

---

# 나카가미 페이딩 채널에서 케환채널의 잡음을 고려한 ARQ 기법의 정보전송율 분석

황재문\* · 박진수\*\*

Throughput Analysis of an ARQ Scheme with Noisy Feedback Channel  
over Nakagami Fading Channel

Zai-Moon Hwang\* · Jin-Soo Park\*\*

---

본 연구는 과학기술부 한국과학재단지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

---

## 요 약

본 논문에서는 ARQ 기법의 성능을 정확히 분석하기 위해 케환채널의 잡음을 고려하여 시스템의 성능을 분석하였다. 상태도를 이용하여 ARQ 메카니즘을 표현하였고, 신호흐름 그래프에 대한 생성함수를 이용하여 ARQ 기법의 정보전송율을 수학적으로 유도하였다. 채널은 광범위한 채널환경에 적용할 수 있는 나카가미-m 페이딩 채널모델을 사용하였으며, BPSK 및 BFSK 시스템에 ARQ 기법을 적용하여 케환이득과 페이딩 지수 m에 따른 시스템의 정보전송율을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 분석결과, 케환채널의 잡음이 증가할수록 ARQ 기법의 정보전송율은 감소하지만 케환이득과 페이딩 지수 m이 증가할수록 ARQ 기법의 정보전송율이 증가됨을 확인하였다. 또한 비트에러확률의 차이로 BFSK에 비해 BPSK의 정보전송율이 우수함을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, the throughput performance of an ARQ scheme is analyzed with noisy feedback channel, in order to exactly analysis for performance of an ARQ scheme. An ARQ mechanism is presented by state diagram, and the throughput of an ARQ scheme is mathematically derived using generation function for a signal flow graph. The channel is modeled by the Nakagami-m fading channel which is distributed over far and wide, and the throughput performance of an ARQ scheme, which is applied in BPSK and BFSK systems, according to feedback gain and fading index m is analyzed through computer simulation.

In the results, It is shown conformed that the throughput of an ARQ scheme decreased according to the increase of the noise for feedback channel, but it increased according to the increase of the feedback gain and fading index m. Also, it is shown that the throughput of an ARQ scheme using BPSK system is superior to BFSK system because of the difference of bit error probability between BPSK and BFSK systems.

## 키워드

Feedback Noisy Channel, ARQ, Throughput, State Diagram, Nakagami-m Fading, BPSK, BFSK

---

\*극동정보대학 컴퓨터게임과

\*\*청주대학교 전자공학과

I. 서론

통신선로 상에서 발생하는 에러를 제어하기 위한 방법에는 크게 FEC(Foward Error Correction) 기법과 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 기법이 사용된다[1,2]. 에러제어를 위해 (n,k) 선형부호를 사용하였을 때, FEC 기법은 전송에러에 관계없이 정보전송율을 항상  $R=k/n$ 으로 유지할 수 있으나, 수신팩트에 포함된 오류를 검출하고 정정하면 복호에러의 유무에 관계없이 패킷을 사용자에게 전달하기 때문에 전송에러가 부호의 에러정정 능력보다 증가될 경우에는 높은 신뢰도를 얻기 어렵다. 반면 ARQ 기법은 패킷이 성공적으로 수신되면 ACK(Positive Acknowledgement)를 송신기로 전송하고, 수신팩트에 에러가 발생하면 NAK(Negative Acknowledgement)를 송신기로 전송하며, 송신기는 NAK를 수신한 패킷에 대해 재전송을 수행함으로써 높은 신뢰도를 얻을 수 있는 통신방식이다[3,4].

