

# 착오 성능 평가방법 및 응용

이범철\* 이경철\* 김봉태\*

## 〈요 약〉

디지털 시스템에서 착오는 도처에서 발생하고 있으며, 특히 디지털 교환기에서 발생하는 착오는 교환기 성능 저하의 원인으로 음성왜곡, 정보의 손실, 효율 감소 등의 디지털 서비스에 영향을 주게 된다. 착오성능 평가는 시스템 성능 및 서비스 품질의 근거가 되는 기본 자료를 제공하기 때문에 시스템 전반에서 발생하는 착오에 대한 착오 성능을 평가하고 분석할 필요가 있다.

본 고에서는 최근 연구되고 있는 착오 성능 평가를 CCITT의 Study Group 연구 및 권고를 중심으로 해서 알아보고, 착오 성능 파라미터를 시스템 및 서비스에서 광범위하고 유용하게 이용하기 위해 착오 성능 파라미터를 통계적으로 해석한다.

## I. 서 론

교환기에서 제공되는 서비스가 음성 중심에서 다양한 디지털 서비스로 변화함에 따라 교환기의 착오 성능을 평가하는 방법이 달라지고 있다. 디지털 교환기에서 착오(Error)는 가입자 정합,

## 목 차

- I. 서 론
- II. 착오성능 평가방법
- III. CCITT Red Book 권고 G.821
- IV. 착오분포를 이용한 착오성능평가
- V. Poisson 분포
- VI. Neyman Type A Contagious 분포
- VII. 결 론

\* 교환회로개발실

국간 정합, 교환 등 도처에서 발생하고 있으며 이들 착오는 교환기 성능 저하의 주된 원천이며 음성 왜곡, 정보의 손실, 효율 감소 등의 디지털 형태의 서비스에 영향을 주게 된다. 따라서 교환기에서 발생하는 착오에 대한 착오 성능을 평가하고 분석함으로써 실제 운용 상태에서 예상되는 착오 성능에 대한 지침을 제공하고, 이를 이용하는 상위층(Higher Layer) 및 디지털망에 대한 기본적인 자료를 제공하게 된다. 또한 이 착오 성능은 교환기를 구성하고 있는 전송, 교환, 제어 장치 등에 대한 성능 표준이 되는 근거를 제공한다.

최근 착오 성능에 대한 연구에서 기억 소자 사용의 급증, 서비스의 디지털화, 전송 속도의 다양화 등으로 고전적인 BER(Bit Error Rate) 만으로는 시스템의 착오 성능을 평가하는 것은 무의미하다고 밝히고 있다.<sup>[12]</sup> 이에 따라 CCITT에서는 ISDN의 부분을 형성하는 국제 디지털 접속상의 착오 성능을 CCITT Red Book 권고 G.821에 권고하기에 이르렀고 여기서는 유선, 무선, 위성 등 총체적인 전송 시스템을 포함한 장차의 ISDN에 기초한 64Kbit/s 디지털 표준 가상 접속(HRX: Digital Hypothetical Reference Connection)에 대한 착오 성능을 권고하였다.<sup>[34]</sup>

그러나 이 권고에서는 착오 성능 평가 및 목표치가 64Kbit/s에 한정되어 있고 다양한 서비스에 대한 착오 성능 평가가 획일적이며, 측정 기간이 너무 길다는 지적이 있다.<sup>[5]</sup> 이에 따라 다양한 전송 비트 속도에서의 착오 성능 평가를 위한 CCITT Red Book 권고 G.821 보완<sup>[6]</sup>, 서비스 종류에 따른 착오 성능 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 고에서는 이와 같이 도처에서 발생하는 착오가 디지털 시스템 및 서비스에 주는 영향을 뿐만 아니라 착오 성능이 다른 여러 장치

등에 대한 성능 표준의 파급이 된다는 것을 중요시 하여, 최근 연구되고 있는 CCITT Study Group 보고서 및 권고를 중심으로 해서 기술하고, 착오 성능 평가를 전송뿐만 아니라 시스템 전반에 걸쳐 유용하게 이용하기 위해서 착오 성능 파라미터를 통계적으로 해석한다.

## II. 착오 성능 평가 방법

디지털 시스템에서 착오는, 시스템을 설치한 후에 시스템이 안정되지 않아서 발생하는 착오와 시스템 고장으로 발생하는 착오를 제외하면, 주로 무작위로 폭발적(burst)으로 발생하는데 이는 착오 발생 요소(온도의 변화, 전압 변동, 전자기 유도 및 간섭 등)가 무작위로 폭발적으로 발생하는데 근거한다.

디지털 시스템에서 비트는 데이터를 이루는 최소 단위가 되며 주로 데이터는 유한수의 비트 조합으로 구성된다. 또한 이들은 연속된 시간 주기(채널, 블록 등)로 나누어 처리되며 분할된 시간 주기 내에 각 비트 열은 독립된 정보로 처기되기 때문에 디지털 시스템에서 착오 성능은 착오 발생수에도 관계하지만 착오 발생 분포에도 관계한다. 따라서 총 측정 시간 동안 발생한 착오 비트 수만을 셈하는 고전적인 방법으로는 착오 성능 평가가 무의미하다.

또한 디지털 시스템에서 착오 정정, 착오 제어 등이 내장된 프로토콜을 널리 사용함에 따라 착오의 발생이 시스템 성능 및 서비스 품질에 새로운 형태로 작용하게 되었다. 따라서 이러한 요소를 고려한 분석적이고 실제적인 새로운 개념의 성능 평가 방법이 필요하다.

이에 따른 착오 성능 평가 방법으로는 충분히 긴 측정 시간을 일정한 측정 주기로 나누어 각각의 측정 주기내에 BER이 어떤 임계값을 초과한 주기를 셈하는 방법인데, 측정 주기 대신

전송된 블럭이나 메시지 중에 착오가 일어난 블럭이나 메시지를 셈할 수도 있다. 이 착오 성능 평가 방법은 착오의 발생이 시스템 성능이나 서비스 품질에 실제로 영향을 주는 정도를 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 이 착오 평가 결과가 시스템과 관계되는 다른 분야에 성능 표준 파급의 근거를 제시하기 때문에 교환, 전송, 서비스 등에서 최근 널리 사용되고 있다.

