

데이터 통신에 公衆交換電話網을 開放하기 위한 網의 傳送品質의 特性 實驗 및 測定

(Experiments and Measurements of Public Switching Telephone Network(PSTN) for the Purpose of Opening it to Data Communication)

曹 圭 心*, 朴 圭 泰*

(Kyu Shim Cho and Kyu Tae Park)

要 約

本稿는 既存의 市内 및 市外 電話交換網을 데이터 통신에 開放할 目的으로 이 交換網의 傳送品質을 測定하고 또한 分析한 것을 紹介한 것이다.

試驗에 있어서 電話交換網에서 發生하는 랜덤雜音 및 임펄스性 雜音을 調査하고 또 既存電話網의 傳送品質을 나타내는 謬誤率 및 不복誤率을 測定하였다. 本 測定 및 分析을 基礎로 하여 電話交換網에서의 實施 可能한 最高 데이터 傳送速度를 勸告하고 또 公衆交換電話網을 데이터 傳送到 開放하는데 있어서의 그 可能性을 調査하였다.

Abstract

This paper presents the measurements and analyses of transmission qualities of the existing urban and toll public switching telephone network (PSTN) for the purpose of opening it to data transmission.

In the tests, random noise and impulsive noise occurring on the telephone network are investigated and bit error rate and block error rate representing the transmission qualities on the existing telephone network are measured. We recommend the fastest practical data transmission speed on the network and investigate a possibility of opening the public switching telephone network (PSIN) to the data transmission based on the above measurements.

I. 序 論

데이터 통신은 歷史적으로 볼 때 專用回線 利用期로부터 公衆電話交換開放期를 거쳐 데이터 통신 專用交換網 構築期로 發展해 간다. 初期段階부터 分離獨立된

데이터 專用交換網의 建設은 莫大한 費用이 所要되므로 어느 나라도 이런 方法을 取하지 않는다. 韓國도 專用回線時代를 지나 今年(1983年) 3월에 公衆電話交換網을 데이터 통신에 開放하였다. 即 現在의 電話交換網의 品質을 變更시키지 않고 있는 그대로의 狀態에서 이 網을 開放하였는데, 이 開放은 1983年 末까지 試驗 運用을 거친 다음 市内, 市外 및 國際의 모든 通話區間에서 使用할 수 있게 된다.

公衆交換電話網을 데이터 통신에 開放하려면, 먼저

*正會員, 延世大學校 工科學 電子工學科
(Dept. of Electronics Eng., Yeon Sei Univ.)

接受日字 : 1983年 8月 4日

交換網의 特性을 試驗하여야 한다. 本稿에서는 市内 및 市外交換電話網의 傳送特性이 데이터 品質에 주는 影響을 試驗하고, 또 데이터 傳送回線의 品質을 判定하는 비트 에러 레이트 및 블럭 에러 레이트를 測定한 것을 紹介하였다.

II. 데이터 品質에 影響을 주는 交換機 및 傳送路의 特性⁶⁾

아나로그 通信方式을 適用하고 있는 現在의 公衆交換電話網을 利用하여 데이터 傳送을 하고자 할 때에는 傳送路가 가지는 여러가지 特性이나, 그 變動 및 外部로부터의 妨害때문에 데이터 品質이 그 影響을 받는다. 데이터 品質에 影響을 주는 主要因은 回線 雜音(랜덤雜音等), 임펄스性 雜音, 減衰歪, 群遲延歪, 瞬斷 및 位相 跳躍이 있다. 그러나 어느 나라에 있어서나 公衆交換電話網에 있어서 이들 모든 要因을 試驗하기란 大端히 힘들다. 今般에는 이들 要因中 回線雜音 및 임펄스性 雜音에 對하여 實際試驗한 結果를 紹介하고자 한다.

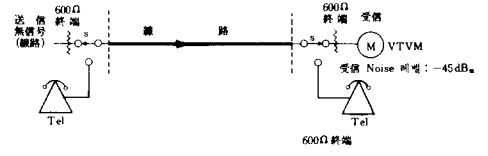
1. 回線雜音(랜덤雜音)^{11, 12)}

랜덤雜音(random noise)은 波形的 觀點에서 볼 때는 임펄스性 雜音(impulsive noise)과 對峙(對峙)되는 連續性 雜音이다. 連續性 雜音中에서 그 振幅分布가 Gauss 分布에 따르는 Gauss 雜音과, 또 對象으로 하는 周波數 帶域內에서 그 電力 스펙트럼이 한결같은 白色雜音과의 兩者의 性質을 가지고 있는 雜音이 랜덤雜音이다. Gauss 雜音은 電子回路 固有의 것으로 除去할 수는 없으나, 그 影響度나 測定法에 對해서는 充分히 檢討되어 있다.

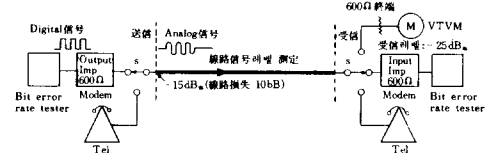
1) 回線雜音(랜덤雜音)의 測定法^{11, 12)}

回線雜音(랜덤雜音)은 그림 1 (a), (b)와 같이 測定回路를 構造하여 測定한다. 즉 그림 1 (a)와 같이 無信號時의 線路雜音N(即 이 그림 1 (a)의 境遇는 純全히 線路 自身이 發한 線路의 雜音을 말한다) 및 그림 1 (b)와 같이 有信號時의 到着한 信號의 相對受信信號 level S를 測定하여 이 回線의 S/N[dB]를 求한다. 이때의 S/N은 S-N[dB]로 되며, 이 S/N를 維持한 그대로의 것이 受信端에 나타난다.

線路의 S/N[dB]를 求하자면 그림 1 (a)와 같이 線路의 送受信兩端을 600Ω로 終端시키고, 送信端에 아무런 信號를 附加하지 않은 狀態(無信號狀態)를 受信端에서 眞空管 電壓計(VTVM)로 測定한다. 아무런 信號도 附加하지 않은 狀態를 測定하였기 때문에 나타나는 雜音이란 線路 自身이 發한 純粹雜音이 나타난다. 이 無信號時의 受信雜音 level[dBm]은 線路損失에 따



(a) 線路無信號時의 雜音測定圖



(b) 信號레벨 測定圖

그림 1. 回線雜音測定結線圖(우리 나라 市内電話交換網의 境遇)

Fig. 1. Measuring block diagram for random noise (In case of local telephone network).

라 相異하며, 우리 나라에서의 線路의 受信雜音 level의 基準値는 -68 dBm을 주고 있다. 그림 1 (a)의 受信端에서 受信 noise 레벨 : 45 dBm이라고 되어 있는 것은 基準値 -68 dBm보다 많이 나쁜 實測值를 1例로 例示한 것이다 (∴ -68 dBm - (-45 dBm) = -23 dBm이나 더 나쁘다).

그림 1 (b)는 有信號時, 즉 裝置를 接續한 實例인데, 이때 線路의 受信端에 到着한 信號의 相對受信信號 level을 測定한 것이 -25 dBm이었다는 것을 表示한 것이다.

即, 그림 1 (b)는 비트 에러 레이트 테스터로부터 데이터信號인 디지털信號를 모뎀으로 送出하고, 모뎀으로부터는 이 디지털信號를 아나로그信號로 變換하여 이것을 基準信號 레벨인 -15 dBm으로 線路에 送시킨 것이다. 그림 1 (b)에 있어서 相對受信信號 level이 -25 dBm이었으므로 이 때의 S/N은 그림 1 (b)와 (a)로부터

$$S/N = \text{有信號時의 受信信號레벨 [dBm]} - \text{無信號時의 受信雜音레벨 [dBm]}$$

$$= -25 \text{ (dBm)} - [-45 \text{ (dBm)}] = 20 \text{ [dB]}$$

이다.