ARQ 기법의 성능을 분석하기 위한 대부분의 연구에서는 분석과 이에 따른 결과의 표현을 간단히 하기 위해 일반적으로 궤환채널에 잡음이 존재하지 않는 것으로 간주하고 시스템의 성능을 분석하였지만 이동통신 및 위성통신 등과 같이 무선채널을 이용하는 통신 시스템에서는 궤환채널의 잡음이 시스템의 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있다[5]. 궤환채널에 잡음이 존재할 경우 ACK가 NAK로 전환되거나, NAK가 ACK로 전환될 수 있으며, 또한 응답신호가 수신되지 않을 수 있다. 이러한 이유로 궤환채널의 잡음으로 인해 발생하는 응답신호의 에러를 ARQ 기법에 적용하여 통신 시스템의 성능을 평가하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다.

본 논문에서는 ARQ 시스템의 분석적 결과를 정확히 구하기 위해 궤환채널에 잡음이 존재할 경우 상태도를 이용하여 재전송 요구 메카니즘을 표현하였고, 상태도에 Mason의 공식을 적용하여 신호흐름 그래프에 대한 생성함수를 나타내었다. 채널은 광범위한 채널환경에 적용할 수 있는 나카가미-m 페이딩 채널로 모델화하였으며, BPSK(binary phaseshift keying) 및 BFSK(binary frequency shift keying) 통신 시스템에 ARQ 기법을 적용하여 페이딩 지수에 따른 시스템의 정보전송율을 평가하였다.

II. 시스템 모델

본 장에서는 동기검파 BPSK와 BFSK의 비트에러확률을 유도하였으며, 나카가미-m 페이딩 채널을 모델링하여, 페이딩 지수 m에 따른 평균에러확률을 유도하였다[6,7,8].

2.1 동기검파 BPSK와 BFSK의 비트에러확률

BPSK 변조방식에서 전송되는 2진 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega_0 t) = \sqrt{E} \phi_1(t) \quad (1)$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\omega_0 t + \pi) = -\sqrt{E} \phi_1(t) \quad (2)$$

여기서,  $0 \leq t \leq T$ 이고, E는 비트당 전송신호 에너지이고,  $\phi_1(t) = \sqrt{2/T} \cos \omega_0 t$ 이다. 그림 1, 2와 같이 동기 검파기를 설계하면 동기검파 BPSK와 BFSK의 비트에러확률을 적용할 수 있다.

$$P_B = \int_{\sqrt{2E/N_0}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du = Q\left(\frac{a_1 - a_2}{2\sigma_0}\right)$$

식 (3)에서  $a_1$ 과  $a_2$ 는 각각 식 (4)와 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_1 = \int_0^T s_1(t) \phi_1(t) dt = \sqrt{E} = \sqrt{E_b}$$

$$a_2 = \int_0^T s_2(t) \phi_1(t) dt = -\sqrt{E} = -\sqrt{E_b}$$

위 식에서  $a_1 - a_2 = 2\sqrt{E_b}$ 분산은  $\sigma_0^2 = N_0/2$ 가우시안 랜덤변수이므로, 동기검파 BPSK와 동기검파 BFSK의 비트에러확률은 각각 식 (6)과 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_B(\text{BPSK}) = \int_{\sqrt{2E/N_0}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du$$

$$= Q\left(\frac{a_1 - a_2}{2\sigma_0}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

$$P_B(\text{BFSK}) = \int_{\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}(1-\rho)}^{\infty} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du \quad (7)$$

$$= \int_{\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}}^{\infty} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

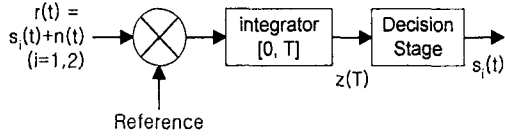


그림 1. BPSK 동기검파기  
Fig. 1 Coherent Detector of BPSK

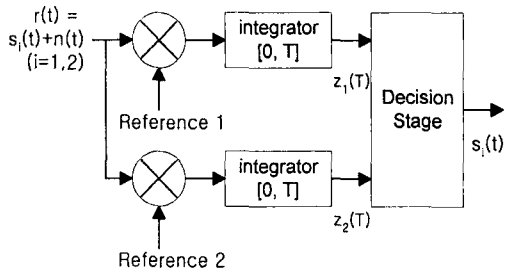


그림 2. BFSK 동기검파기  
Fig. 2 Coherent Detector of BFSK

### 2.2 나카가미-m 페이딩 채널

일반적인 통신 시스템에서 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 랜덤변수 Y가 x보다 클 경우 식 (8)과 같이 주어지는 Q-함수를 사용하여 확률을 계산할 수 있다[8].

