq. No	0x0000~0xFFFF 반복
6	Control	Line Signal	0x0000 : Hook Off 0x0001 : Hook On 0xFFFF : 2W 고장
7~N	Traffic ※ Ring Off 시 유효	Unsigned Char	PCM Data : DTMF Tone Voice

3.3 2W-이더넷 메시지 패킷 구조

변환장치 간 교환되는 UDP 이더넷 패킷은 Table 2와 같이 Payload에 Header와 Control 및 Traffic이 탑재된다.

3.4 2W-이더넷 메시지

3.4.1 가입자측 변환장치 → PBX측 변환장치 메시지

외부 전화기의 호출/통화 처리 프로토콜의 분석 결과로 요구되는 송신(외부 전화기 측 변환장치 → PBX 측 변환장치) 메시지는 Table 3과 같다. Control 메시지는 Header와 Control로 구성되며, Traffic 메시지는 Header와 Control 및 Traffic으로 구성된다. 회선 고장은 Line 신호가 0xFFFF로 설정되며, 회선 비정상으로 처리된다.

3.4.2 PBX측 변환장치 → 가입자측 변환장치 메시지

PBX 측 변환장치에서 가입자 측 변환장치로 송신되는 메시지는 Table 4와 같다. 회선의 고장은 Line 신호가 0xFFFF로 설정되며, 회선 비정상으로 처리된다.

Table 4. Transmission message of converter in side of site

순서	메시지 구성	Type	세부 내용
1	메시지 ID	Unsigned Int	0x0001
2	Length	Unsigned Int	24 bytes + Traffic bytes
3	Header	송신자	0x0000 : Site A
4		수신자	0x0010 : 가입자13 0x0100~0x0105 : 가입자14~가입자19
5		Seq. No	0x0000~0xFFFF 반복
6	Control	Line Signal	0x0000 : Ring Off 0x0001 : Ring On 0xFFFF : 2W 고장
7~N	Traffic ※ Ring Off 시 유효	Unsigned Char	PCM Data · Ready(No Busy) Tone · Ringback Tone · Voice

4. 2W-이더넷 통신량, 패킷 지연 및 실시간성 분석

4.1 2W-이더넷 변환장치 간 통신량 분석

통화가 없을 때 초당 1번 교환되는 Control 메시지는 0.192 Kbps(24 Bytes)로 쌍방 간에 각각 송신되므로 변환장치가 1대7로 구성된 체계에서 모두 통화가 없는 상태(Only Control)의 통신량은 2.688 Kbps이다. 초당 64 Kbps로 구성되는 Tone과 음성 정보는 125 usec (8 Khz) 간격의 8 Bit PCM 정보를 160개(Bytes)로 군집화하여 Header와 Control(24 Bytes)을 포함한 Traffic 메시지로 구성하고, 이 Traffic 메시지는 초당 50회(20 msec 간격) 송신되므로 통신량은 73.6 Kbps(9,200 Bytes)가 된다. 1대1 통화 시 총 통신량은 149.504 Kbps ($73.6 \times 2 + 0.192 \times 6 \times 2$ Kbps)이며, 1대7 음성 통화 시의 통신량은 1,030.4 Kbps이다. 1대25으로 통화할 경우의 통신량은 3.68 Mbps이며, 통신량 추이는 Fig. 9와 같다. 본 논문이 적용되는 체계는 GBaseT 이더넷을 사용하며, 데이터 망은 30 Mbps 이하의 대역폭을 가지므로 데이터 및 음성을 복합 전송할 때 망의 성능에 전혀 문제가 없다고 판단된다.

Fig. 9. Traffic analysis of 2W-ethernet telephone network

4.2 송수신 패킷 지연 및 실시간성 분석

Fig. 10에서 음성과 데이터 패킷의 전송 지연은 송신 2W-이더넷 변환장치 내 24G 이더넷스위치 보드의 입출력 단에서 발생하며, 전송 지연은 전송 스트림 지연과 24G 이더넷스위치 보드의 처리 지연(대기 지연 수 usec 이하)으로 구성된다. 하나의 통화 Traffic 메시지는 1,472 Bits(184 Bytes)로 구성되므로 GBaseT 망에서 전송 스트림 지연은 2 usec 이하이며, 300 Byte 이하로 구성되는 데이터 패킷의 전송 스트림 지연은 2.4 usec 이하이다. 2 대의 2W-이더넷 변환장치에 포함된

24G 이더넷스위치의 패킷 송수신 처리 지연은 20 usec 이하로 분석되었으며, 24G 이더넷스위치에서 다수의 패킷이 중복되어 전송 대기 지연이 발생하더라도 총 지연시간(지터 포함)은 40 usec 이하일 것으로 분석된다.