이와 같이 하여 여러 S/N值를 求하면 이에 따르는 비트 誤率(bit error rate)을 計算으로 求할 수 있다. 今般의 全体試驗에서 使用된 測定器는 다음과 같다.

- ① 試驗用電話株機
- ② 眞空管電壓計(VTVM)
- ③ Modem(國產 및 外國製)
- ④ Data bit error rate tester(model 2302-02 Digitec社 USA)
- ⑤ 임펄스測定 tape recorder

- ⑥ Oscillator
- ⑦ Level meter
- ⑧ Counter

2) VSB 變調의 S/N와 비트 에러 레이트

各復調方式의 베이스 밴드의 分布函數로 부터 비트 에러 레이트가 計算된다. VSB 變調方式에서 雜音의 分布函數를 正規分布라고 하면, 비트 에러 레이트는 다음과 같이 된다.^{14,5)}

$$P(e) = (1 - \frac{1}{L}) Q \left[\left(\frac{3}{L^2 - 1} \frac{P_s}{P_N} \right)^{1/2} \right] \quad (1)$$

$$Q[x] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-s^2/2} ds \quad (2)$$

L : VSB變調의 多值數(L는 偶數值)

P_s : 信號電力

P_N : 雜音電力

(1) 및 (2)式에서 L의 값은 2, 4, 8等이 될 수 있다.

3) 位相變調의 S/N와 비트 에러 레이트

位相變調의 境遇에 있어서의 베이스 밴드에서의 雜音의 分布函數는 2次元의 正規分布로 되어 複雜하게 된다. 이 때문에 2相位相變調와 4相位相變調의 境遇에 있어서의 비트 에러 레이트의 近似式으로부터 計算值를 求한다.

2相位相變調의 비트 에러 레이트의 近似式은 (3)式

$$P(e) \approx \frac{1}{2} e^{-\frac{P_s}{P_N}} \quad (3)$$

같은, 4相位相變調의 비트 에러 레이트의 近似式은 (4)式과 같이 된다.

$$P(e) \approx \frac{e^{-\frac{P_s}{2P_N}}}{2 \left(\frac{P_s}{2P_N} \right)^{1/2}} \quad (4)$$

4) 周波數 變調의 境遇

周波數 變調波에 Gauss分布하는 雜音이 附加되는 境遇는 베이스 밴드 信號에서의 雜音의 分布는 라이스(Rice) 分布로 된다. 이 境遇의 雜音의 分布는 4次元의 Gauss函數로 되어 비트 에러 레이트의 解析은 複雜하게 된다.

但, 2值 FM의 境遇에 對해서의 解析은 2相位相變調의 解析과 같게 되며, 비트 에러 레이트도 2相位相變調와 同一하게 된다.

上記와 같이 비트 에러 레이트는 S/N值를 알면 理論計算에 依하여 求해진다. 그러나 上記 理論計算과 實際의 모뎀에 依한 實測值의 사이에는 以下の 點에서 差가 있다.

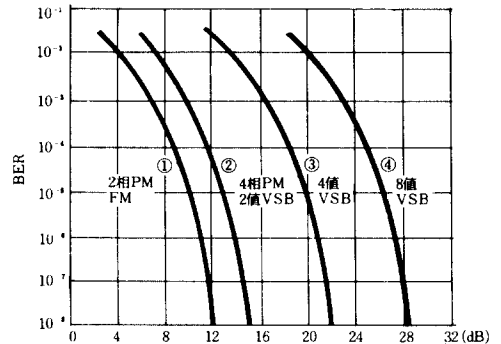
① 變復調過程 및 回線에서의 歪(이그러짐)로 因한 符號間 干涉의 影響은 考慮되어 있지 않음.

② 位相變調, VSB變調의 境遇, 復調時의 타이밍再生, 캐리어(carrier) 再生誤差는 考慮되어 있지 않음.

上記의 1, 2項의 影響을 考慮한 境遇는 解析이 大端히 複雜해지기 때문에 符號間 干涉, 타이밍再生誤差, 캐리어 再生誤差는 理想的인 狀態라 하고 計算된다.

또 現在 國際적으로 勸告되고 있는 모뎀의 變調方式에 있어서 VSB變調는 使用되지 않고 있다. 現在 一般으로 使用되고 있는 모뎀으로서 2相PM, 4相PM, 8值PM, 4值QAM, 8值QAM, 16值QAM, 2值FM 등이 있다.

앞에서 記述한 바와 같이 데이터 信號에 랜덤 雜音 등이 있으면 비트 에러가 생기게 된다. 이들 關係를 實測한 여러 S/N值에 따르는 BER의 曲線을 그리면 그림 2와 같이 되었다.^{14,5)}



平均信號電力 S/(KHz) 帶域平均雜音電力 N

- ① f (KHz) 帶域에서 f (bps)의 傳送速度
- ② " " 2f " "
- ③ " " 3f " "
- ④ " " 4f " "

그림 2. S/N와 비트 에러 레이트
Fig. 2. S/N and Bit error rate.

그림 2의 S/N-BER 曲線에서 明白한 것처럼 線路의 S/N가 良好하면, 同一의 帶域이라면, 傳送할 수 있는 傳送速度를 올릴 수 있음을 알 수 있다.

線路의 S/N을 良好하게 하려면 ① 線路의 傳送損失을 적게, ② 同一-芯線使用에 依한 線路損失 및 反射損失의 除去, ③ 線路構成에 있어서 同一-擘(quad)別로 接續, ④ 線路의 絶緣抵抗을 좋게, ⑤ data 通信端末機器와의 임피던스 整合 등이 이루어져야 한다.

그림 2에 있어서 2相PM, FM는 國產모뎀(三益電子社 SM 1200N bps), 4相PM도 國產모뎀(三益電子社 SM 2400S bps), 4值VSB는 外國產(CODEX社 4800 bps), 8值VSB도 外國產(CODEX社 9600 bps)를 使用하여 여러 S/N值에 對한 BER 曲線을 그린 것

이다.

1-1)의 회선잡음의測定法에서說明한 바와 같이 電話網의 基準信號 Level은 -15dB_m 이므로, 데이터信號時도 送出 Level은 이것과 同一한 아나로그信號가 基幹回線에 傳送되며 受信端局에 이르러서의 受信레벨은 -32dB_m (集中局 4線式의 境遇는 -25dB_m)이다.

한편, 受信端局에 있어서의 受信雜音레벨(回線雜音)은 우리 나라에서는 보편적으로 -54dB_m 또는 -52dB_m (共히 無評價)으로 하고 있으므로 데이터傳送的 S/N은 $22\sim 27\text{dB}$ 이며, 그 計算은 다음에서 볼 수 있다.

$$S/N = (-32\text{dB}_m \text{ or } -25\text{dB}_m) - (-54\text{dB}_m \text{ or } -52\text{dB}_m) = 22\sim 27[\text{dB}] \quad \left(\begin{array}{l} \because -32\sim 25[\text{dB}_m] \\ -) -54\sim 52[\text{dB}_m] \\ 22\sim 27[\text{dB}] \end{array} \right)$$

이것은 그림 2와 比較하여도 充分히 餘裕가 있음을 나타낸다. 또 逆으로 多值傳送到 依하여 데이터信號速度를 올릴 수 있다고 생각할 수 있다.