$$Q(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sin^2\theta}\right) d\theta$$

식 (8)에 표현된 Q-함수와 페이딩 확률밀도함수 (probability density function:pdf)를 이용하여 디지털 통신 시스템의 평균에러확률을 구하면 식 (9)와 같다.

$$P_B = \int_0^{\infty} Q(a\sqrt{\gamma}) p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (9)$$

식 (9)에서 a는 변조와 검파의 조합에 의존하는

상수이고,  $p_\gamma(\gamma)$ 는 나카가미-m 분포로 식 (10)과 같이 나타낼 수 있으며,  $\gamma$ 는 심볼당 SNR(signal to noise ratio)을 나타낸다[9].

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\gamma^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma}\right), \quad \gamma \geq 0$$

식 (9)에 식 (10)을 대입하여 정리하면 나카가미-m 페이딩 채널하에서 통신 시스템의 평균에러확률을 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다[10].

$$P_B = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left[ \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{a^2 \gamma}{2\sin^2\theta}\right) p_\gamma(\gamma) d\gamma \right] d\theta$$

식 (11)에서 내부적분은  $\gamma$ 에 대한 MGF(moment generating function)로 식 (12)와 같이 나타낼 수 있으며, 식 (12)를 식 (11)에 적용하면 평균에러확률은 식 (13)과 같이 수정될 수 있다.

$$M_\gamma(s) \triangleq \int_0^{\infty} e^{s\gamma} p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (12)$$

$$P_B = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} M_\gamma\left(-\frac{a^2}{2\sin^2\theta}\right) d\theta$$

식 (13)에서 a=1이면 BFSK의 평균에러확률이며, a=2이면 BPSK의 평균에러확률을 각각 나타낸다. 나카가미-m 분포에서 MGF를 다시 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_\gamma(-s) = \left(1 + \frac{s}{m}\right)^{-m}, \quad s \geq 0$$

식 (10)에서 사용된 나카가미-m 분포와 식 (14)에서 사용된 MGF를 식 (13)에 적용하면 평균에러확률은 다음과 같다[11].

$$P_B = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left(1 + \frac{a^2 \gamma}{2m\sin^2\theta}\right)^{-m} d\theta$$

적분공식에 의해 적분을 수행하면 m이 정수의 값

을 가질 때 평균에러확률은 최종적으로 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_B = \frac{1}{2} \left[ 1 - \mu \left( \frac{a^2 \bar{\gamma}}{2m} \right) \sum_{k=b}^{\infty} \binom{2k}{k} \left( \frac{1 - \mu^2(a^2 \bar{\gamma}/2m)}{4} \right)^k \right] \quad (16)$$

식 (16)에서  $\mu(\cdot)$ 는 식 (17)과 같이 정의된다.

$$\mu \left( \frac{a^2 \bar{\gamma}}{2m} \right) \triangleq \sqrt{\frac{a^2 \bar{\gamma}/2}{m + a^2 \bar{\gamma}/2}} \quad (17)$$

### III. ARQ 기법의 정보전송을 분석

궤환채널에 잡음이 존재할 경우, 수신기에서 송신기로 전달되는 응답신호는 ACK가 RQ(Repeat reQuest)로 변환되거나 RQ가 ACK로 변환될 수 있으며, 응답신호가 수신되지 않을 수 있다. 이러한 가능성을 조정하기 위해 추가적인 방법을 통한 재전송 요구 시스템의 분석 및 설계가 필요하다[12].

#### 3.1 궤환채널을 고려한 부가 프로토콜

■ 패킷이 초기화될 때마다 송신기는 패킷을 수신기로 전송한다. 매 주기마다 수신기로부터 어떤 응답신호가 수신되지 않으면 송신기는 응답신호를 RQ로 간주한다.

