

# 자기부상열차의 속도/위치 검출 시스템

김 전\*, 심 정 옥\*\*

(\*고등기술연구원 생산기술연구실 선임연구원

\*\*고등기술연구원 생산기술연구실 연구원)

## 1. 서 론

자기부상열차의 효율적인 추력제어 및 안전성 높은 운행을 위해서 고성능의 속도/위치 검출 시스템이 중요한 역할을 한다. 일반열차는 바퀴가 선로에 접촉하여 주행하므로 차축의 회전속도를 측정해서 열차의 주행속도를 검지할 수 있지만, 자기부상열차는 선로위를 일정한 간격을 두고 부상하여 주행하므로 비접촉식 측정방법을 사용해야만 한다 [1-5].

특히, 고속으로 주행하는 자기부상열차의 속도를 측정하기 위해서는 응답속도가 빠른 센서시스템을 개발하며, 또한 열차주행에 수반되는 자기장의 영향을 극소화하도록 센서시스템을 설계해야만 한다.

본고에서는 전형적인 자기부상열차인 일본의 HSST 시스템(주행속도: 100km/h)과 독일의 Transrapid 시스템(주행속도: 400km/h)에 적용되고 있는 속도/위치 검출 시스템의 작동원리를 상세히 설명한다. HSST 시스템은 유도무선(Inductive radio system) 방법을 이용하고 Transrapid 시스템은 와전류근접센서(Eddy-current proximity sensor)를 이용한다.

## 2. HSST의 유도무선 시스템

그림 1에 보이는 바와 같이, 선로중앙에 정방형 루프회선이 등간격으로 배치된 신호선(signaling

wire)이 설치되어 있다. 신호선에 고주파 전류가 흘러, 열차가 주행함에 따라, 루프회선 위에서는 고주파전압이 유도되며, 루프회선을 연결하는 폐구부 전선 위에서는 전압이 유도되지 않는다. 아날로그 전압신호가 signal conditioner를 통해 디지털 펄스로 변환되며, 차상컴퓨터가 주행속도를 계산한다. 수신코일이 신호선의 1/3주기간격으로 배치되어 있으므로 수신코일의 출력신호 상호간에 120°의 위상차가 있으며, 컴퓨터가 출력신호의 발생순서를 검지함으로써 열차의 전진 혹은 후진을 구별할 수 있다. 그림 2는 signal conditioner의 개념적인 회로도를 보이고 있다. 아날로그 신호의 전압이 증폭기(amplifier)를 통해 신호처리(signal processing)에 편리하도록  $V_a(t)$ 로 증폭되며, 완파정류기(full-wave rectifier)와 low-pass filter를 통해  $V_b(t)$ 로 정형되어 디지털버퍼를 거쳐 디지털 펄스  $V_c(t)$ 가 된다.

이제, 수학적 모델을 통하여 유도무선시스템의 속도검출법을 시뮬레이션한다. 고주파전류가 흐르는 루프회로에 의해 발생하는 자속선이 수신안테나 높이까지 루프회로면에 수직하고, 공간적으로 일정하다고 가정하여, 다음과 같은 자속밀도  $B(t)$ 가 주어진다.

$$B(x, y, t) \approx B(t) = B_0 \cos(\omega t + \psi) \quad (1)$$

여기서  $B_0$ 는 자속진폭,  $\omega$ 는 전류의 주파수,  $\psi$ 는 임의의 위상각이다. 수신코일  $k$ 를 통과하는 자속

$\Psi_{mk}(t)$ 는 다음과 같다.  $k=1, 2, 3$ .