2. 임펄스성 雜音(impulsive noise)^(2,3)

임펄스성 雜音은 交換機·케이블 部分에서 發生하는 衝擊的인 雜音이다. 이 雜音은 그 發生間隔, 振幅 共히 不規則이기 때문에, 發生機構의 物理的인 解析, 測定法, 데이터信號等에 對한 妨害度의 評價法等, 어느 것이나 Gauss 雜音의 境遇와는 相異하며, 또 그 影響을 補償하는 것도 힘들다.

1) 임펄스성 雜音의 一般特性

그림 3에 스텝 바이 스텝式 交換機에 依한 典型的인 임펄스성 雜音을 表示한 것인데, 通話中에 雜音이 發生하면 受話者에는 “찌찌”하는 音이 들리며, 만일 이 雜音의 피크值가 커지면 通話가 들리지 않는 것은 日常 經驗하는 바이다. 電話通話에 있어서는 다시 問議하던가 하여 情報傳達에는 그다지 支障이 없으나, 데이터 傳送的 境遇는 機械 對 機械의 通信이며, 이와 같은 임펄스성 雜音은 데이터信號를 消滅시킬만한 큰

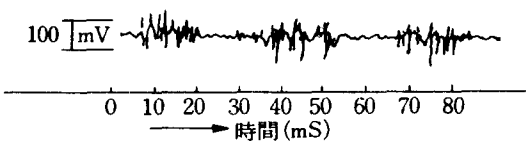


그림 3. SXS 交換機에 依해 生기는 典型的인 임펄스성 雜音

Fig. 3. Typical impulsive noise produced in SXS exchanges.

피크值를 가지고 있으며, 誤를 發生시킨다. 임펄스성 雜音의 데이터信號에 對한 妨害度, 評價法을 求하기 위해서는 임펄스성 雜音의 性質로서 다음과 같은 點을 明白히 할 必要가 있다.

2) 임펄스성 雜音의 發生個所와 그 振幅分布^(2,3,5)

電話回線에 있어서의 임펄스성 雜音의 發生個所는 大別하여 交換機와 케이블에서 發生하나, 이속에서 또 細分된 個所에서 發生한다(詳細한 個所는 電話局의 保守指針書에 記錄되어 있으므로 參照할 것). 이와같이 여러 原因과 雜多한 現象을 띄는 임펄스성 雜音의 規則性을 發見하고 그 評價法을 確立하는 研究가 進行된 結果, 그의 “振幅分布”가 注目되게 되었다.

(注: 임펄스성 雜音의 極性에는 正負가 있으나, 圖는 이것을 整理하여 同一極性으로한 것임.)

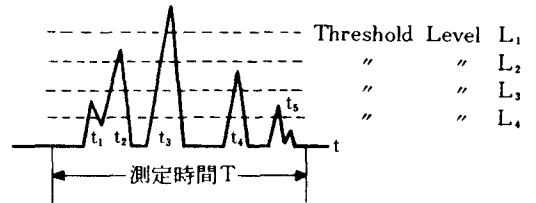


그림 4. 임펄스성 雜音의 例

Fig. 4. An example of impulsive noise.

振幅分布는 任意的인 스텝스레벨을 設定하여, 어떤 測定時間中에 그 스텝스레벨을 超越하는 雜音의 數로 定義된다. 그림 4에 임펄스성 雜音의 1例를 表示하였는데, 振幅分布란 測定時間T의 사이에 各 threshold level(圖의 境遇는 $L_1\sim L_4$ 이며, 이 레벨은 測定器로 設定한다)을 超越하는 雜音發生數를 말하며, 橫軸에 threshold level, 縱軸에 橫軸의 레벨을

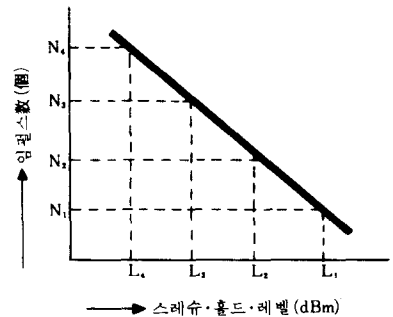
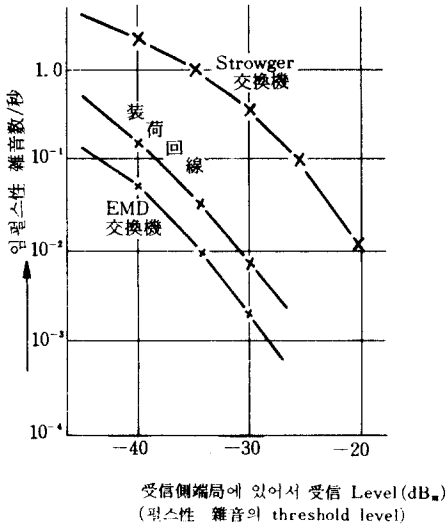


그림 5. 임펄스성 雜音의 振幅分布의 例

Fig. 5. An example of amplitude distribution of impulsive noise.

超越하는 雜音數($N_1 \sim N_4$)를 對數 눈금으로 取하여 圖示하면 그림5와 같이 大略 直線에 가깝게 할 수 있음이 實驗的으로 求하여 졌다.

이 雜音數와 데이터 誤率과의 關係도 理論的, 實驗的으로 求하여졌으며, 振幅分布는 임펄스性 雜音을 評價하는 좋은 測度이다.



- 注意 i) 交換局은 MDF-MDF間에서 1端을 600Ω 終端한다.
- ii) 裝荷回線은 相對局 MDF를 600Ω 終端한다.
- iii) 임펄스 雜音은 空間的, 時間的 變動이 크므로, 그림은 平均值를 가리키며 最惡值는 約 1자리 만큼 惡化하는 때가 있다.
- iv) 임펄스性 雜音의 測定 펄스幅은 0.1μs 以上

그림 6. 임펄스性 雜音 振幅 分布
Fig. 6. Amplitude distribution of impulsive noise.

그림 6^[4]는 우리 나라의 市内通話系(各 自動交換局, 裝荷回線)인 音聲帶域에서의 임펄스性 雜音의 振幅分布의 測定結果를 나타낸 것이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 EMD交換機는 Strowger 交換機의 短點을 改善한 方式임이 明確히 나타나 있다. EMD方式의 Strowger 方式에 對한 補完點中에서 제일 먼저 列舉해야 할 長點이 스위치의 摩擦部分이 없고, 接點의 高度信賴性과 雜音의 僅少에 있다. 그림 6에서 EMD方式은 임펄스性 雜音에 있어서 Strowger 方式에 比하여 顯著히 改善되어 있음을 알 수 있다.

3) 임펄스性 雜音의 變動(分散)^[2]

그림 7에 空間的, 時間的인 임펄스性 雜音數의 變動의 分布를 表示했다. 空間的 變動은, 交換局內의 트렁크(trunk)나 스위치의 位置, 케이블內의 回線의 信號

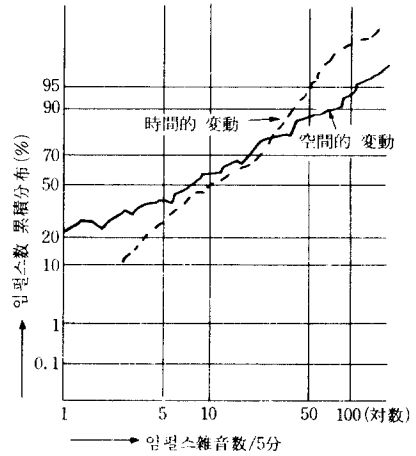


그림 7. 임펄스性 雜音數의 空間的, 時間的 變動
Fig. 7. Spatial and time variation of impulsive noise.