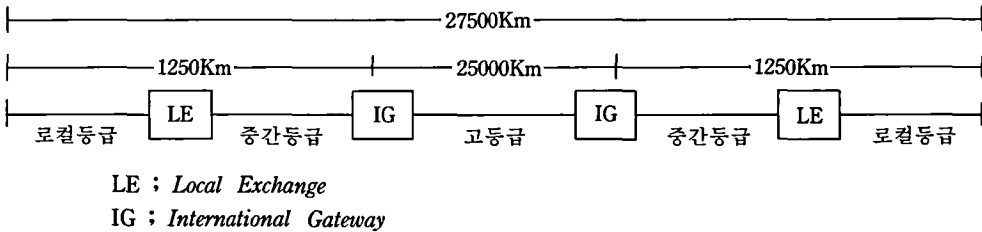
그러나 이 착오 성능 평가 방법은 측정 주기, 전송 비트 속도 등이 한정되기 때문에 모든 시스템에 같은 성능 평가 파라미터를 적용할 수 없을 뿐만 아니라, 서비스에 따라 성능 평가 파라미터도 달라질 수 있다. 따라서 전송 비트 속도, 측정 주기 등의 변화에 따른 착오 성능 평가 파라미터의 관계를 연구해 볼 필요가 있으며 여기서는 통계적인 방법을 사용해서 이

관계를 기술한다.

### III. CCITT Red Book 권고 G.821

교환기에서 제공되는 서비스가 음성 위주에서 ISDN 개념에 기초한 다양한 서비스로 바꾸어짐에 따라 착오 성능은 시스템의 성능을 평가하는 중요한 요소로 되었으며, CCITT에서는 통일된 착오 성능 규격을 권고하였다.

CCITT Red Book 권고 G.821의 성능 목표치는 가입자의 음성 및 비음성 데이터 채널로 이용되는 64Kbit/s 회선교환 접속에 대해서 권고되었으며 권고된 64Kbit/s 회선교환 접속은 유선, 무선, 위성 등의 총체적인 전송 시스템을 포함한 <그림 1>과 같은 디지털 표준 가상 접속이다.



<그림 1> 가장 긴 HRX의 회선 품질 구분

착오 성능의 목표치는 주기  $T_0$ 에서 BER이 어떤 임계값을 초과한 평균 주기의 백분율 값으로 기술되며 이때 이 값은 매우 긴 시간 간격  $T_L$ 에 걸쳐서 계산된다. 목표치 기술에 사용되는 BER과 주기는

- $T_0=1$ 초 동안  $1 \times 10^{-3}$ 보다 적은 BER,
- $T_0=1$ 분 동안  $1 \times 10^{-6}$ 보다 적은 BER,
- $T_0=1$ 초 동안 무착오(BER=0)

가 사용되며, 착오 성능을 기술하는데 사용되는

파라미터를 정리하면 다음과 같다.

- BER(Bit Error Rate): 측정 시간 간격내에 수신된 착오 비트 수를 수신된 총 비트 수로 나눈 값.
- 착오초(ES: Errored Seconds): 1초 주기로 각각의 주기 동안 하나 이상의 착오가 발생한 주기를 합한 값.
- 무착오초(EFS: Error Free Seconds): 1초 주기로 각각의 주기 동안 착오가

- 하나도 발생하지 않은 주기를 합한 값.
- 비가용시간(Unavailable Time): 10초 동안 연속해서 각각의 1초마다 BER이  $1 \times 10^{-3}$  보다 클 때 이 연속된 10초 주기의 시간의 합.
- 가용시간(Available Time): 총 측정 시간에서 비가용시간을 제외한 시간.
- 무착오초 백분율(%EFS: Percent Error Free Seconds): EFS를 초로 환산한 가용시간으로 나눈 것을 백분율로 나타낸 값.
- 심각한 착오초 백분율(%SES: Percent Severly Errored Seconds): 가용시간 중에 1초 주기로 각각의 주기 동안에 BER이  $1 \times 10^{-3}$ 보다 큰 주기의 합인 심각한 착오초(Severly Errored Seconds)를 초로 환산한 가용시간으로 나눈 것을 백분율로 나타낸 값.
- 저하된 분 백분율(%DM: Percent Degrade Minutes): 가용시간 중에 심각한 착오초를 제외한 시간에서 1초 주기로 각각의 1초 동안 BER이  $1 \times 10^{-6}$ 보다 큰 각각의 초를 더해 분으로 환산한 저하된 분(Degrade Minutes)을 분으로 환산된 가용시간으로 나눈 것을 백분율로 나타낸 값.
- 착오초 백분율(%ES: Percent Errored Seconds): 가용시간 초 안에서 착오초를 가용시간 초로 나눈 백분율.

위에서 기술한 평가 파라미터는 고전적인 착오 성능 평가 파라미터인 BER을 계산하는 것보다 복잡하고 산술적이기 때문에 수식으로 나타내는 것이 더 이해하기 쉽다. 언급한 파라미터를 수식으로 나타내기 위해 초로 환산한 전체 측정 시간을  $S_{TOTAL}$  초로 표시할때 가용시간  $S_{AVAIL}$  초는

$$S_{AVAIL} = S_{TOTAL} - S_{UNAVAIL} \dots\dots\dots (1)$$

이고 여기서  $S_{UNAVAIL}$  초는 초로 환산한 비가용 시간이다. 분으로 환산한 가용시간  $M_{AVAIL}$  분은

$$M_{AVAIL} = S_{AVAIL} / 60 \dots\dots\dots (2)$$

이다. 그리고 %EFS는

$$\%EFS = (EFS / S_{AVAIL}) \times 100 [\%] \dots\dots\dots (3)$$

이고 심각한 착오초를  $S_{SEVERE}$  초로 표시하면 심각한 착오초 백분율 %SES는

$$\%SES = (S_{SEVERE} / S_{AVAIL}) \times 100 [\%] \dots\dots\dots (4)$$

이다. 저하된 분을  $M_{DEGRADE}$  로 표시하면 저하된 백분율 %DM은

$$\%DM = (M_{DEGRADE} / M_{AVAIL}) \times 100 [\%] \dots\dots (5)$$

이며, 착오초 백분율 %ES는

$$\%ES = (ES / S_{AVAIL}) \times 100 [\%] \dots\dots\dots (6)$$

이다.