$$\Psi_{mk}(t) = \iint B ds = B_0 A_k(t) \cos(\omega t + \psi) \quad (2)$$

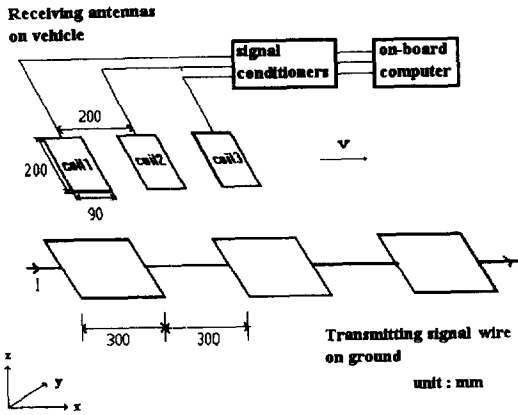


그림 1. 유도 무선 시스템

여기서  $A_k(t)$ 는 열차가 신호선위로 주행함에 따라, 자속이 직접 통과하는 안테나 면적이다. 그림 3은 열차속도  $v=108 \text{ km/h}=30\text{m/s}$ 일때의  $A_2(t)$ 를 보인다. 자기장이 고주파( $\approx 100 \text{ kHz}$ )전류에 의해 여기되므로 single-turn 수신안테나에 유도되는 전압  $V(t)$ 는 열차주행속도에 의한 motion-induced 항은 무시하고, time-changing 자기장에 의한 항으로 계산된다.

$$V(t) = -\frac{d\Psi_{mk}}{dt} = \omega B_0 A_k(t) \sin(\omega t + \psi) - B_0 \frac{dA_k(t)}{dt} \cos(\omega t + \psi) \quad (3)$$

소프트웨어 Matlab를 사용하여 시뮬레이션한 결과로, 그림 2에 보인 signal conditioner 내의 단계별  $V_a(t)$ ,  $V_b(t)$ ,  $V_c(t)$ 를 그림 4에 보인다. 여기서  $B_0=3.5 \times 10^{-4} \text{ T}$ ,  $\psi=30^\circ$  차상컴퓨터는  $V_a(t)$ ,  $V_b$