方式, 콰드(quad)의 位置等에 起因되는 것이며, 또 時間的 變動은 트래픽量, 保守 作業 時間等에 起因한다. 그림 7은 橫軸에 임펄스 雜音數를 取한 累積分布인데 大略 對數正規分布를 나타내고 있음을 알 수 있다.

또 그림 8에 우리 나라에서는 唯一한 EMD-Register 方式(서울 淸涼電信電話局의 交換方式)의 1日의 時刻別의 트렁크 및 임펄스性 雜音을 表示한 것이다. 트래픽(traffic)이나 保守作業과 임펄스性 雜音數에는 相關關係가 있다는 것을 明白히 나타내 주는 그래프이다.

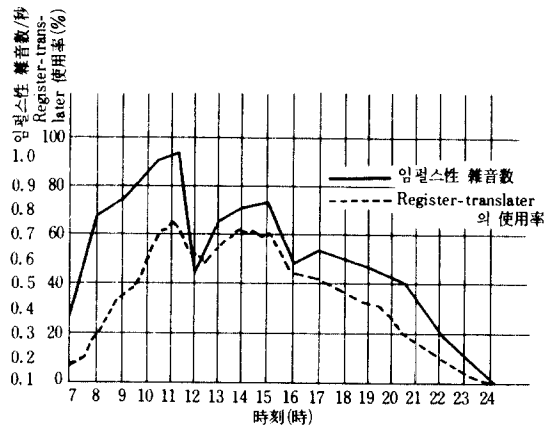


그림 8. 임펄스性 雜音과 트래픽量의 關係
Fig. 8. Correlation between impulsive noise and traffic volume in telephone exchange.

EMD-Register 방식은 EMD 방식으로서는 가장 標準 cross bar 交換方式에 가까운 우리 나라에서는 唯一의 방식이며, 또 크로스 바 交換方式은 機械式 交換方式으로는 가장 電子交換方式에 가까운 방식이다. 따라서 이 實驗은 앞으로 ESS 방식에 있어서의 實驗에도 聯關性을 주는 資料가 될 것으로 본다.

4) 임펄스성 雜音으로 인한 데이터 誤率의 推定과 實驗⁶⁾

今般의 임펄스성 雜音測定實驗에 使用된 모뎀은 國產 三益電子社製 SM 1200N bps 모뎀이었다. 이것으로 그림 9 과 같은 測定回路를 構成하고, 錄音된 임

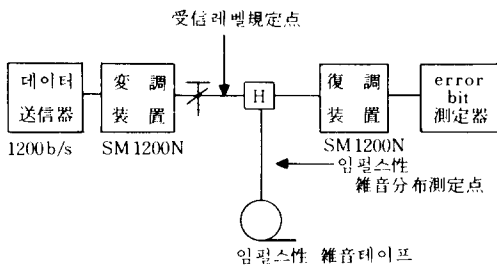


그림 9. 임펄스성 雜音에 의한 誤率測定回路

Fig. 9. Measuring circuit for error rate due to impulsive noise.

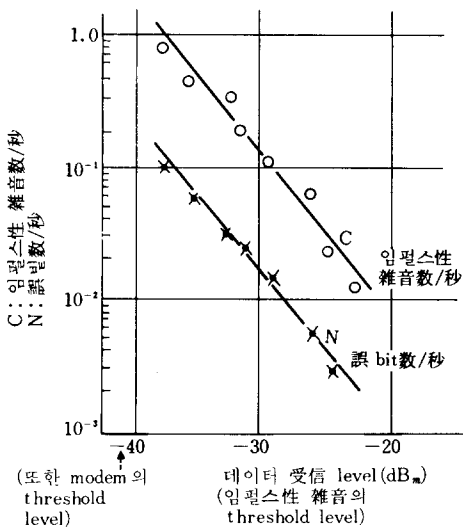


그림10. 임펄스성 雜音數와 error bit數의 關係의 1 例(三益電子社 SM 1200 bps FSK 方式의 例)
Fig.10. An example of correlation between number of impulsive noise and number of error bits(example of SM 1200 bps FSKSystem).

펄스성 雜音(交換機나 裝荷回線의 雜音을 테이프에 錄音한 것)과 送信 데이터信號를 HYB를 通해서 合成시켜, 데이터 受信레벨을 變化시켜서 誤 비트數와 이때의 임펄스성 雜音을 測定했다. 結果는 그림10같이 되었다. 임펄스성 雜音分布 C와 각 데이터 受信레벨의 誤 비트數 N와는 大略 同一의 傾斜를 이루고 있다. 이것은 임펄스성 雜音數와 誤 비트數의 比率 η 가 어느 受信레벨에서도 같다는 것을 表示하고 있으며, 이것으로부터 다음의 (5)式과 같은 關係式이 導出된다.

$$\begin{aligned} \text{bit 誤率} &= \frac{\text{誤 bit數}}{\text{傳送 bit數}} \\ &= \frac{\text{誤 bit數}}{\text{임펄스성 雜音數}} \times \frac{1}{\text{傳送 bit數}} \\ &\quad \parallel \quad \parallel \\ &\quad \eta \quad T \\ &\quad \times \text{임펄스성 雜音數} \\ &\quad \parallel \\ &\quad C \end{aligned} \tag{5}$$

即, η (誤 비트數/임펄스성 雜音數)가 受信레벨에 關係없이 一定值라고 하면, 임펄스성 雜音數의 測定結果로부터 誤率을 推定할 수가 있다는 뜻이 된다.

今般의 實驗에서 使用한 國產 모뎀 1,200 bps 방식에 對해서 여러가지로 實測한 結果 그림11에 表示하는 것같이 $\eta \approx 0.3$ 이 適當하다고 생각된다(나쁜 쪽을 豫想하고 累積分布의 90%值를 取하였음).

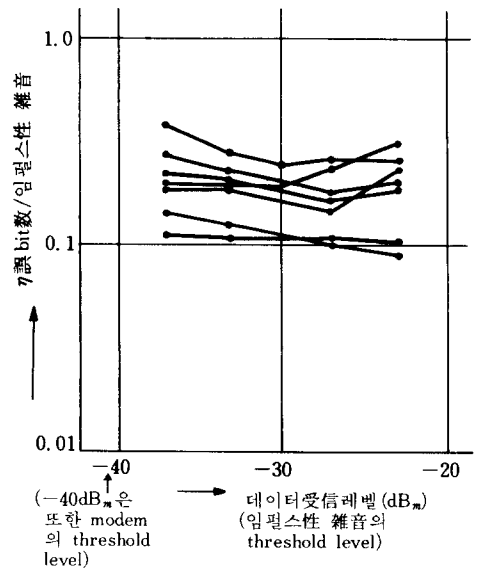


그림11. 各 데이터 受信 level에서의 임펄스성 雜音當의 誤 비트數
Fig.11. Number of error bits per impulsive noise at respective data receiving level.

5) 임펄스성 雜音의 測定法¹²⁾

4)에 表示한 바와 같이 임펄스성 雜音에 因해 發生하는 데이터信號의 誤는 임펄스성 雜音의 振幅分布, 即, 어떤 threshold level을 넘는 雜音數를 測定하면 된다는 것을 記述하였다(音聲通話에 對한 임펄스성 雜音의 妨害度로서는 펄스數가 아니고, 平均電力이 適當하며, 傳送基準에서는 長時間 評價平均電力으로 規定하고 있다). 그림12에 임펄스성 雜音 振幅分布의 測定系統圖를 表示한다. 即 임펄스성 雜音이 入力側으로부터 들어오면, 任意로 設定된 threshold level L_1, L_2, \dots, L_n 을 超越하는 雜音 펄스數를 各 카운터로 計數·蓄積·表示하게 되어 있다. 이 測定을, 어떤 定해진 時間測定하여, 各 threshold level에 對應하는 임펄스성 雜音數를 追跡하여 그러가면 振幅分布가 求하여진다.