CCITT Red Book 권고 G.821에서는 국제간 ISDN 64Kbit/s 회선교환 접속에 대한 착오 성능 목표치를 저하된 분 백분율, 심각한 착오초 백분율, 착오초 백분율의 향으로 기술했다. 또한 여기서는 <그림1>의 HRX 전체와 각 회선 등급마다 착오 성능 목표치를 각각 배정하여 이 목표치에 규정된 모든 값을 초과하지 않도록 권고하고 있다.

<표 1>에 나타낸 것과 같이 착오 성능 목표치는 접속 전체인 27,500Km HRX에 대해서 상한값을 정했으며 회선등급에 따라 로컬등급은 각각의 단에 15%, 중간등급은 각각의 단에 15%, 고

<표1> 국제간 ISDN 64Kbit/s 회선교환 접속에 대한 착오 성능 목표치

회선등급	성능 저하된 분 백분율 (%DM)	심각한 착오초 백분율 (%SES)		착오초 백분율 (%ES)
27,500Km HRX	10%	0.2%		8%
		1년중 최약 의 달	나머지 달	
		0.1%	0.1%	
로컬등급(2개단 각각)	1.5%	0%	0.015%	1.2%
중간등급(2개단 각각)	1.5%	0.05%	0.015%	1.2%
고등급	4%	0.05%	0.04%	3.2%

등급은 40%의 백분율로 나누어 배정했다. 27,500 Km HRX의 심각한 착오초 백분율 목표치 0.2 %중에 0.1%는 언급한 회선등급 배정 비율을 따르고 나머지 0.1%는 전송 시스템에서 겪게되는 최악 조건의 망상태 발생 기간(최악의 달)에 적용하기 위한 허용치로 중간등급과 고등급에만 각각 균등하게 배정하였다.

각 회선등급 중에 교환기에서 관심있는 부분은 로컬등급과 중간등급이며 로컬등급을 구성하는 교환, 다중장치 등의 비트 착오가 전송장치의 비트 착오에 비해 무시할 만큼 작기 때문에 <표 1>에서 로컬등급의 착오 성능 목표치 값은 주로 가입자 정합장치 및 선로 특성을 제한하는 규격이 되며, 이 목표치는 64Kbit/s의 접속을 사용하는 모든 ISDN 서비스에 대한 교환기에서 최소한의 착오 성능 규격이다.

CCITT Red Book 권고 G.821에서 기술한 착오 성능 평가 방법은 시스템의 착오 성능을 구체적으로 나타내기 때문에 시스템의 운용 및 운용에 적절하게 사용될 수 있는 분석적이고 세밀한 방법이다. 그러나 이 권고는 64Kbit/s의 비트 속도에 제한이 되어 있고, 다양한 ISDN 서비스 종류 및 등급에 따른 구분이 없고, 교환기의 가입자 및 중계선의 전송 부분에만 집중되어 있는 등 교환기를 포함한 시스템 전반에 걸쳐 사용하기에는 문제점이 없지는 않다.

최근 CCITT Study Group XVIII에서는 64 Kbit/s보다 높은 상위 비트 속도에 대한 착오 평가 잠정안을 제시하였다.<sup>[6]</sup> 제시된 착오 성능 평가 방법은 64Kbit/s보다 높은 상위 비트 속도의 착오 성능을 64Kbit/s의 비트 속도에서 정규화된 %ES, %DM, %SES의 파라미터로 나타내게 되는데 1차군(primary rate)이상의 비트 속도에서의 %ES는

$$\%ES = (1/j) \sum_{i=1}^j (n/N) \times 100 [\%] \dots (7)$$

단 n이 N이상이면, (n/N)=1

이고, n은 측정되는 비트 속도에서 i번째 초에서 착오의 수, N은 측정되는 비트 속도를 64Kbit/s로 나눈 값, j는 1초 주기의 수로 환산한 총 측정 시간(비사용시간을 포함)이다. 1차군 이상의 비트 속도에서 측정되는 %DM은 64Kbit/s에서 정규화된 %DM과 같다. 1차군 이상의 비트 속도에서 %SES는

$$\%SES = Y + Z [\%] \dots \dots \dots (8)$$

이며 Y는 1차군 이상의 상위 비트 속도에서의 %SES이고, Z는 1차군 이상의 비트 속도에서 심각한 착오초가 아니면서 한 개 이상의 프레임 배열을 상실한 초의 백분율이다.

위의 잠정안에서 기술된 식을 사용하여 착오 평가를 한 결과를 CCITT Red Book 권고 G.821의 착오 성능 목표치에 대응시키는 문제는 아직 연구중이다.

### IV. 착오 분포를 이용한 착오 성능 평가

앞에서 기술된 착오 성능 파라미터를 여러가지 다른 접속 형태에서 적절히 사용하고, 착오 성능 목표치가 서비스 또는 시스템에 실질적으로 어떤 영향을 주게 되는지를 통계적으로 해석하기 위해 몇가지 가정을 하고 착오 분포에 대해서 기술한다.

실제 디지털 시스템에서는 수학적으로 간단하게 모델링이 어려운 여러가지 복합적인 요소에 의해 착오가 발생되므로 이들을 모두 고려한 착오의 분포를 정확하게 표현하기는 매우 어렵다. 그러나 시스템의 착오 성능 및 서비스 품질이 시스템에서 발생하는 착오의 분포에 따라 달라지기 때문에 시스템에서 발생하는 착오의

분포를 개략적이라도 나타낼 필요가 있다.