Fig. 10. Ethernet switch of 2W-ethernet converter

송신 CPU 보드는 Tone과 음성 신호를 125 usec(8 Khz) 간격으로 양자화(8 Bit PCM)하여 2 Port RAM에 저장하며, Fig. 11과 같이 160 Bytes(19.875 msec)를 군집화하여 매 20 msec 마다 Traffic 메시지를 송신한다. 수신 CPU 보드는 Traffic 패킷이 수신된 Dual Port RAM에서 음성 정보를 125 usec 간격으로 출력하여 재생한다. 현재 수신 Traffic의 1번째 음성 정보는 이전 수신 Traffic의 160번째 음성 정보를 재생한 이후 125 usec 시점에 재생되므로 Traffic 패킷의 전송 지연은 125 usec 이하여야 하며, 40 usec 이하의 패킷 지연은 통화 음성의 재생에 거의 영향을 주지 않는다. Control 메시지(초당 1회 송신)의 패킷 지연은 Traffic 메시지 패킷의 지연에 비하면 무시할 수준이

Fig. 11. Packet coding and decoding and of PCM voice

다. Traffic 메시지의 송수신 메커니즘으로 인하여 음성 망에는 기본적으로 20.04 msec 이하의 지연이 발생하지만, VoIP 음성에 비해 음성 통화의 실시간성은 충분히 만족한다고 판단된다.

5. 측정시험 결과

5.1 패킷 지연 판정 결과

2W-이더넷 변환장치의 패킷 지연(지터 포함)과 음성 신호 지연 및 통화품질을 측정하기 위한 시험 구성은 Fig. 12와 같으며(유선 이더넷으로 시험 가능하므로 광변환 보드는 미탑재), 계통은 Fig. 13과 같다. 패킷 지연 시험은 양측 2W-이더넷 변환장치 내부에서 CPU 보드로 입출력되는 이더넷 포트를 N2X 이더넷 네트워크 분석기로 연결한 다음, 네트워크 분석기에서 데이터 및 음성 모의 패킷을 송수신하였다. 이와 함께 다른 데이터처리기 모의기와 2W 14~19 모의기에서 모의 패킷을 송수신하였다. 2W 음성 모의 패킷은 실제 음성 통화 패킷과 동일하게 184(Head/Control 24 + Traffic 160) Byte로 구성하였으며, 초당 50회 송신하였다. 데이터 모의 패킷은 300 Byte로 구성하였으며, 초당 50 Mbytes를 송신하였다. 184 Byte 음성 패킷의 GBaseT 노드 간 이론적 전송 지연은 약 1.28 usec이며, 300 Byte 데이터 패킷은 2.4 usec이다. Fig. 13에서 모의 패킷들이 송수신되는 상태에서 네트워크 분석기 간의 2W 13 음성 모의 패킷과 데이터 13 모의 패킷의 최대 지연(지터 포함)은 24.3 usec 였다. 24.3 usec 이하의 지연은 데이터 망에는 전혀 문제가 되지 않으며, 125 usec 이하의 음성 패킷 지연이 요구되는 2W-이더넷 변환장치의 경우에도 실시간성을 만족하는 것이다.

Fig. 12. Test of 2W-ethernet converter

Fig. 13. Configuration for performance test

5.2 음성 신호의 지연 및 실시간성 측정

Fig. 13에서 네트워크 분석기를 제거하고, CPU 보드를 24G 이더넷스위치 보드와 연결하여 2WCB 보드의 입력 단과 2WCO 보드 출력 단 간의 다이얼링 Tone 신호와 음성 통화신호에 대한 지연 시간의 측정 결과는 Fig. 14와 같다. 신호 지연은 약 28 msec로 측정되었다. 음성 신호에는 PCM 변환 송신을 위한 20 msec의 기본 지연과 최대 24.3 usec의 패킷 전송지연이 있으며, CPU 보드의 역 양자화 지연과 2WCO 보드의 아날로그 지연을 포함하여 약 8 msec 정도의 추가적인 지연이 발생하였다. 28 msec 정도의 지연은 유선 음성과 비교 시 실시간성을 충분히 만족한다고 판단된다.