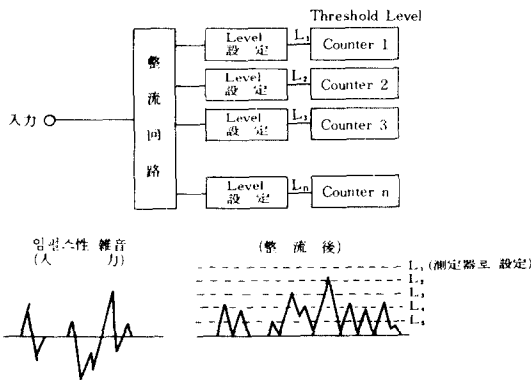


그림12. 임펄스성 雜音 振幅分布의 測定原理圖

Fig.12. Principle diagram for measuring amplitude distribution of impulsive noise.

今般의 測定時間은 60分으로 하였다(國際적으로 잘 사용되는 試驗時間隔은 5, 15, 30, 60分이다).^{12),17)}

임펄스성 雜音은 여러 外國에서도 實測이 많이 이루어지고 있으나 各國에서의 測定結果의 相互比較等을 容易하게 하기 위해 CCITT에서는 使用하는 測定器에 對해 勸告(V.55 및 H.13)하고 있다.^{17),8)}

임펄스성 雜音은 同一 回線이라도 時間帶에 따라 變하며, 또 回線間에서도 큰 差異를 나타내며, 95% 値는 平均値보다 約 1 자리 나쁜 値이다. 따라서 임펄스성 雜音의 妨害度의 評價에 關한 規定은 至極히 困難하며 CCITT에서도 規格의 設定에 對해서는 今後의 問題로 하고 있다.

今般 實地로 임펄스 雜音이 測定된 區間中 1例를

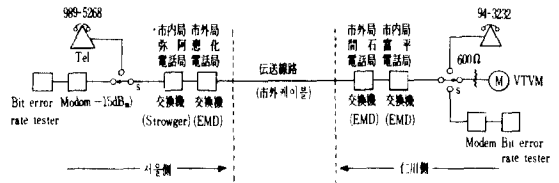


그림13. 임펄스성 雜音 測定結線網(서울~仁川間)

Fig.13. Connection diagram for measuring impulsive noise (Seoul~Inchon).

그림13에 表示한다. 우리 나라의 交換機는 現在까지의 Strowger 방식과 EMD 방식이 主宗을 이루고 있는데, 임펄스성 雜音의 發生과 그것이 데이터信號에 끼치는 影響을 實驗해 보려면 雜音의 發生率이 交換機中 가장 높은 Strowger 방식을 試驗對象으로 해야 한다. 그리하여 이 交換方式을 採擇하고 있는 彌阿電話局(그림13)을 選擇하였다. 그림13의 試驗系統圖에서 임펄스성 雜音이 發生하는 個所는 4個의 交換局과 또 이들의 交換機를 連結하는 傳送路가 그것이다. 彌阿電話局(서울)은 Strowger 交換機 그리고 惠化電話局, 開石電話局(仁川) 및 富平電話局(富平)은 EMD 交換機이다.

III. 데이터 傳送品質의 測定^{14, 5, 6)}

데이터 傳送品質에 나쁜 影響을 주는 여러 가지 要因中, 앞의 回線雜音이나 임펄스 雜音試驗은 그 一部에 지나지 않으나, 이것을 試驗해 본後에 데이터 傳送品質의 測定에 臨하게 되니 많은 도움이 되었다.

데이터 傳送回線의 品質은, 正確하게 데이터가 傳送되었는가 또는 그렇지 못했는가의 여부에 따라 判定되며, 目的에 따라 비트 에러 레이트, 블럭 에러 레이트 및 character error rate(誤字率) 등이 使用되나 本論文에서는 서울 市內 및 서울-仁川間의 交換電話回線의 BER(bit error rate) 및 BLER(block error rate)를 測定한 것이다.

비트 에러 레이트라함은 送信 bit數와 誤受信된 bit數의 比를 말하는데, 只今 N 비트가 送信되고, 受信 비트中 n個가 誤로 되어 있다면, 發 誤率 BER는 (6)식과 같은

$$BER = n/N \tag{6}$$

으로 된다.

BER는 character를 構成하는 비트數나, 1블럭의 길이에 無關係이며, 데이터 傳送回線의 品質을 比較하는 境遇에 一般으로 使用된다.

CCITT의 V.53의 勸告에 依하면 BER는 표1과 같이 專用回線의 境遇는 5×10^{-5} 이고 또 交換回線의 境遇는 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度로 勸告하고 있다(표1 참조).

표 1. CCITT에서 권고한 BER (bit error rate)

Table 1. CCITT recommendation on BER (bit error rate).

Modulation Rate (Bauds)	Connection	Maximum Bit Error Rate
1200	Switched (交換回線)	10^{-3}
1200	Leased (專用線)	$5 \cdot 10^{-5}$
600	Switched (交換回線)	10^{-3}
600	Leased (專用線)	$5 \cdot 10^{-5}$
200	Switched (交換回線)	10^{-4}
200	Leased (專用線)	$5 \cdot 10^{-5}$

블럭 에러 레이트는, 送信 블럭數에 對한 誤로 受信 된 블럭數의 比率로 定義된다.

블럭 에러 레이트는 비트 에러 레이트로부터 算出할 수 있는데 CCITT에서 勸告하는 블럭의 크기는 511 비트이므로 1200 bauds의 境遇, 블럭 에러 레이트는 표 2와 같이 된다.

표 2. CCITT 권고 block error rate

Table 2. CCITT recommendation on block error rate.

Modulation Rate	1200 Bauds
測定時間	15分=900秒
총 傳送 Bit 수	1,080,000 Bit
1 Block 중 Bit 수	511 Bit
15分間 傳送 Block 수	2113 Block

今般 測定된 市内區間에는 全体 5個의 Strowger 및 EMD 方式 交換局, 또 이들 局間의 局間中繼線 이 包含되어 있다. 이들 交換網의 데이터 傳送品質인 비트 에러 레이트 및 블럭 에러 레이트의 測定을 實施하기 前에 局間中繼線路의 周波數特性 (=線路損失)이 測定 되었다. 이때 構成하는 周波數 特性 測定系統圖는 다음의 그림14와 같이 構成하여 測定한다.

1) 市内 交換電話網의 傳送品質測定^{9, 10, 11)}

市内 電話局間의 測定은 過去에

(i) 서울 中央電話局~彌阿電話局 및

(ii) 서울 中央電話局~佛光電話局間에서 實施하였고, 最近의 試驗은,

(iii) 서울 元曉電話局~彌阿電話局 사이에서 實施되었다. 어느 境遇나 測定은 그림14과 같은 測定系統圖로 構成하여 實施하였다. 그 周波數 特性은 표 3과 같고 그 特性曲線은 그림15와 같았다.

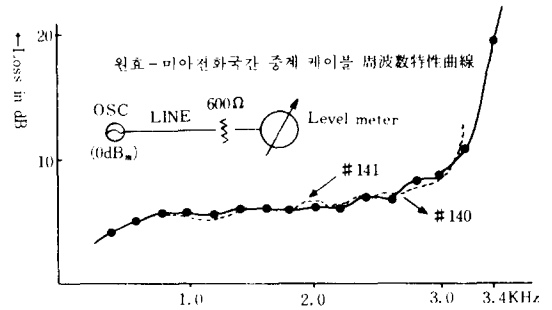


그림15. 원효-미아전화국간 중계 케이블 周波數 特性 曲線

Fig.15. Freq. characteristic curve of inter-office trunk between Wonhyo and Mia telephone exchange of Seoul.