최근 디지털 시스템에서 발생하는 착오 분포를 여러가지 모델을 사용해서 기술하고 있는데 본고에서는 일반적으로 많이 사용하는 Poisson 분포 및 Neyman Type a Contagious 분포를 사용해서 착오 성능 평가 파라미터 중에 %EFS에 대해서 기술한다.

서비스 지향적인 착오 성능 파라미터인 %DM, %SES는 음성, 화상 등의 한정된 서비스에서 서비스 품질을 규정하는데 유용하게 쓰일 수는 있으나, 이들 착오 성능 파라미터가 시스템의 데이터 링크 층이나 그 이상 층 또는 시스템의 다른 여러 장치에서 %EFS보다 유용하지 않기 때문에 여기서는 기술하지 않는다.

## V. Poisson 분포

가정 1 :

- 착오는 stationary하고, 독립적으로 발생한다.
- 측정되는 비트 수는 상당히 크고, BER은 상당히 작다.
- 착오는 측정되는 전송 비트 속도 및 측정 주기에 관계없이 독립적으로 발생한다.

도처에서 발생하는 착오가 위의 가정1을 만족하면 임의의 측정 주기 내에 착오는 Poisson 분포를 갖게 된다. 즉, n개의 비트 중에 k개의 착오가 발생한 확률은

$$P_p(k) = (\lambda^k / k!) e^{-\lambda} \dots\dots\dots (9)$$

단,  $\lambda = np$ ,  $n = vT_0$ .

이고 여기서 v는 전송 비트 속도(bit/s), p는 장시간 측정한 BER,  $T_0$ 는 측정 주기이다.

%EFS는 식(2.3)과 식(2.9)에  $K=0$ 를 대입해서 구할 수 있다.

$$\%EFS = 100e^{-np} / A_p \dots\dots\dots (10)$$

단,  $A = 1 - N_p$ ,

이고, 여기서  $N_p$ 는 측정되는 대상이 고장(비가용) 날 확률이며 이 값이 매우 작기 때문에  $A_p$ 는 1로 근사된다. 식(10)의 %EFS는

$$\%EFS = 100e^{-np} \dots\dots\dots (11)$$

이다. 식(11)에서 알 수 있듯이 1초 동안에 전송된 비트 수와 장시간 측정된 BER이 증가함에 따라 %EFS가 감소하게 된다.

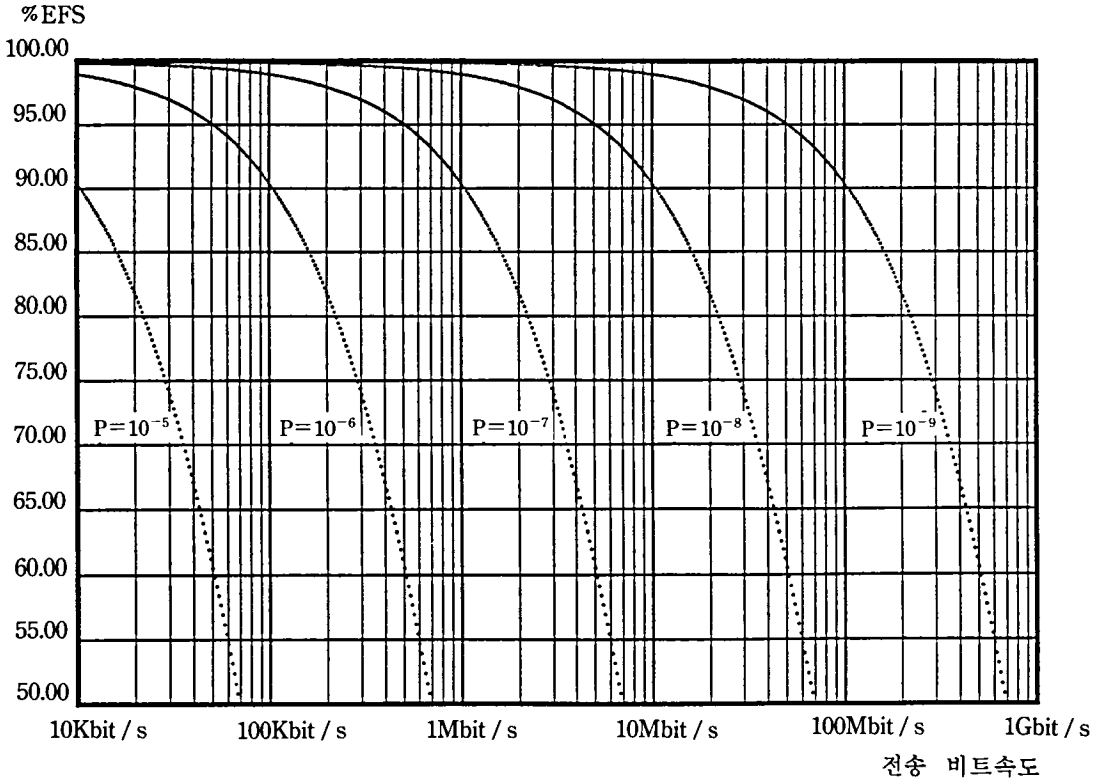
따라서 다수의 채널을 다중화시킨 후 프레임 배열 동기를 사용해서 전송하는 시스템에서 전송 비트 속도 증가에 따라 %EFS가 감소하므로 %EFS의 값을 유지시키려면 전송 비트 속도를 증가시킬수록 p를 줄여야 한다.

<그림 2>에 각 p값 및 전송 비트 속도에 대해서 %EFS를 나타냈다. <그림 2>에서 가로축은 대수 간격으로 표시된 전송 비트 속도이고 세로축은 등(linear)간격으로 표시된 %EFS인데,  $T_0 = 1$ 초이기 때문에 %EFS는 전송 비트 속도에 따라 지수적으로 감소하게 된다.

