

## MATLAB에 의한 열차 데이터 전달 특성 해석

안상권, 최귀만<sup>✉</sup>, 김양모

충남대학교 전기공학과

### An analysis of data transmission characteristics in railway using MATLAB

Sang-Kwon Ahn, Gui-Man Choi<sup>✉</sup>, Yang-Mo Kim

Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National Univ.

**Abstract** - In signal system such as MAGLEV, the transmission channel that has wireless transmission line between on-board and ground-site is susceptible to have interference and may introduce data error on transmission.

In this paper, by applying inductive wireless and FSK(frequency shift keying) modulation using widely in railway signal system, we intend to analyze the data transmission characteristics. In this case, noise may have effect on transmission channel. Therefore transmission channel should be lessened the data error from random noise. Considering the transmission medium, the objective of this study is to analyze the transmission characteristics between on-board and ground-site and to obtain transmission performance.

### 1. 서론

유도무선 방식을 이용한 자기부상 열차의 지상과 차상 사이의 정보 전달은 열차의 안전운전, 고속운전 등을 위해 필요하다. 그리고 이러한 정보 전송을 위해 FSK 변조 방법이 고속으로 운행하는 열차의 신호시스템에 주로 적용되어져 왔다. 그러나 지상과 차상 사이의 전송 채널은 Power supply line(즉, LIM, Inverter, Chopper)의 간섭으로부터 데이터 오류를 충분히 줄일 수 있어야 한다. 이러한 소스로부터의 노이즈는 전송채널의 안테나 또는 트랜스미션 라인 어셈블리를 통해 정보 전송에 간섭을 줄 수 있다. 실제 전송 채널과 S/N비의 노이즈 특성은 임펄스 성질을 띠고 있기 때문에 정확히 평가하기가 어렵다. 해석 방법은 데이터 신호에 대한 PSD(power spectral density)를 알아보고, eye-pattern diagram에 의해 샘플링을 위한 결정점을 구하였다. 비트 에러율은 임의의 데이터 비트를 송신/수신 데이터 관계를 이용하여 계산하고, S/N비와의 관계를 확인함으로써 특성을 이해할 수 있다.

본 논문은 현재 시험중인 자기부상 열차에서의 정보 전달 특성을 다루고 있으며, 이를 위해 일반적으로 사용되는 문제 지향 시뮬레이션언어인 MATLAB과 SIMULINK를 이용하였는데 간단한 프로그램 구성과 강력한 함수의 제공으로 그래픽 해석에 실제적이고 경제적 이기 때문이다. 따라서 자기부상 열차 시스템의 지상과

차상 사이의 데이터 전송을 해석함으로써 전송 품질을 측정하고자 하였다.

### 2. 전송 모델 개요

#### 2.1 FSK 변조

본 연구에서 사용한 캐리어 주파수  $f_c$ 는 70kHz로써 지상에서 차상으로 데이터를 전송하는데 사용된다. 일반적인 FSK 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$f_c(t) = A \cos \omega_1 t$$

$$f_c(t) = A \cos \omega_2 t \quad (1)$$

$$f_1 = f_c - \Delta f = 68\text{kHz} \rightarrow 1(\text{binary } 1[\text{mark}])$$

$$f_2 = f_c + \Delta f = 72\text{kHz} \rightarrow 0(\text{binary } 0[\text{space}])$$

즉, 주파수 편이  $\Delta f$ 는 2kHz이고, FSK 신호  $f_c(t)$ 의 주파수 스펙트럼은 일반적으로 구하기 힘들기 때문에 FSK 신호 Eq.(1)과 같이 두 개의 주기적인 OOK(On-Off Keying)신호의 선형 중첩으로 구할 수 있다.[1]

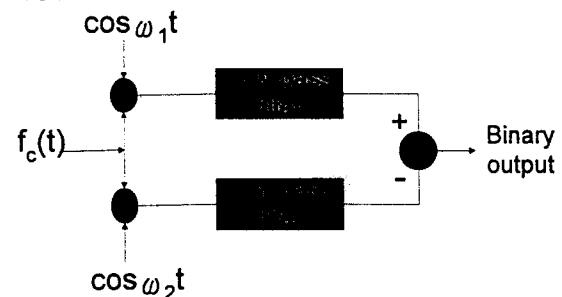


그림 1. FSK 신호의 detection

그림 1.은 FSK 신호를 복조함으로써 원래의 디지털 신호를 복원하는 부분을 나타낸 블록도이다.