■ 수신기가 송신기로 RQ를 전송할 때 수신기의 상태는 초기화되어진다. 패킷에 대한 새로운 카피가 수신되지 않으면 RQ가 반복 전송된다.

■ 수신기가 패킷을 성공적으로 수신하면 송신기로 ACK를 전송하고, 수신된 패킷은 삭제된다.

궤환채널에 잡음이 존재할 경우 ARQ 시스템에 대한 상태도를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 state PI는 패킷 초기화 상태, state ED는 에러확인 상태, state RQ는 재전송요구 상태, state PA는 패킷수신 상태를 각각 나타낸다. Mason의 공식을 사용하면 경로 a, b, c, d, e, f, g에 따른 생성함수를 구할 수 있으며, 그 과정을 살펴보면 다음과 같다.

■ 순방향 루프(A→B)

$$K_1 = A \rightarrow PI \rightarrow ED \rightarrow PA \rightarrow B \quad F_1 = aeg$$

■ 루프

$$\begin{aligned} L_1 &= ED \rightarrow RQ \rightarrow ED & C_1 &= bd \\ L_2 &= RQ \rightarrow RQ & C_2 &= c \\ L_3 &= PA \rightarrow PA & C_3 &= f \end{aligned}$$

■ 비인접 루프

$$\begin{aligned} (L_1, L_3) & & C_1 C_3 &= bdf \\ (L_2, L_3) & & C_2 C_3 &= cf \end{aligned}$$

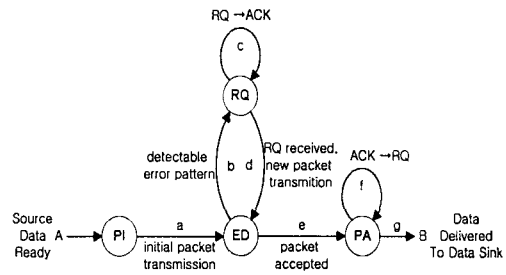


그림 3. 궤환채널의 잡음을 고려한 ARQ 기법의 상태도

Fig. 3. State Diagram for ARQ Scheme with Noisy Feedback Channel

3개 혹은 그 이상의 비인접 경로는 존재하지 않으며, 행렬식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta &= 1 - \sum_{L_1} C_1 + \sum_{L_1, L_m} C_1 C_m - \dots \\ &= 1 - (C_1 + C_2 + C_3) + (C_1 C_3 + C_2 C_3) \\ &= (1 - bd - c)(1 - f) \end{aligned} \quad (18)$$

단일 공통인자는 식 (19)와 같이 나타낼 수 있으며, 식 (19)을 이용하여 그래프에 대한 전달함수를 나타내면 식 (20)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 1 - \sum_{(K_1, L_1)} C_1 + \sum_{(K_1, L_1, L_m)} C_1 C_m \quad (19) \\ &= 1 - C_2 = 1 - c \\ T_{A \rightarrow B} &= \frac{\sum F_1 \Delta_1}{\Delta} = \frac{aeg(1-c)}{(1-c-bd)(1-f)} \quad (20) \end{aligned}$$

식 (20)을 통해 신뢰도와 정보전송율에 대한 정보를 구할 수 있다. RQ가 ACK로 ACK가 RQ로 각각

전환될 수 있도록 상태 RQ와 상태 PA에 대해 self-loop가 존재한다. 패킷이 수신되고 송신기가 확인신호를 수신하면 위의 과정은 중단되고 패킷의 모든 복사본은 시스템 버퍼에서 삭제된다. 수신패킷에러 확률 P(E)를 계산하기 위해 각각의 확률을 다음과 같이 정의한다.