전송 시스템에서 발생하는 착오가 정확하게 Poisson 분포에 따라 발생하지도 않고 착오 분포가 프레임 구조, 전송 시스템 구조 등에 따라 시스템에 영향을 주는 정도가 다르기 때문에 <그림 2>에 보인 바와 같은 전송 비트 속도와 %EFS 관계만으로 시스템 착오 성능을 나타낼 수는 없다.

그러나, 같은 BER일때, 전송 비트 속도 증가에 따른 %EFS 감소 현상은 시스템 전반에 걸쳐 현저하게 나타나며, 프레임 또는 블럭 단위로 데이터를 전송하는 전송 시스템에서 전송 비트 속도와 %EFS 관계는 전송 효율에 중요한 요소가 된다.

식(11)에서  $n = vT_0$ 이므로 V를 상수로 하면



〈그림 2〉 BER이 각각  $p=10^{-5}, p=10^{-6}, p=10^{-7}, p=10^{-8}, p=10^{-9}$ 일때 전송비트 속도에 따른 %EFS

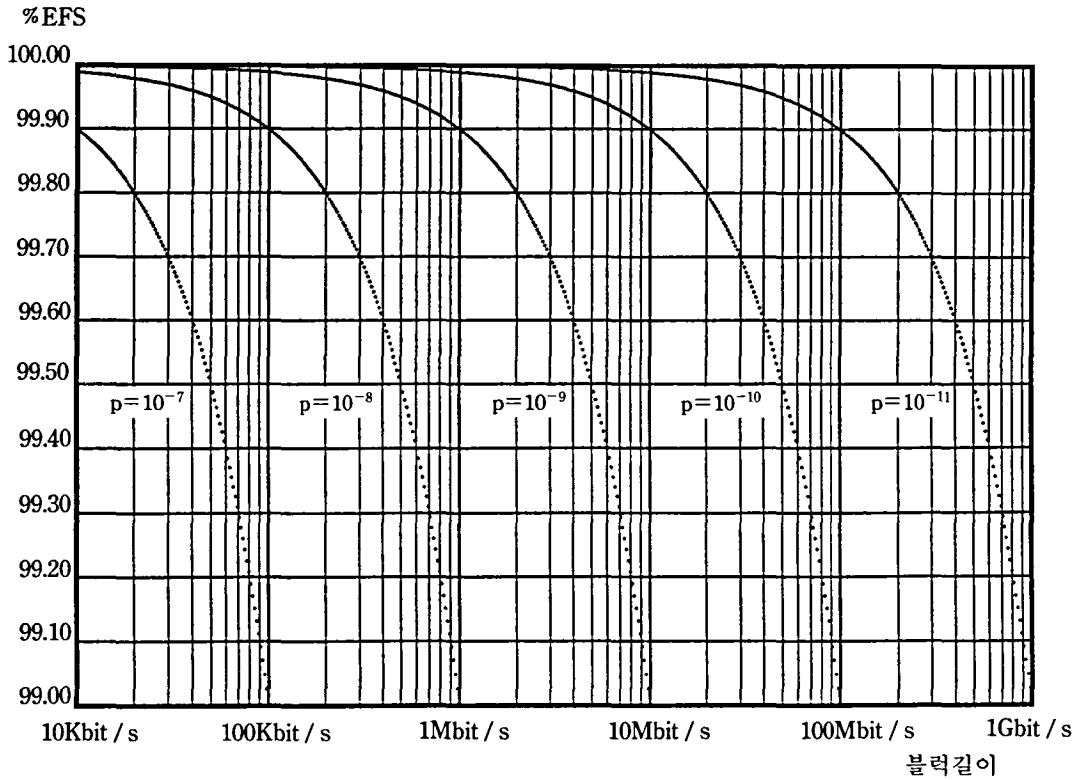
%EFS는  $p$ 와  $T_0$ 에 관계하게 되며 이때는 %EFS가 아니라 %EFT.S가 된다. %EFT.S는  $T_0$ 동안의 무착오 백분율(%EFT.S: Error Free  $T_0$  Seconds)인데 식(11)에 의해서, 같은 BER일때,  $v=64\text{Kbit/s}$ 이고  $T_0=1$ 초인 %EFS와  $v=640\text{Kbit/s}$ 이고  $T_0=0.1$ 초인 %EF100mS(Error Free 100 Milli Second)의 값은 같다.

식(9)에서  $n$ 을 블럭 길이(1블럭 동안에 전송된 비트 수)로 하면 식(11)은 %EFB가 되며 이 식은 데이터 링크 층에서 데이터 전송 단위인 블럭의 길이를 최적으로 정하는데 한 요소로 사용할 수가 있다. 〈그림 3〉에 블럭 길이에 따른 %EFB를 나타냈는데, 〈그림 3〉은 〈그림 2〉의 세로축과 가로축을 %EFB와 블럭 길이로 각각

바꾼 것 밖에는 〈그림 2〉와 차이가 없다. 또한, 전송되는 블럭의 크기와 %EFB의 관계를 상세히 알기 위해서 실제로 많이 사용되고 있는 범위인 %EFB가 99% 이상인 부분만을 확대해서 나타냈다.

〈그림 3〉에서와 같이 %EFB는 블럭 길이의 증가에 따라 지수적으로 감소한다. 따라서 블럭 길이를 길게하면 블럭내에 투명한(Transparent) 비트 수가 증가되기 때문에 전송 효율이 증가되는 것 같이 보이지만 블럭의 길이를 길게 하면 전송된 블럭에서 착오가 일어날 확률이 크기 때문에 재전송 회수가 증가하게 되어 실질적인 전송 효율은 감소하게 된다. 그러므로 여러가지 다른 요소(재전송 회수, 지연 시간,

프레임 구조)와 아울러 %EFB를 고려해서 블럭 길이를 정하면 실질적인 전송효율을 최대로 할 수 있다.