표 3. 元曉-彌阿電話局間 中繼 cable lose 特性 (周波數 特性)

Table 3. Cable loss characteristic of inter-office trunk between Wonhyo and Mia telephone exchange (freq. characteristic).

回線No. / Freq. (KHz)	140	141	.....	159
0.3	3.6dB	3.1	.....	2.8
0.4	3.8	3.7	.....	3.2
0.6	4.6	4.5	.....	4.5
0.8	5.4	5.2	.....	6.0
1.0	5.5	5.4	.....	5.0
1.2	5.4	5.2	.....	5.0
1.4	5.9	5.8	.....	5.7
1.6	6.0	6.0	.....	5.9
1.8	5.9	6.0	.....	6.5
2.0	6.1	6.5	.....	5.9
2.2	9.0	6.2	.....	5.7
2.4	6.9	6.9	.....	6.4
2.6	6.4	7.1	.....	6.5
2.8	8.1	7.2	.....	2.4
3.0	8.2	8.0	.....	8.7
3.2	10.5	12.2	.....	9.2
3.4	20.2	12.2	.....	17.0

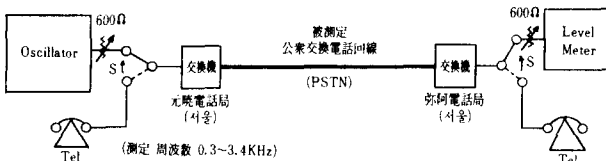


그림14. 線路損失 測定系統圖

Fig.14. Measuring block diagram for line loss.



그림16. 傳送速度 1200bps 및 2400 bps에 對한 公衆交換電話回線 試驗系統圖

Fig.16. Testing block diagram using public switching telephone network (PSTN) for transmission speed 1200 bps and 2400 bps modems.

표 4. 서울市内 電話交換網의 傳送品質

• 서울~仁川間 市外電話交換網의 傳送品質

Table 4. Transmission quality of urban telephone ex (Seoul).

(Transmission quality of toll telephone ex. network (Seoul~Inchon)).

(제 1 일)

(제 2 일)

區間	測定項目	測定值	測定時間	備考	
712-6433 ↕ 88-5268	1. Bit Error Rate at 1200 bps (變調方式 FSK)				
		제 1 회 측정	—	9:10-9:25	原因不明
		제 2 회 "	2.9×10^{-5}	9:30-9:45	
		제 3 회 "	4.4×10^{-5}	9:50-10:05	
		제 4 회 "	6.5×10^{-5}	10:15-10:30	* (票의 실명은 24 頁에 있음)
		제 5 회 "	6.8×10^{-5}	10:35-10:50	
		제 6 회 "	6.9×10^{-5}	11:00-11:15	
		제 7 회 "	5.5×10^{-5}	11:20-11:35	
		제 8 회 "	6.0×10^{-5}	11:45-12:05	
		제 9 회 "	3.8×10^{-5}	12:10-12:25	
		제 10 회 "	4.1×10^{-5}	12:30-12:45	
	最惡值	6.9×10^{-5}	11:00-11:15		
712-6433 ↕ 88-5268	2. Bit Error Rate at 2400 bps (變調方式 DPSK)				
		제 1 회 측정	3.8×10^{-5}	13:10-13:25	* (票의 실명은 24 頁에 있음)
		제 2 회 "	4.0×10^{-5}	13:30-13:45	
		제 3 회 "	4.3×10^{-5}	13:50-13:05	
		제 4 회 "	—	14:15-14:30	Carrier loss
		제 5 회 "	7.6×10^{-5}	14:35-14:50	
		제 6 회 "	8.1×10^{-5}	15:00-15:15	
		제 7 회 "	7.8×10^{-5}	15:20-15:35	
		제 8 회 "	7.4×10^{-5}	15:45-16:00	
		제 9 회 "	6.1×10^{-5}	16:10-16:25	
		제 10 회 "	8.0×10^{-5}	16:30-16:45	
	最惡值	8.1×10^{-5}	10:35-10:50		

區間	測定項目	測定值	測定時間	備考	
712-6433 ↕ 94-3232	1. Bit Error Rate at 1200 bps (變調方式 FSK)				
		제 1 회 측정	3.3×10^{-5}	9:10-9:25	
		제 2 회 "	3.8×10^{-5}	9:30-9:45	
		제 3 회 "	6.2×10^{-5}	9:50-10:05	
		제 4 회 "	—	10:15-10:30	Carrier loss (測定 miss)
		제 5 회 "	9.7×10^{-5}	10:35-10:50	
		제 6 회 "	9.4×10^{-5}	11:00-11:15	
		제 7 회 "	8.7×10^{-5}	11:20-11:35	
		제 8 회 "	9.0×10^{-5}	11:45-12:05	
		제 9 회 "	9.4×10^{-5}	12:10-12:25	
		제 10 회 "	8.4×10^{-5}	12:30-12:45	
	最惡值	9.7×10^{-5}	10:35-10:50		
712-6433 ↕ 94-3232	2. Bit Error Rate at 2400 bps (變調方式 DPSK)				
		제 1 회 측정	5.6×10^{-5}	13:00-13:25	
		제 2 회 "	5.0×10^{-5}	13:30-13:45	
		제 3 회 "	6.7×10^{-5}	13:50-13:05	
		제 4 회 "	6.9×10^{-5}	14:15-14:30	
		제 5 회 "	6.4×10^{-5}	14:35-14:50	
		제 6 회 "	9.6×10^{-5}	15:00-15:15	
		제 7 회 "	8.7×10^{-5}	15:20-15:35	
		제 8 회 "	9.4×10^{-5}	15:45-16:00	
		제 9 회 "	9.7×10^{-5}	16:10-16:25	
		제 10 회 "	9.0×10^{-5}	16:30-16:45	
	最惡值	9.6×10^{-5}	15:00-15:15		

그림14에 따른 電話局間 데이터 傳送品質測定 系統圖는 그림16과 같다. 그림16에 의거해서 實地로 構成한 元曉電話局과 彌阿電話局間的 試驗接續圖^[11]는 그림17과 같다.

그림16의 測定에서 표 4 와 같은 傳送品質 測定值을 얻었다. 1 回當 10^6 個의 bit를 送出하여 몇 個의 비트에러가 發生하였는가를 測定한 것이다. 本 測定에서는 1200 bps 및 2400 bps modem으로 測定되었는데 bit

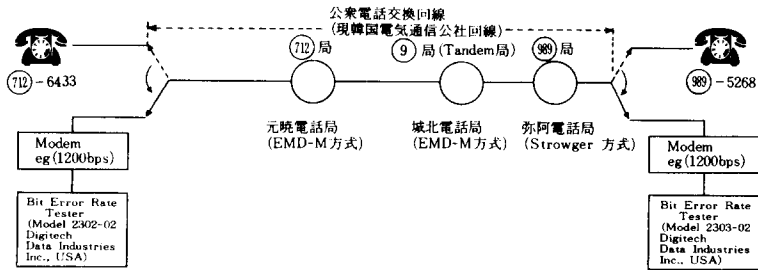


그림 17. 元曉-彌阿電話局間 데이터 傳送 品質 測定接續圖

Fig. 17. Measuring connection diagram for data transmission quality between telephone exchange Wonhyo and Mia (urban network).

표 5. 서울市内 電話交換網의 傳送品質

Table 5. Transmission quality of urban telephone exchange (Seoul).