$P_r$ =수신된 패킷에 검출 가능한 에러형태를 포함하고 있는 확률(재전송 요구 발생)

$P_e$ =수신된 패킷에 검출 불가능한 에러형태를 포함하고 있는 확률

$P_c$ =수신된 패킷에 에러가 존재하지 않는 확률

$$(P_r + P_e + P_c = 1)$$

$P_{RQ \rightarrow ACK}$ =잡음이 존재하는 케환채널로 인해 RQ가 ACK로 전환될 확률

$P_{ACK \rightarrow RQ}$ =잡음이 존재하는 케환채널로 인해 ACK가 RQ로 전환될 확률

위 내용을 식 (20)에 대입하면 수신패킷에러 확률 P(E)를 식 (21)과 같이 구할 수 있다.

$$P(E) = \frac{P_e(1 - P_{ACK \rightarrow RQ})(1 - P_{RQ \rightarrow ACK})}{[1 - P_{RQ \rightarrow ACK} - P_r(1 - P_{RQ \rightarrow ACK})](1 - P_{ACK \rightarrow RQ})} \quad (21)$$

$$= \frac{P_e}{(1 - P_r)}$$

### 3.2 SR ARQ 기법의 정보전송률

ARQ 기법에는 SW(stop and wait), GBN(go back-N) 그리고 SR(selective repeat) 프로토콜이 있으며, 일반적으로 정보전송효율이 가장 우수한 SR ARQ 프로토콜이 가장 많이 사용된다. 따라서 본 논문에서는 SR 프로토콜에 대한 경우만을 고려하기로 한다.

케환채널에 잡음이 존재할 경우 SR 프로토콜에 대한 패킷 전송도를 그래프를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 T에 대한 지수는 상태전이와 관련된 n-비트 패킷 전송수를 나타낸다. SR 프로토콜의 경우 상태 PA가 상태 PA로 변환될 경우에만 재전송이 발생한다.

식 (20)을 이용하여 SR 프로토콜에 대한 생성함수를 구하면 식 (22)와 같다. T에 대해 편미분하고

T=1을 대입하면 수신패킷에 대한 패킷전송의 기대값은 식 (23)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (22)로부터 SR 프로토콜에 대한 정보전송률은 식 (24)와 같이 구할 수 있다.

$$G_{SR}(T) = \frac{T(1 - P_r)(1 - P_{ACK \rightarrow RQ})(1 - P_{RQ \rightarrow ACK})}{(1 - P_{RQ \rightarrow ACK} - TP_r(1 - P_{RQ \rightarrow ACK}))(1 - TP_{ACK \rightarrow RQ})} \quad (22)$$

$$E_{SR} = \frac{1 - P_r P_{ACK \rightarrow RQ}}{(1 - P_r)(1 - P_{ACK \rightarrow RQ})} \quad (23)$$

$$\eta_{SR} = \left(\frac{k}{n}\right) \left(\frac{1}{E_{SR}}\right) = R \frac{(1 - P_r)(1 - P_{ACK \rightarrow RQ})}{1 - P_r P_{ACK \rightarrow RQ}} \quad (24)$$

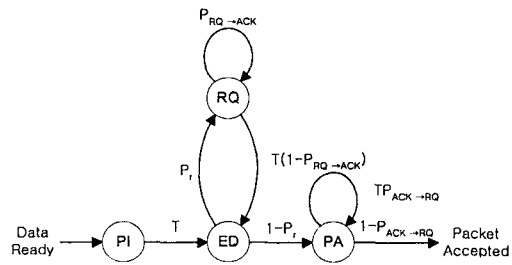


그림 4. SR ARQ 기법의 상태도  
Fig. 4. State Diagram for SR ARQ Scheme

### IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 잡음이 존재하는 케환채널을 고려한 ARQ 기법의 정보전송률에 대한 수치해석 결과를 나타내었다. 에러검출에는 (24,12) Golay 부호를 사용하였는데, 이 부호는 다중 에러 정정 능력이 뛰어난 부호로 알려져 있으며, Golay 부호의 에러비검출확률  $P_e$ 와 재전송요구확률  $P_r$ 은 각각 식 (25)와 식 (26)과 같다[3,12].

$$P_e = 759p^8(1 - p)^{16} + 2576p^{12} + (1 - p)^{12} + 759p^{16}(1 - p)^8 + p^{24} \quad (25)$$

$$P_r = 1 - (1 - p)^{24} \quad (26)$$

여기서, p는 나카가미-m 페이딩 채널하에서 BPSK와 BFSK 통신 시스템의 평균에러확률을 나타낸다.