〈그림 3〉 BER이 각각  $p=10^{-7}$ ,  $p=10^{-8}$ ,  $p=10^{-9}$ ,  $p=10^{-10}$ ,  $p=10^{-11}$ 일때 블럭 길이에 따른 %EFB

## VI. Neyman Type A Contagious 분포

일정한 측정 주기로 시간 간격을 나누어 착오를 측정해 보면 측정 주기마다 착오가 고르게 발생하지 않고 간헐적이면서도 폭발적으로 발생하게 된다. 따라서 착오는 측정 주기마다 고르게 발생하지 않고 간헐적인 집단(cluster) 형태로 발생하게 되며, 집단 내에서 착오는 Poission 분포를 갖지만 착오 집단은 각 측정 주기마다 고르게 분포하지 않는다고 가정할 수

있다. 상위층에서 사용되는 프로토콜의 대부분이 재전송 기능이 있기 때문에, 같은 BER일때, 균일하게 발생하는 착오가 간헐적인 집단 형태로 발생하는 착오보다 시스템 성능 저하에 더 영향을 주게 된다.

가정2 :

- 착오는 간헐적인 집단(Cluster) 형태로 발생한다.
- 착오 집단 안에서 착오는 Poission 분포를 갖는다.



-총 측정 시간 안에서 각 착오 집단은 같은 분포를 갖는다.

도처에서 발생하는 착오가 가정2를 만족하면 임의의 측정 시간 내에 착오는 Neyman Type A Contagious 분포<sup>[7,8]</sup>를 갖게 된다. 즉, n의 개의 비트 중에 k개의 착오가 발생할 확률은

$$P_N(k) = (m_2^k / k!) \exp(-m_1) \left\{ \sum_{j=0}^{\infty} z^{(k/j)!} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

단,  $z = m_1 \exp(-m_2)$

이고, 여기서 표기상의 문제로  $e^x$ 를  $\exp(x)$ 로 표시하였으며  $m_1$ 은 측정 시간 내에 착오 집단의 평균 발생 수이고,  $m_2$ 는 착오 집단 내에 평균 착오의 수이다. 여기서 유도하지는 않지만 평균(mean)과 편차(variance)는 각각  $m_1 m_2 (1 + m_2)$ 이므로  $m_1 m_2 = v T_0 = np$ 이다. 측정 주기 내에(n 비트중에) 착오가 하나도 발생하지 않을 확률은

$$P_N(0) = \exp[-m_1 \{1 - \exp(-m_2)\}] \dots\dots\dots (13)$$

이며, 만일 측정 시간이 1초면 식(13)은 EFS이다. %EFS는 식(3)과 식(13)을 이용해서 구할 수 있다.

$$\%EFS = 100 \exp[-m_1 \{1 - \exp(-m_2)\}] / A_N \dots\dots\dots (14)$$

단,  $A_N = 1 - P_N$

이고, 여기서  $N_N$ 은 측정되는 대상이 고장날 확률이며 이 값이 매우 작기 때문에  $A_N$ 은 1로 근사한다. 따라서 식(14)는

$$\%EFS = 100 \exp[-m_1 \{1 - \exp(-m_2)\}] \dots\dots\dots (15)$$

이다. 식(15)에서 %EFS는 착오 집단 평균 발생 수에 반비례하고 착오 집단 내에 평균 착오의 수에는 비례한다.

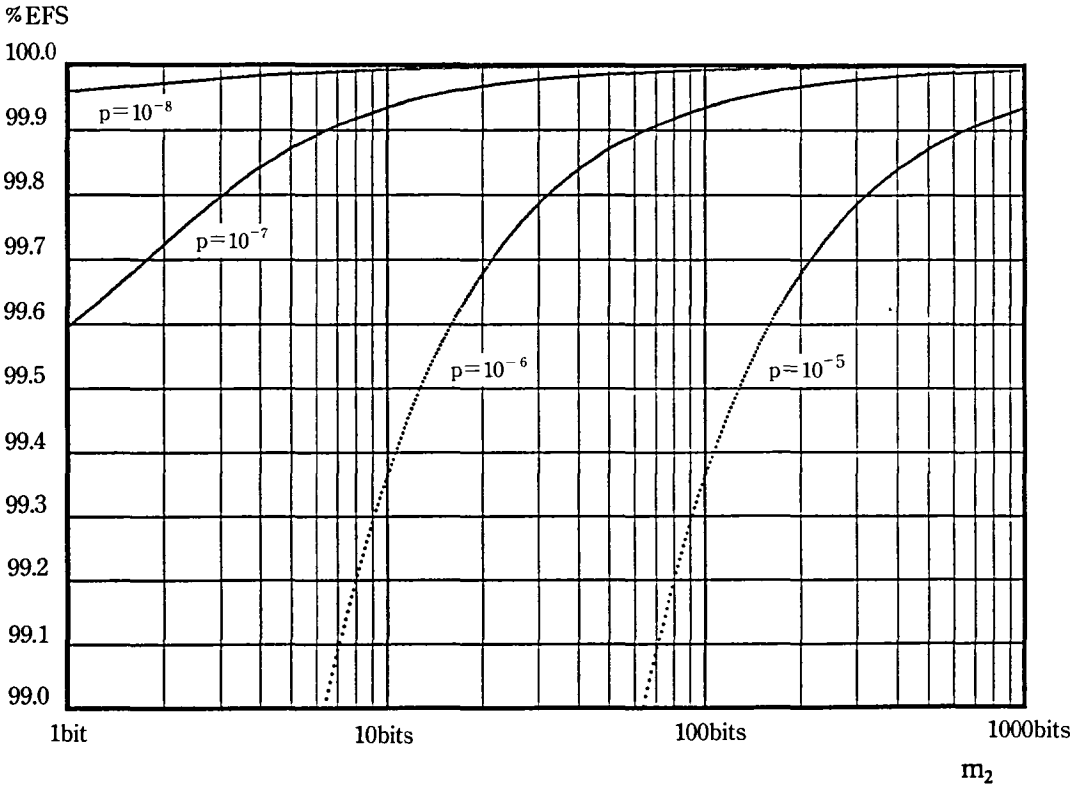
식(12)에서  $m_2$ 값이 커진다는 것은,  $m_1 m_2 = np$ 에서  $np$ 가 일정하면, 착오가 측정 주기마다 고르게 분포하지 않고 어떤 특정 주기에 몰려서 분포하고 있다는 것을 의미한다. 또한,  $np$ 가 일정할때,  $m_2$ 가 커지면 커질수록  $m_1$ 은 작아질 뿐만 아니라  $m_2$ 가 지수항의 지수로 들어가 있기 때문에 식(15)에서 %EFS는  $m_2$ 값의 변화에 민감하게 변하게 된다.