Fig. 14. Dialing tone and voice delay

5.3 음성 패킷의 송수신 통화 품질 계산

기존 장비인 PBX와 전화기는 통화 품질 검토에서 제외하였으며, 또한 2W-이더넷 변환장치로 입출력되는 2W 아날로그 신호에 대해서도 검토에서 제외하였고, 변환장치 간의 PCM 코덱과 음성 패킷의 송수신에서 발생하는 음성 품질에 대하여 고려하였다. 이더넷 음성의 통화 품질은 PCM 코덱에 의한 품질 손실, 패킷 지연, 그리고 패킷 손실^[10]에 영향을 받는다. G.711 수준의 PCM 코덱은 Table 5 기준으로 4.1 이상^[11,12]의 음성 품질 MOS(Mean Opinion Score) 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 주관적인 MOS에 비하여

이더넷 음성의 객관적 전송 품질 등급은 Table 6과 같이 E-Model의 $R^{[13-15]}$ 로 분류되며, R 값은 다음과 같이 계산된다. 변환장치 간의 패킷 지연, 손실율, G 및 H 값에 따라 R 값은 94.199 정도로 계산되며, 실제 손실율은 거의 없으나 10^{-6} 정도를 고려하였다. 2W-이더넷 변환장치 간의 음성 패킷 송수신 구간에서 음성 통화 품질을 나타내는 R 값 94.199는 통화 품질이 매우 우수하다는 것으로 전화기 전체 구간의 통화 품질에 거의 영향을 주지 않음을 나타내는 것이다.

$$R = 94.2 - 0.024d - 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3)^{-1} - G1 - G2 \ln(1 + G3e)$$

$d = 0.02004$ sec, 패킷 지연

$e = 0.000001$, 패킷 손실율

$G1 = 0$, $G2 = 30$, $G3 = 15$ for G.711 PCM 코덱

$H = 0$, Heavyside Function

Table 5. MOS voice transmission quality

Score	Quality	잡음정도
5	Excellant	Imperceptible
4	Good	Just Imperceptible, Not Annoying
3	Fair	Perceptible and Slightly Annoying
2	Poor	Annoying But Not Objectianable
1	Bad	Very Annoying and Objectianable

Table 6. E-model rating R and user satisfaction

R Value	MOS Value	User Satisfaction
90 이상	4.34 이상	Very satisfied
80 이상	4.03 이상	Satisfied
70 이상	3.60 이상	Some users dissatisfied
60 이상	3.10 이상	Many users dissatisfied
50 이상	2.58 이상	Nearly all users dissatisfied

6. 결 론

PBX 음성교환기가 7 대의 외부 전화 가입자와 통화를 지원하는 무기 체계에서 제안된 2W-이더넷 변환장치는 기존의 2W 유선 음성망을 2W-이더넷 음성망

으로 잘 변환하여 동작하였고, 기존 데이터망과 함께 정상적으로 동작함을 확인하였다. 2W-이더넷 변환장치는 설계된 상호 메시지를 프로토콜에 따라 잘 교환하여 운용성을 입증하였다. 2W-이더넷 변환장치 간의 음성 및 데이터 이더넷 패킷의 전송 지연은 24.3 usec 정도로 매우 적으므로 기존 이더넷 데이터망에 거의 영향을 주지 않으며, 2W Tone 및 음성통화 신호의 지연은 28 msec 정도로 음성통화의 실시간성을 보장하였다. 또한 2W-이더넷 변환장치의 음성 재생 메커니즘(PCM 코덱)에 의한 음질 손실 이외는 거의 없기 때문에 전송 품질도 기존 유선 2W 음성과 유사하며, VoIP 보다는 우수하다고 판단된다.