튜닝을 유지하기 위해 FSK 주파수 편이는 캐리어 주파수에 비해 상당히 적은 범위를 유지해야만 한다. 바람직한 데이터 읊은 변조 지수를 통한 주파수 편이와 밀접한 관련이 있다.[2] 일반적으로 FSK의 변조 지수(m)의 최적값은 0.7로 알려져 있다.[3] 이는 데이터 읊(R)과  $\Delta f$ 의 관계를 나타내며 관계식은

$$m = \frac{2\Delta f}{R} \text{ 로 주어지며}$$

이때  $R$ (data rate)은  $5.7 \times 10^3$ 임을 알 수 있다.

## 2.2 해석 모델

통신 시스템은 한 지점에서 다른 지점으로 원하는 정보를 전달한다. 트랜с미터, 채널, 리시버 등의 세부분으로 나눌 수 있으며, 트랜с미터는 송신 신호의 변조와 인포메이션 코딩의 역할을 수행하고, 통신 채널은 트랜с미터에서 리시버까지 정보를 전달하는 기능을 행한다. 실제 시스템에서 통신 채널은 왜곡이나 원하지 않는 노이즈에 의해 영향을 받기 쉽다.[4]

그림 2는 본 논문에서 적용한 전송 루틴을 간단하게 나타낸 것이다. 비록 일반적인 전송 루틴과 비슷하지만 지상과 차상사이에 약 10cm 간격을 유지한 유도 무선 방식을 이용한 무선통신 공간과 트랜с미션 라인 어셈블리라는 전송 선로를 포함한 것이 특징이라 할 수 있다.

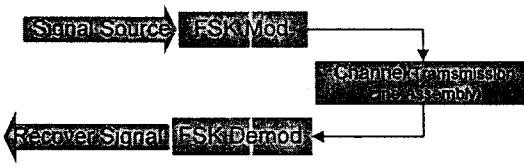


그림 2. 정보 전달 루틴

그림 3은 데이터 전달 특성을 해석하기 위한 모델로써 변조기에서 변조된 신호가 채널을 통하여 복조기에서 복원되기 전에 불규칙한 잡음의 발생으로 인해 데이터 오류를 일으킬 수 있다. 잡음의 원인으로 공기 역학적 간섭, power supply line 갑섭등 크게 두 가지로 분류할 수 있고, Power supply line은 LIM(Linear induction motor), 인버터, 초퍼 등에 의한 잡음이 많다. 특히 열차 신호에서는 Gaussian 잡음보다는 임펄스성 잡음에 의한 영향이 큰 것을 고려하였다. 실제의 노이즈 특성은 변조 특성, 수신기, 비트 감지를 위한 비트 오류 확률과 관계가 있다. 열차 신호 시스템에서의 실제 S/N비는 일반적으로 Gaussian 노이즈 성분보다는 임펄스성 성분을 띠기 때문에 정확히 측정하기가 어렵다.[5] 변조된 신호는 대역 통과 필터를 통해 그림 1과 같은 디렉터에 의해 신호의 복원이 이루어진다.

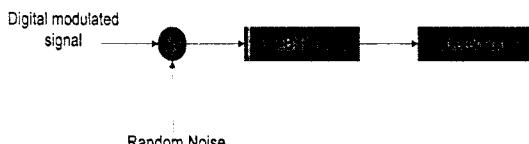


그림 3. 해석 모델

## 3. 정보 전달 해석

### 3.1 Simulink를 이용한 전송 모델링

지상과 차상사이의 정보전송은 양방향 통신을 전제로 하며 70khz와 90khz를 캐리어 주파수로 하고 본논문에서는 지상에서 차상으로의 정보 전송시의 70khz인 경우만을 해석하였다. 그림 4는 본 논문에서 해석을 위한 전송 모델로써 simulink를 이용한 것이다. 에러 정정 코드

로는 cyclic 코드를 적용하였는데 이는 다양한 수학적 구성 즉 다항식을 제공해주고 있으며, 인코딩과 디코딩을 쉽게 가능할 수 있도록 해준다.[6] 또한 변조는 패스 밴드 디지털 FSK를 이용하였다.