그림 5에서 8까지 궤환이득이 10dB와 20dB인 경우, BPSK 변조방식과 BFSK 변조방식을 사용하였을 때,  $P_{ACK \rightarrow RQ}$ 에 따른 SR ARQ 기법의 정보전송율을 나타내었다. 그림에서 보듯이 궤환채널의 잡음이 증가할수록 시스템의 정보전송율이 감소함을 확인할 수 있으며, 궤환이득이 증가함에 따라 시스템의 정보전송율이 증가함을 확인할 수 있다.

또한, 페이딩 지수  $m$ 이 증가할수록 시스템의 정보전송율이 AWGN에 근접함을 알 수 있으며,  $P_{ACK \rightarrow RQ}$ 의  $E_b/N_0$ 가 5dB 이상이 되면 시스템의 정보전송율은 0.5로 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다. 이는 높은  $E_b/N_0$ 에서는 더 이상 AGQ 기법의 정보전송율이 증가하지 않음을 나타내는 것으로 채널환경이 좋아질수록 재전송 요구 회수가 줄어들기 때문에 정보전송율이 일정하게 유지됨을 의미하는 것이다.

그림 9와 10에는 궤환이득이 10dB와 20dB인 경우, BPSK 변조방식과 BFSK 변조방식에 따른 시스템의 정보전송율을 비교 분석하였다. 분석결과 BPSK 변조방식이 BFSK 변조방식보다 높은 정보전송율을 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 식 (6)과 같이 주어지는 BPSK의 비트에러확률과 식 (7)과 같이 주어지는 BFSK의 비트에러확률의 차이에 의해 발생하는 현상으로 시스템의 정보전송율이 0.5에 근접하기 위해서는 BFSK가 BPSK에 비해 궤환이득이 2배 증가해야 함을 의미하는 것이다.