(제 3 일)

區間	測定項目	測定值	測定時間	備考			
712 - 6433	Block error rate at 1200 bps (變調方式 FSK)	(1) WECO (63 bits)	제 1 회 측정	9:10 - 9:15			
					0.3×10^{-2}		
					($= 3 \times 10^{-3}$)		
					제 2 회 "	9:20 - 9:35	
					0×10^{-2}		
			제 3 회 "	9:30 - 9:45			
			0×10^{-2}				
			제 4 회 "	9:40 - 9:55			
			0.1×10^{-2}				
			제 5 회 "	9:50 - 9:55			
			0.5×10^{-2}				
			(2) CCITT (511bits)	제 1 회 측정	10:10 - 10:25		
						0.5×10^{-2}	
						제 2 회 "	10:30 - 10:45
						0.4×10^{-2}	
제 3 회 "	10:50 - 11:05						
0.7×10^{-2}							
제 4 회 "	11:15 - 11:30						
0.2×10^{-2}							
제 5 회 "	11:35 - 11:50						
0.5×10^{-2}							
(3) ICC (2047 bits)	제 1 회 측정	12:00 - 12:15					
			0×10^{-2}				
			제 2 회 "	12:20 - 12:35			
			2.5×10^{-2}				
			제 3 회 "	12:40 - 12:55			
2.8×10^{-2}							
제 4 회 "	13:00 - 13:15						
2.0×10^{-2}							
제 5 회 "	13:20 - 13:35						
1.7×10^{-2}							

• 서울~仁川間 市外電話交換網의 傳送品質

(Transmission quality of toll telephone ex. network (Seoul~Inchon)).

(제 4 일)

區間	測定項目	測定值	測定時間	備考			
712 - 6433	Block error rate at 1200 bps (變調方式 FSK)	(1) WECO (63 bits)	제 1 회 측정	9:15 - 9:20			
					0.7×10^{-2}		
					($= 7 \times 10^{-3}$)		
					제 2 회 "	9:25 - 9:30	
					0.2×10^{-2}		
			제 3 회 "	9:35 - 9:40			
			0.4×10^{-2}				
			제 4 회 "	9:45 - 9:50			
			1.5×10^{-2}				
			제 5 회 "	9:55 - 10:00			
			1.0×10^{-2}				
			(2) CCITT (511bits)	제 1 회 측정	10:10 - 10:25		
						1.8×10^{-2}	
						제 2 회 "	10:30 - 10:45
						2.0×10^{-2}	
제 3 회 "	10:50 - 11:05						
3.9×10^{-2}							
제 4 회 "	11:10 - 11:25						
3.2×10^{-2}							
제 5 회 "	11:30 - 11:45						
4.1×10^{-2}							
(3) ICC (2047 bits)	제 1 회 측정	12:00 - 12:15					
			7.0×10^{-2}				
			제 2 회 "	12:20 - 12:35			
			6.0×10^{-2}				
			제 3 회 "	12:40 - 12:55			
8.9×10^{-2}							
제 4 회 "	13:00 - 13:15						
9.1×10^{-2}							
제 5 회 "	13:00 - 13:35						
9.6×10^{-2}							

error rate는 표 4에서 보는 바와 같이 순 測定值가 CCITT의 V. 53 勸告值 10^{-3} (표 1 參照) 보다 훨씬 낮은 值 (= 좋은 值, 표 4에서 最惡值 6.9×10^{-5} , 8.1×10^{-5} , 9.7×10^{-5} 및 9.6×10^{-5} 라도 CCITT의 10^{-3} 보다 월등하게 良好한 值)를 나타내고 있다. (표 4의 測定值는 비트 에러 레이트 試驗器에서 直接 읽은 數值

이며, 平均值가 아님). CCITT Recom. V. 53에 勸告한 에러 레이트의 限界值는 1200 bauds의 傳送速度의 境遇, 公衆交換回線에서는 max. bit error rate는 10^{-3} 이다. 표 4의 bit error rate 中 最惡值는 1200 bps의 境遇 6.9×10^{-5} 이고, 또 2400 bps의 境遇 8.1×10^{-5} 로 나타났다. 또 測定表 4에서 測定值中에는 2400 bps

의 것이 1200 bps 의 것보다 오히려 良好한 것이 있는데 그것은 비트 에러란 捕捉되는 回線에 따라 또 時間帶에 따라 相異하며, 실사 同一回線이라 해도 電話 traffic 이 peak 인 時間帶(例 10:00~11:00時帶)에서는 1200 bps 쪽의 bit error rate 가 2400 bps 쪽보다 높은 値를 나타낼 수 있다(표 4 의 *等). 또 bit error rate 는 回線間에서도 큰 差異를 나타낼 수 있다.

300 bps 모뎀에 依한 測定은 行하지 못했다. 300 bps modem 은 求할 수가 없었다. 이것은 只今까지 우리 나라 one line system 을 보아도 現在 主로 1200 bps 모뎀을 使用하며 이것이 모뎀의 主宗을 이루고 있다. 우리 나라에서 生産되는 모뎀도 1200 bps 모뎀이 가장 많으며 데이터 通信回線을 測定하는데 있어 1200 bps 모뎀이 基準으로 되어 있다. 이것으로 既存 온 라인 시스템에서 데이터 通信이 良好하게 이루어져 왔음으로 이보다 低速인 300 bps 나 600 bps 는 別로 問題가 되지 않을 것으로 생각된다. 本 稿에서는 1200 bps 보다 오히려 速度가 빠른 2400 bps 를 試驗해 본 것이다.

다른 한편, block error rate 의 測定^{11,12)}은 몇個의 類形別로 모든 速度에 對하여 1회 試驗에 10³ 個

의 블럭을 傳送하여 몇個의 블럭의 에러가 發生 하였는가를 測定하였다. 10³ 個의 블럭을 通過시키는데 WECO類形은 30秒, CCITT類形은 3分 30秒, 또 ICC類形은 15分이 所要된다. block error rate 도 速度別, 類形別, 市内 및 市外回線別로 試驗하여 표 5 및 6 과 같이 여러번 測定되었다.

block error rate 도 블럭 사이즈가 WECO(63 bits), CCITT(511 bits), ICC(2047 bits)順으로 커짐에 따라 에러 레이트가 增加하며, 또 市内보다 市外가 더 큰 値를 나타내고 있음을 표 5 및 6 에서 알 수 있다. 비트 에러 레이트가 良好하면 블럭 에러 레이트는 當然 良好하다고 볼 수 있으므로 표 5 및 6 의 値에 對해서는 別로 檢討할 事項이 없다고 생각되었다.

2) 市外 交換電話網의 傳送品質測定(서울~富平間)

市外 交換電話網의 데이터 傳送品質의 測定도 全國에 걸쳐 長時日 實施하여야 하나 이는 老大的 費用과 人力없이는 不可能에 가까운 問題이므로 여기에서는 그 一部인 서울~仁川間의 市外回線의 데이터 傳送品質인 비트 에러 레이트와 블럭 에러 레이트를 測定한 것을 紹介한다. 그림 18은 그의 測定系統圖이다.

표 6. 서울市内 電話交換網의 傳送品質
Table 6. Transmission quality of urban telephone exchange (Seoul).