실제로 기억 소자를 많이 사용하는 시스템에서 착오는 식(9)보다는 식(13)과 같은 분포를 가지며, 착오가 간헐적인 착오 집단(채널, 블럭 등)내에 밀집해서 발생할수록 재전송 및 착오 복구의 수가 적기 때문에 착오가 시스템에 미치는 영향이 적다.

$v = 64 \text{Kbit/s}$ 이고  $T_0 = 1$ 초일때, 착오 집단 내에 평균 착오 수와  $p$ 를 변수로해서 %EFS를 나타내면 <그림 4>와 같다. <그림 4>는 %EFS와 착오 분포의 관계를 명확하게 나타내 주고 있는데, 여기서 주시할 것은,  $m_1 m_2 = np$ 에서  $np$ 값이 일정할 때,  $m_2$ 값의 증가에 따라 %EFS가 증가하는 것이라기 보다는 상대적으로  $m_1$ 값이 작아지기 때문에 즉, 착오가 특정한 측정 주기에 몰려서 발생하기 때문에 착오가 발생된 측정 주기 수가 상대적으로 작아져 %EFS가 감소한다는 것이다.

%EFS가 그 정의에 따라 1초 동안 발생한 착오의 수에 관계하는 것이 아니라 1초 주기로 나눈 측정 주기 중에 착오가 난 주기 수에 관계한다는 것을 <그림 4>에서도 알 수 있다.

<그림 4>에서, 같은 BER일때, 착오가 착오 집단 내에 밀집해서 발생할수록 %EFS가 지수적으로 증가되는데, 이것은 대부분의 시스템 및 서비스에서 %EFS가 BER보다 유용한 착오 성능 평가 파라미터로 이용될 수 있는 이유가 된다.



〈그림 4〉 BER이 각각  $p=10^{-5}$ ,  $p=10^{-6}$ ,  $p=10^{-7}$ ,  $p=10^{-8}$ 일때 집단 내에 착오의 수에 따른 %EFS( $v=64\text{Kbit/s}$ ,  $T_0=1\text{초}$ )

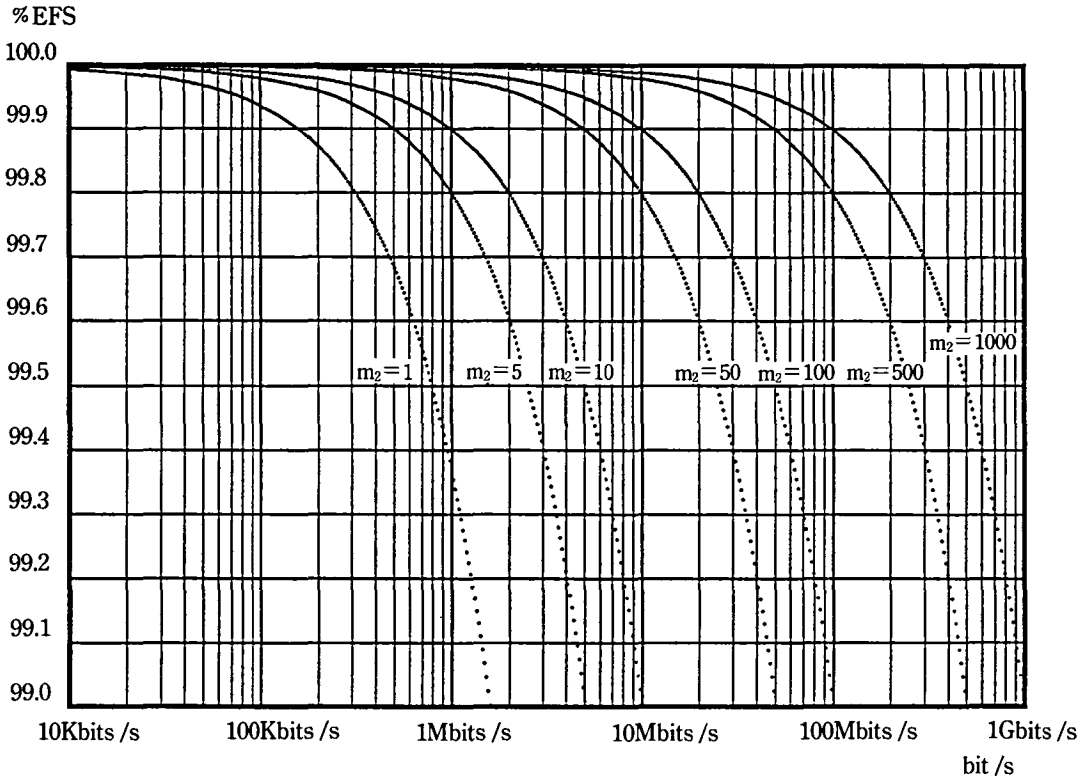
〈그림 5〉는  $p=10^{-8}$ ,  $T_0=1\text{초}$ 일때 전송 비트 속도와  $m_2$ 를 변수로해서 %EFS를 나타낸 것이다. Poisson 분포를 사용해서 나타낸 〈그림 2〉에서와 마찬가지로 〈그림 5〉에서도 전송 비트 속도가 증가함에 따라 %EFS는 지수적으로 감소한다.