제안된 2W-이더넷 음성 변환장치는 앞서 기술한 Fig. 3과 같이 기존 이더넷 스위치 장치(광변환기 포함)에 2W 아날로그 신호 인터페이스 보드와 2W-이더넷 프로토콜 처리 보드의 추가가 필요하므로 비용이 증가하지만 유선 2W 전화망에 비하여 낙뢰 및 전자파 영향성이 제거되고, 음성망의 설치와 분리 및 망의 유지보수가 용이하며, 2W-이더넷 메시지와 처리 프로토콜의 최적화를 통하여 2W 유선 전화와 거의 동등한 수준의 통화 품질과 실시간성을 제공하는 장점이 있다. 그러므로 제안된 2W-이더넷 음성망은 유선 PSTN 2W 음성망을 사용하는 체계에서 매우 유용할 것으로 판단된다. 그러나 현재 수준에서는 기존 2W PBX 장비와의 호환 운용 때문에 VoIP를 지원하지 못하므로 향후에는 PBX의 성능개량과 함께 VoIP를 지원토록 하는 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] Sheetal Jalendry and Shradra Verma, "A Detail Review on Voice over Internet Protocol(VoIP)," International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 23, No. 4, pp. 161~166, 2015.05.
- [2] U. R. Alo and Nweke Henry Firday, "Voice over Internet Protocol(VOIP): Overview, Direction And Challenges," Journal of Information Engineering and Applications, Vol. 3, No. 4, pp. 18~28, 2013.
- [3] H. Toral Cruz, José Luis Vázquez-Avila, Rafael Sánchez-Lara, Joel Antonio Trejo-Sánchez, J. A. Alvarez-Chavez, "A Survey on Quality of Service in the Voice Over IP Technology," European Scientific

- Journal, Special Edition, pp. 205~212, 2018.01.
- [4] H. Toral Cruz, Arguez Xool, L. Estrada Vargas, and D. Torres Roman, "An Introduction to VoIP : End-to- End Elements and QoS Parameters," Center of Research and Advanced Studies, University of Quintana Roo, Mexico, pp. 79~94 2011.2.
 - [5] ETSI EG 201 188 V1.2.1(2000-01), "Public Switched Telephone Network; Network Termination Point(NTP) Analogue Interface; Specification of Physical and Electrical Characteristics at a 2-Wire Analogue Presented NTP for Short to Medium Length Loop Applications," European Telecommunication Standards Institute, 2000.
 - [6] Dr Talal Al-Kharobi and Mohammed Abdullah Al-Mehdhar, "Comprehensive Comparison of VoIP Sip Protocol Problems and Cisco VoIP System," International Journal of Network Security & Its Application, Vol. 4, No. 4, pp. 137~152, 2012.6.
 - [7] ITU-T H.323(12/2009), "Packet-based Multimedia Communications Systems," The International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector.
 - [8] Karie Gonia, "Latency and QoS for Voice over IP," SANS Institute, Information Security Reading Room, Version 2.4b, Option 1, 2004.
 - [9] Martín Ortega Ortega, Gustavo Chafra Altamirano and Mara Falconí Abad, "Evaluation of the Voice Quality and QoS in Real Calls Using Different Voice over IP Codecs," 2018 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing, 2018.05.
 - [10] Jonathan Davidson and James Peters, "Voice over IP Fundamentals," Cisco Press, Indianapolis, pp. 120~134, 2000.
 - [11] Therdpong Daengsi, Chai Wutiwiwatchai, Apiruck Preechayasomboon, Saowanit Sukparungsee, "Speech Quality Assessment of VoIP: G.711 VS G.722 Based on Interview Tests with Thai Users," I. J. Information Technology and Computer Science, pp. 19~25, 2012.2.
 - [12] ITU-T P.800.1(02/2016), "Mean Opinion Score(MOS) Terminology," International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector, 2016.02.
 - [13] ITU-T G.107(03/2005), "The E-model, a Computational Model for Use in Transmission Planning," International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector, 2005.03.
 - [14] ITU-T G.109(09/99), "Definition of Categories of Speech Transmission Quality," International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector, 1999.09.
 - [15] Cole, R. G. and Rosenbluth, J. H., "Voice Over IP Performance Monitoring," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, pp. 9~24, 2001.04.