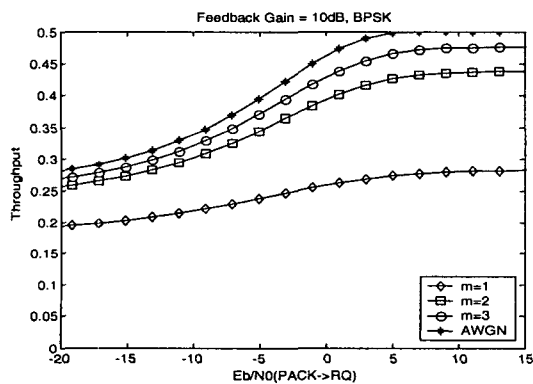


그림 5. BPSK를 적용한 SR ARQ 기법의 정보전송율  
Fig. 5 Throughput of SR ARQ Scheme with BPSK

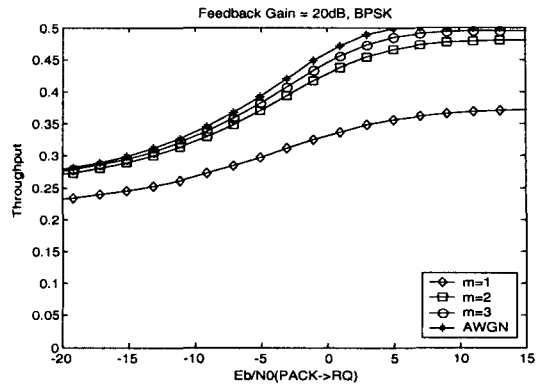


그림 6. BPSK를 적용한 SR ARQ 기법의 정보전송율  
Fig. 6. Throughput of SR ARQ Scheme with BPSK

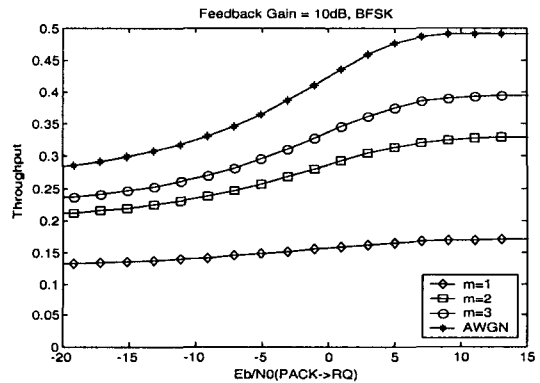


그림 7. BFSK를 적용한 SR ARQ 기법의 정보전송율  
Fig. 7. Throughput of SR ARQ Scheme with BFSK

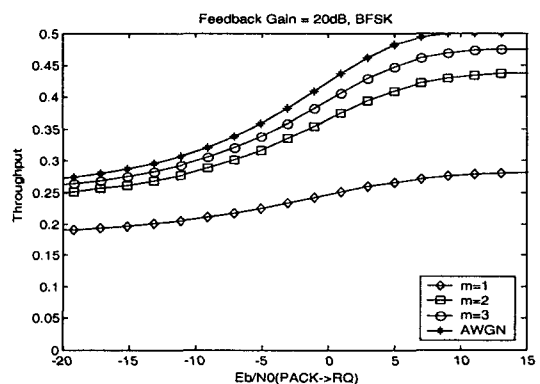


그림 8. BFSK를 적용한 SR ARQ 기법의 정보전송율  
Fig. 8. Throughput of SR ARQ Scheme with BFSK

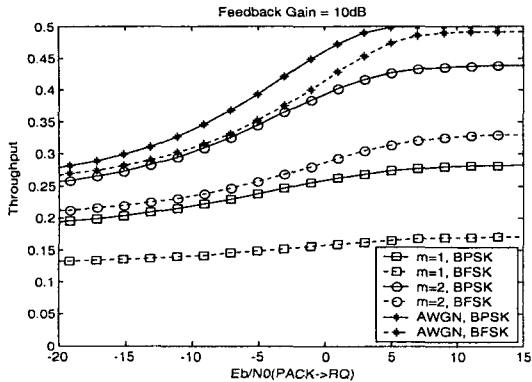


그림 9. 케환에러를 고려한 SR ARQ 기법의 정보전송율

Fig. 9 Throughput of SR ARQ Scheme with Feedback Error

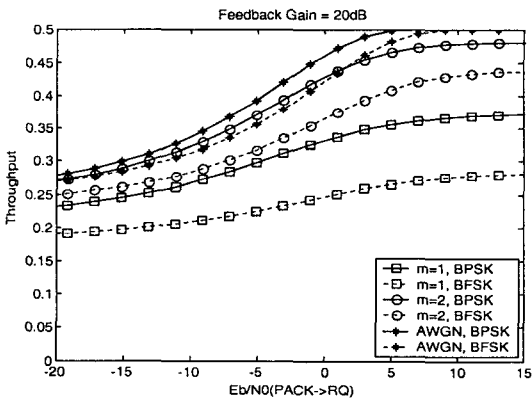


그림 10. 케환에러를 고려한 SR ARQ 기법의 정보전송율

Fig. 10. Throughput of SR ARQ Scheme with Feedback Error

### V. 결론

본 논문에서는 ARQ 시스템의 분석적 결과를 정확히 구하기 위해 케환채널에 잡음이 존재할 경우 상태를 이용하여 재전송 요구 메커니즘을 표현하였고, 상태도에 Mason의 공식을 적용하여 신호흐름 그래프에 대한 생성함수를 나타내었다. 순방향 채널과 역방향 채널은 광범위한 채널환경에 적용할 수

있는 나카가미-m 페이딩 채널로 모델화되었으며, BPSK 및 BFSK 통신 시스템에 ARQ 기법을 적용하여 페이딩 지수 m에 따른 시스템의 정보전송율을 평가하였다.