(제 5 연)

區間	測定項目	測定値	測定時間	備考
712 - 6433 ↓ 980 - 5268	Block error rate at 2400 bps (變調方式 DPSK)			
	(1) WECO (63 bits)			
	제 1 회 측정	0 × 10 ⁻²	13:20-13:25	
	제 2 회 "	0.9 × 10 ⁻²	13:30-13:35	
	제 3 회 "	0.6 × 10 ⁻²	13:40-13:45	
	제 4 회 "	0.5 × 10 ⁻²	13:50-13:55	
	제 5 회 "	1.1 × 10 ⁻²	14:00-14:05	
	(2) CCITT (511bits)			
	제 1 회 측정	0.5 × 10 ⁻²	14:15-14:30	
	제 2 회 "	1.3 × 10 ⁻²	14:35-14:50	
	제 3 회 "	1.8 × 10 ⁻²	14:55-15:10	
	제 4 회 "	1.0 × 10 ⁻²	15:15-15:30	
	제 5 회 "	1.9 × 10 ⁻²	15:35-15:50	
	(3) ICC (2047 bits)			
	제 1 회 측정	5.0 × 10 ⁻²	16:00-16:15	
제 2 회 "	3.7 × 10 ⁻²	16:20-16:35		
제 3 회 "	4.6 × 10 ⁻²	16:40-16:55		
제 4 회 "	4.3 × 10 ⁻²	17:00-17:15		
제 5 회 "	5.5 × 10 ⁻²	17:20-17:35		

서울~仁川間 市外電話交換網의 傳送品質
Transmission quality of toll telephone ex. network (Seoul~Inchon).

(제 6 일)

區間	測定項目	測定値	測定時間	備考
712 - 6433 ↑ 132 市外 (code) 02 市外 (code) 980 - 5268	Block error rate at 2400 bps (變調方式 DPSK)			
	(1) WECO (63 bits)			
	제 1 회 측정	0.0 × 10 ⁻²	13:20-13:35	
	제 2 회 "	0.6 × 10 ⁻²	13:20-13:35	
	제 3 회 "	2.4 × 10 ⁻²	13:40-13:45	
	제 4 회 "	3.2 × 10 ⁻²	13:50-13:55	
	제 5 회 "	3.0 × 10 ⁻²	14:00-14:55	
	(2) CCITT (511bits)			
	제 1 회 측정	6.4 × 10 ⁻²	14:15-14:30	
	제 2 회 "	5.9 × 10 ⁻²	14:35-14:50	
	제 3 회 "	8.7 × 10 ⁻²	14:55-15:10	
	제 4 회 "	7.8 × 10 ⁻²	15:15-15:30	
	제 5 회 "	6.3 × 10 ⁻²	15:35-15:50	
	(3) ICC (2047 bits)			
	제 1 회 측정	12.1 × 10 ⁻²	16:00-16:15	
제 2 회 "	18.9 × 10 ⁻²	16:20-16:35		
제 3 회 "	20.0 × 10 ⁻²	16:40-16:55		
제 4 회 "	—	17:00-17:15	原因不明	
제 5 회 "	30.0 × 10 ⁻²	17:20-17:35		

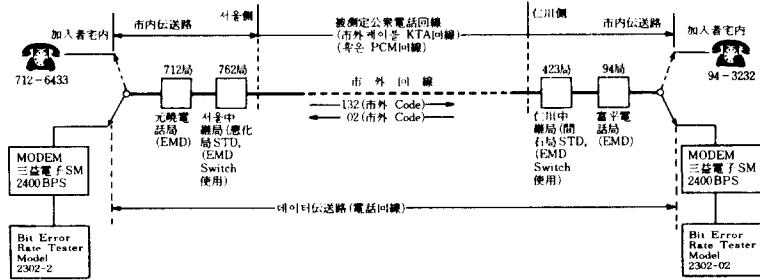


그림 18. 데이터 傳送을 위한 서울~仁川間 市外電話回線의 試驗接續圖

Fig. 18. Measuring connection diagram for data transmission quality between telephone exchange between Seoul~Inchon(toll network).

測定結果를 檢討해 볼 때 市内區間에서 비트 에러 레이트는 最惡值가 1200 bps의 境遇 6.9×10^{-5} , 또 2400 bps의 境遇 8.1×10^{-8} 을 나타낸다. 서울 ~ 仁川間의 市外데이터 傳送은 端局相互의 中繼回線에 包含되는 搬送 링크 때문에 市内通話接續系에 比하여 비트 에러 레이트가 높다. 集中局 區域外 通話系 즉 端局과 端局間의 링크數가 增加할수록 데이터 傳送品質을 低下함을 보여 준다.

IV. 結 論

今般의 試驗은 全体가 機械的 交換機에서 이루어졌으나 將次的 電子交換機間에서의 데이터 傳送品質 測定도 實施해 봐야 할 것이다. 그러나 現在 ESS 方式은 設置中에 있다. 今般의 試驗結果를 볼 때 비트 또는 블럭 에러 레이트는 1200 bps 및 2400 bps의 境遇, data 通信에 關한 CCITT의 勸告事項을 滿足했다. 더 高速인 4800 bps나 9600 bps는 測定해 보지 못하였다. 測定表 4, 5, 6을 볼 때 公衆交換回線을 2400 bps까지는 데이터 通信에 開放할 수 있다고 본다(遞信部는 1983年 3月 21日을 期해 이미 開放하였다. 이 開放은 1983年末까지 試驗運用 期間을 걸쳐 明年부터 公衆서비스에 들어간다. 이 論文은 開放前부터 研究를 始作한 것으로 研究途中에 公衆交換電話網의 開放을 맞이하게 된 것임).

특히 데이터 品質에 크게 影響을 주는 位相歪(群遲延歪)는 반드시 試驗하고 分析해 봐야 할 項目이다. 其他 減衰歪, 瞬斷, 位相跳躍 및 位相 jitter에 關해서 보다 廣範圍한 地域과 長時間에 걸친 研究와 測定을 해 볼 作定이다.

過去 KAIST 및 KETRI에서 廣範圍하고 長期에 걸친 試驗을 하였는데 비트 에러 레이트 및 블럭 에러 레이트 測定에 主力한 것이다. 그 後 公衆交換電話網의 開放에 對備하여 交換網의 여러 가지 特性(雜音, 減衰歪,

群遲延歪, 位相 jitter, 瞬斷(hit, short break 등)을 徹底하게 試驗한 줄 알고 있으나, 1983年 3月 公衆交換電話網을 開放한 以來 아직 試驗運用 期間中에 있어 上記의 試驗結果를 公表치 않고 있다. 또 只今도 上記 및 外의 特性을 繼續補完하고 있는 中인 것으로 안다. 試驗運用 期間 및 補完作業 期間이라면 各種 資料를 公表않는 것은 當然하다 하겠다.

參 考 文 獻

- [1] 施設 NTT 24-6號, pp. 130-141, June 1972.
- [2] 施設 NTT 24-7號, pp. 96-109, July 1972.
- [3] 施設 NTT 24-8號, pp. 132-144, Aug. 1972.
- [4] 데이터 伝送 星子幸男訳 라テイ스刊, pp. 222.
- [5] 데이터 伝送의 原理 라ッキー著, 星子幸男訳, 라テイ스刊, pp. 66.
- [6] 加入電話網을 利用する 데이터 通信等의 ための 技術參考, 日本電電公社, pp. 13-21, Aug. 553.
- [7] CCITT Orange Book, V-53 및 block error rate部分, vol. 8.
- [8] William R. Bennett & James R Davey, *Date Transmission*. McGraw-Hill, 1965. pp. 117, 1978.
- [9] Dixon R. Doll, John Wiley & Sons, *Data Communication*. pp. 75, 160, 367, 256, 184.
- [10] D.W. Davies and others, John Wiley & Sons, *Computer Network & Protocols*, pp. 21-25, 1970.
- [11] 체신부전기통신연구소, 전기통신연구소보, pp. 74-91, 5월 1970년.
- [12] 대한전자공학회지, vol. 16, no. 5. pp. 1-11, Oct. 1979.
- [13] 전기통신법령, 제 III집 (전기통신설비기술기준 86 조 전기적 규격) *