실제로 시스템에서 착오를 측정해 보면 전송 비트 속도가 높을수록 폭발적으로 발생하는 착오 집단내의 평균 착오의 수는 증가한다. 이러한 현상은 시스템 또는 일부 서비스의 착오 성능을 평가할 때 반드시 고려되어야 하는데 이는 일반적으로 전송 비트 속도가 높을 수록 독립된 정보로 처리되는 비트 수(채널, 블록 비트 수)도 높아지기 때문이다.

이러한 현상을 고려할 때, Neyman Type A

Contagious 분포는 시스템에서 실제로 발생하는 착오 분포를 적절히 표현하는데 사용될 수 있으며, 이 분포를 이용하여 기술한 착오 성능 파라미터는 시스템의 착오 성능 평가 및 서비스의 품질 평가에서 광범위하고 유용하게 사용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

임의의 전송 비트 속도에서 측정된 %EFS는 그 전송 비트 속도에서 계산된  $m_1$ 와  $m_2$ 를 식(15)에 대입해서 구할 수 있는데 구해진 값은 어떤 특정 전송 비트 속도에서 %EFS 값이지만 앞에서 기술된 전송 비트 속도와 %EFS 관계를 고려할 때 정규화된 %EFS로 볼 수 있기 때문에 CCITT Red Book 권고 G.821에서 기술한 성능 목표치와 비교해 볼 수 있다.



〈그림 5〉  $m_2=1, m_2=5, m_2=10, m_2=50, m_2=100, m_2=500, m_2=1000$ ,  
일때 전송 비트 속도에 따른 %EFS ( $p=10^{-8}$ ,  $T_0=1$ 초)

## VII. 결 론

도처에서 발생되는 착오가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하고, 한정된 측정 조건(전송 비트 속도, 측정 주기 등)으로 인한 국부적인 평가를 시스템 전반에서 다양하게 사용하기 위해 착오 성능 평가의 몇가지 파라미터 중에 시스템 및 서비스에서 유용하게 사용될 수 있는 %EFS에 대해서 착오 분포를 이용해서 알아 보았다.

실제로 착오는 전송 방식, 프레임 구조, 하드웨어 구조에 영향을 받게되나 이러한 요소를 착오 성능 분석에 고려하기에는 너무 복잡하고 어려움이 많다. CCITT Red Book 권고 G.821은

ISDN개념에 기초한 다양한 서비스를 수용함에 따른 64Kbit/s 회선 접속에서의 착오 평가인데 여기서의 착오 성능 목표치는 전송 및 교환기에서 성능 표준의 근거가 된다.

착오 성능 평가 파라미터 중에 %EFS는 물리층을 이용하는 시스템(데이터 링크층 등)에서 블럭 길이를 정하는 유용한 파라미터로 사용할 수 있으며, %EFS는 실제 시스템의 착오 성능을 나타내는데 BER보다 의미있는 값이 된다.

시스템 착오 성능은 착오의 발생 수뿐만 아니라 착오의 분포에서 관계한다. 즉, 착오는 같은 BER일때, 착오 집단 내에 밀집해서 발생할 수록 데이터 링크 층 또는 그 상위층에서 착오로

인한 재전송 및 착오 복구의 회수가 적기 때문에 시스템에 영향을 덜 주게 된다.

일정한 측정 주기로 시간 간격을 나누어 착오를 실제로 측정해보면 측정 주기마다 착오가 고르게 분포하지 않고 간헐적인 집단(Cluster) 형태로 발생하게 되는데 이것은 Neyman의 Type A Contagious 분포로 설명할 수 있다. 같은 BER일때 착오 집단 내의 평균 착오수( $m_2$ )의 증가에 따라 %EFS는 증가하게 되는데 이것은 앞에서 기술한 실제의 시스템에서 착오 분포에 따른 착오 성능 관계와 잘 일치된다.

Neyman의 Type A Contagious 분포는 실제의 시스템에서 발생하는 착오 분포의 특성을 적절히 표현하기 때문에 다양한 전송 비트 속도, 측정 주기 등에 따른 착오 성능 파라미터를 이해하고 응용하는데 도움을 주게 되며, 이것을 이용한 착오 성능 평가 방법은 시스템의 착오 성능을 구체적으로 나타내기 때문에 시스템 개발 및 운용에 적절하게 사용될 수 있다. 이 착오 성능 평가 방법을 이용한 교환기의 착오 성능 결과는 전송, 교환, 제어 등에 대한 성능 표준이 되는 근거를 제공하게 된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] V. I. Johannes, "CCITT Performance Standards for Digital Networks—Including ISDN," Proc. CCITT SG XVIII Seoul Meeting Seminar, Jan 1988.
- [2] A. R. K. Sastry, "Performance Objectives for ISDN's," *IEEE Comm. Magazine* Vol. 22 No.1, p49–55, Jan 1984.
- [3] CCITT, "Error Performance on an International Digital Connection Forming Part of Integrated Services Digital Networks," CCITT Red Book, 1984.
- [4] CCITT SG XVIII, "An Error Apportionment Strategy Based on Circuit Quality," CCITT SG XVIII Contribution, No.192, 1983.
- [5] K. Takahashi, Y. Yamamoto, H. Wataya, "Error Performance Evaluation Procedure of Digital Networks," *IEEE GLOVECOM'87*, Vol. 2 No.29.11, p1125–1129, Nov. 1987.
- [6] CCITT SG XVIII, "Revised Recommendation G.821," CCITT SG XVIII Report R53(C), Feb. 1988.
- [7] J. Neyman, "On a New Class of 'Contagious' Distributions, Applicable in Etomology and Bacteriology," *Ann. Math. Statist.* 10, p35–57, 1939.
- [8] CCITT SG XVIII, "Error Performance Objectives for Integrated Services Digital Networks," CCITT SG XVIII Contribution No.369, Jan. 1980.
- [1] V. I. Johannes, "CCITT Performance Standards for Digital Networks—Including ISDN,"