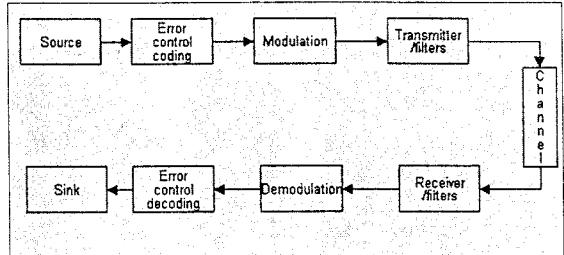


그림 4. Simulink를 이용한 데이터 전송 구성

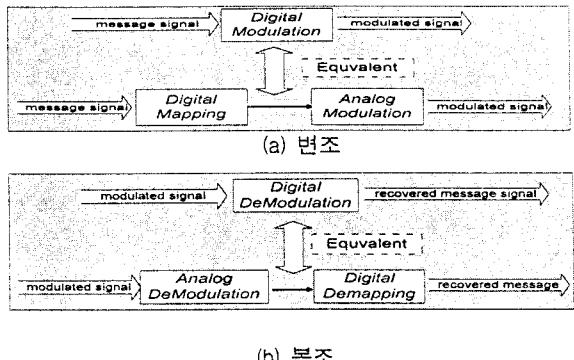


그림 5. Passband 디지털 변조 및 복조의 등가 블록도

그림 5는 패스밴드 FSK 디지털 변조와 복조의 SIMULINK 등가 모델이며 이를 적용하여 아래와 같은 그림 6의 해석을 위한 SIMULINK 모델을 설정하고 eye-pattern도와 비트 오류율 등을 구할 수 있었다.

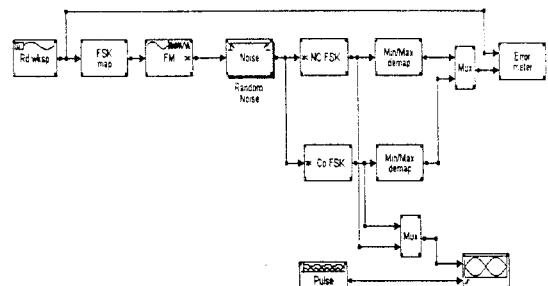


그림 6. 해석을 위한 SIMULINK 모델링

### 3.2 비트 에러율 해석

샘플링 시간을 위한 eye-pattern도는 그림 7에 나타낸 것과 같은데 이상적인 샘플링 시간( $t$ )은 eye-opening이 가장 클 때인 0.09임을 알 수 있다. FSK 변조의 캐리어 주파수가 70khz일 때의 PSD분포를 그림 8에 나타내었다. 변조 신호의 전압 크기는 12 V이며 캐리어 주파수에서의 PSD값은 72 dB로 나타남을 알 수 있다.

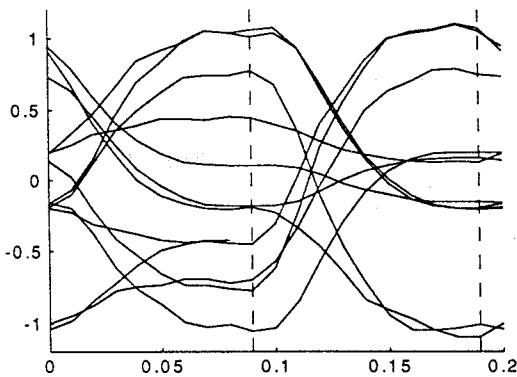


그림 7. Eye-pattern

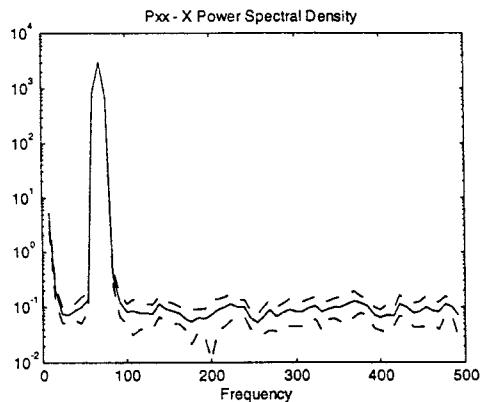


그림 8. FSK 신호의 PSD 분포

표 1. 비트 오류율

| transmission speed | bit per symbol | message transmitted | message received | detected errors | bit error rate        |
|--------------------|----------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| 1200 bps           | 8              | 2294400             | 2294399          | 1               | $4.35 \times 10^{-7}$ |
| 2400 bps           | 8              | 2294400             | 2294399          | 1               | $4.35 \times 10^{-7}$ |

표 1은 비트 오류율을 구한 것으로 전송 속도를 1200bps와 2400bps로 구분하고 심볼당 비트수를 8로 한 경우 약  $10^{-6}$ 이하의 값을 얻을 수 있었다.