분석결과, 케환채널의 잡음이 증가할수록 정보전송율은 감소하지만 케환이득의 증가로 인해 시스템의 정보전송율이 증가함을 확인하였고, 페이딩 지수 m이 증가할수록 시스템의 정보전송율은 증가하지만  $P_{ACK \rightarrow RQ}$ 의  $E_b/N_0$ 가 5dB 이상이 되면 시스템의 정보전송율은 0.5로 일정하게 유지됨을 확인하였다. 또한 비트에러확률의 차이로 BFSK에 비해 BPSK의 정보전송율이 높게 나타남을 확인하였다.

결과적으로, 케환채널의 잡음은 ARQ 시스템의 정보전송율에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였고, 시스템의 정보전송율을 증가시키기 위해서는 채널의 이득을 적절히 조절하거나 변조방식을 적절히 선택해야 할 것으로 판단된다. 아울러 본 논문에서 분석된 결과는 에러제어 시스템의 분석을 위한 기초 기술로 활용될 수 있으리라 기대되며, 향후 케환채널에 잡음이 존재할 경우 시스템의 정보전송율을 증가시키기 위한 적응형 에러제어 알고리즘과 시스템이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] S. Lin, D. J Costello, and M. J Miller. "Automatic repeat request error control schemes," IEEE Trans. Commun. Mag., vol. 22, pp. 5-17. Dec. 1984.
- [2] A. Drukarev and D. J. Costello, Jr., "Hybrid ARQ error control using sequential decoding," IEEE Trans. Comm. Theory, vol. IT-29, pp. 521-535, July 1983.
- [3] S. B. Wicker, Error control Systems for Digital Communication and Storage. Englewood Cliffs, NJ: Prectice-Hall, 1995.
- [4] D. Chase, "Code combining-A maximum-lileelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noise packets," IEEE Trans. Commun., vil. COM-33, no. 5, pp.

385-393. May 1985.

- [5] R. Gold "Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-13, pp. 619-621, Oct. 1967.
- [6] M. Y. Rhee, Error Correcting Coding Theory, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [7] D. J. Costello, Jr., Error Control Coding: Fundamentals and Applications, Prentice-Hall, 1983.
- [8] T. Eng and L. B. Milstein, "Coherent DS-SS Performance in Nakagami Multipath Fading," IEEE Trans. Commun., vol. 43. No. 2/3/4, Feb/Mar/Apr, 1995.
- [9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple-access communications — Part I," IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [10] S. Kallel and Hacoan, "Sequential decoding with ARQ and code combining," IEEE Trans. Commun., vol. COM-36, pp. 775-779, July 1988.
- [11] T. Eng and L. B. Milstein, "Coherent DS-SS Performance in Nakagami Multipath Fading," IEEE Trans. Commun., vol. 43. No. 2/3/4, Feb/Mar/Apr. 1995.
- [12] Stephen B. Wicker, "Error Control Systems for Digital Communication and Storage," Prentice Hall, 1995.



박진수(Jin-Soo Park)

1975년 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1977년 한양대학교 대학원 전자통신 공학과 졸업(공학석사)

1985년 한양대학교 대학원 전자통신 공학과 졸업(공학박사)

1978년~현재 청주대학교 정보통신공학부 교수

1999년~현재 청주대학교 정보통신연구센터 소장

2000년~현재 한국정보처리학회 충북지부 지부장

※ 관심분야: 디지털 이동통신, 대역확산통신, 부호이론, 멀티미디어통신, 영상통신

### 저자소개



황재문(Zai-Moon Hwang)

1994년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1996년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2001년 2월 청주대학교 전자공학과 박사과정 수료

2001년 3월~현재 극동정보대학 컴퓨터게임과 전임강사

※ 관심분야: 이동통신, 위성통신, 부호이론