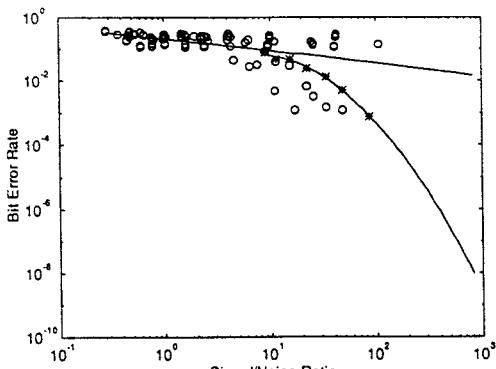


그림 9. BER-S/N 관계

그림 9는 S/N비와 BER과의 관계를 simulink를 이용하여 simulation 한 결과로써 비트 오류율을  $10^{-6}$ 정도 유지하기 위해서는 S/N비를 약 27dB 정도 확보해야 가능하

다. 결국 실제 환경에서 비트 오류를 줄이기 위해서는 공기 역학적인 간섭이나 power supply 시스템으로부터의 간섭을 얼마나 보호할 수 있는지의 여부가 중요하다.

비트 오류율을 향상시키기 위해 변조와 에러 채어 코딩의 측면에서 보면 변조와 코딩은 논리적으로 독립이지만 서로 강하게 독립되어 있다. 변조와 코딩 기술의 공동 목표는 스펙트럼 효율을 높이는 것이다. 고레벨의 변조방식은 주파수 이용 측면에서 효과적이나 설정된 BER 목표 값을 위해 필요한 S/N비를 얻기 어렵다. 변조에 앞서 에러 채어 코딩을 사용하면 요구되는 S/N 값을 줄일 수 있다. 코딩 기법은 채널잡음에 대항하여 정보 데이터를 보호하기 위해 최소량의 redundancy를 추가하는 것이다. 따라서 요구되는 통신 품질에 따라 적절한 코딩 기법을 선택하면 된다. 또한 각각의 코딩 또는 에러 채킹 방법을 제외한 철도 시스템의 문제만을 고려하면 정보 전달 확률을 향상시키기 위해서는 재 전송처리와 다수결 조합의 방법 등을 적용할 수 있다.[7]

#### 4. 결론

현재 실험중인 자기부상 열차 시스템의 지상 차상간의 정보 전송 품질을 해석하였다. 전송 모델을 설정하여 MATLAB과 SIMULINK를 이용하여 S/N비와 BER과의 관계를 알아보았으며 해석 결과 Bit error rate는  $10^{-7}$ 이하로 나타남을 발견했으며, 이때의 S/N 비의 크기는 약 27dB임을 계산하였다.

본 데이터 전달 특성을 해석해 볼으로써 본 정보 전송 시스템의 전송 품질이 양호함을 파악하였고, 이러한 전달 해석이 차후 신호 시스템 설계 조건을 설정하는데 기여하리라 본다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Mischa Schwartz,"Information transmission modulation and noise", McGRAW-HILL,pp.208-213,1990
- [2] R. J. Hill,"Synchronizable error-control coding for railway track circuit data transmission", Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.,pp206-213,1987
- [3] D j Morris,"Communication for Command and Control Systems",Pergamon press,pp.266-295,1983.
- [4] Fred J. Taylor,"Principles of Signals and Systems", McGRAW-HILL, pp.472-516,1994
- [5] R. John Hill and David N. Weedon,"Safety & Reliability of Synchronizable Digital Coding in Railway Track-Circuits", IEEE Trans. on Reliability, VOL.3 9, No.5, pp581-591,1990
- [6] S.Benedetto,"Digital Transmission Theory",Prentice -Hall,pp.420-434,1987
- [7] "트랜스폰더를 이용한 고속화 대용 ATC시스템 개발", 철도총연 보고, 1988