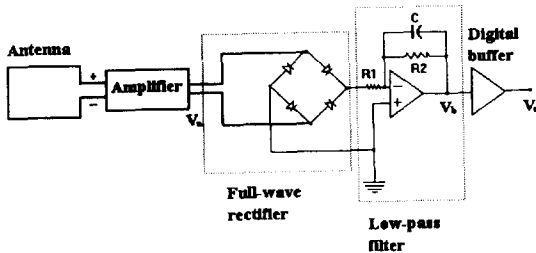


그림 2. 개념적인 signal conditioner의 회로도

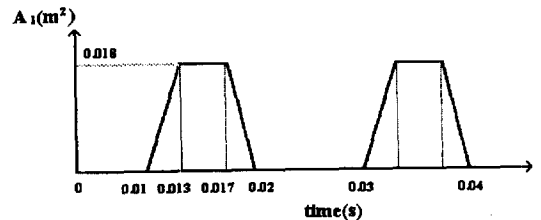


그림 3. 수신코일 2의 자석통과 면적

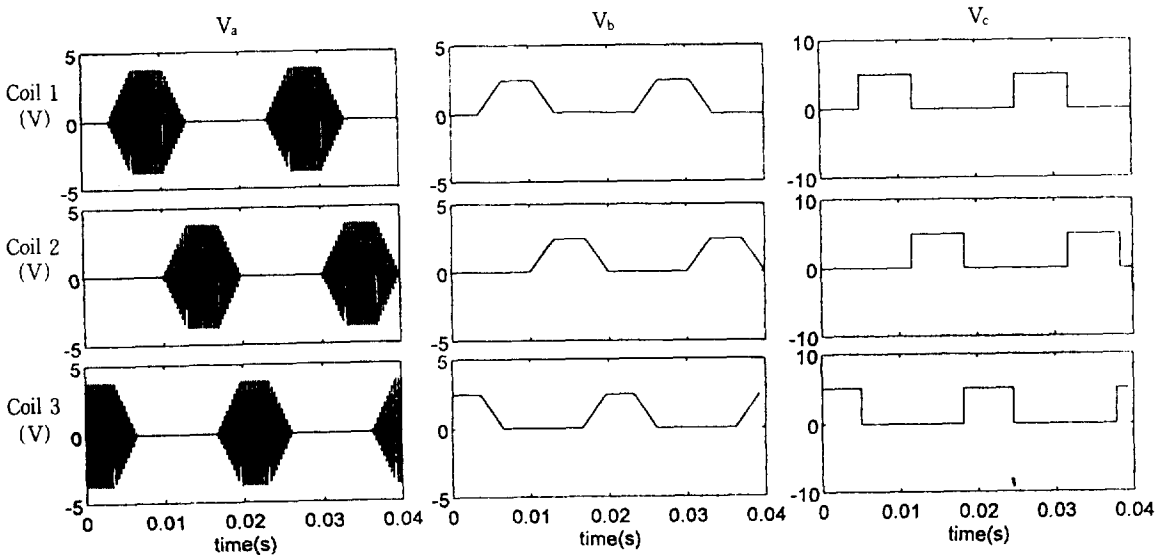


그림 4. 전압신호

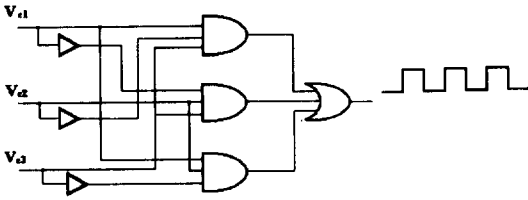


그림 5. 속도펄스 TTL소자 회로

(t),  $V_c(t)$ 에 대해 논리계산을 함으로써 속도펄스(speed pulse)를 생성한다. 그림 5는 논리계산 코드를 TTL소자의 회로로 표시한 예이다.

속도펄스의 파장  $\lambda_p$ 가 신호선의 파장  $\lambda_s$ 의 1/3이므로, 주행속도  $v$ (km/h)와 펄스 주파수  $f_p$  간에는  $\lambda_s=600\text{mm}$ 에 대하여, 다음 관계식이 성립한다.

$$v = 0.72f_p \quad (4)$$

열차의 절대위치는 특정폐색 구간내에서 속도펄스를 적산함으로써 검지된다. 상기의 유도무선 시스템은 단일 신호선을 채용하므로, 3선을 이용하는 기존의 시스템에서 문제시되는 신호선간의 Cross talk를 피할 수 있는 장점이 있다.

### 3. Transrapid의 근접센서시스템

이 속도/위치 센서시스템에서는 궤도에 설치된 위치기준돌기판(location reference lug)의 특정한 코드를 주행차상의 와전류 근접센서에 의해 탐지한다. 그림 6(a)에서 보이는 바와같이, 전도성 코팅(conductive coating)에 배열된 a, b, c, d 4개의 슬릿(slit)이 위치 기준돌기판에 명기된 binary partial-word의 위치정보를 제공한다. Bit영역의 기하학적 중심선에 관하여, 왼쪽에 있는 슬릿은 bi-

nary 1로 검지되고, 오른쪽에 있는 슬릿은 binary 0으로 검지된다. 그림 6(b)에 보이는 근접센서로부터의 출력전압신호를 참조하여

The fourth or most significant

bit=1 since  $t_a < t_2$

The third bit=0 since  $t_b > t_3$

The second bit=1 since  $t_c < t_4$

The first or least significant

bit=1 since  $t_d < t_5$

여기서  $t_a, t_b, t_c, t_d$ 는 근접센서가 slit a, b, c, d를 탐지했을 때의 시간이며  $\Delta t = t_6 - t_1$ 으로 표시하여,

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + \Delta t / 5 \\ t_3 &= t_2 + \Delta t / 5 \\ t_4 &= t_3 + \Delta t / 5 \\ t_5 &= t_4 + \Delta t / 5 \end{aligned} \quad (5)$$

결과적으로 그림 6(c)에 보이는 바와 같이, 차상 제어컴퓨터는 열차가 현재 위치돌기판(1011)을 통과한다고 판단한다. 열차속도는 다음과 같이 계산된다.

$$v = L / \Delta t \text{ (m/s)} \quad (6)$$

여기서  $L$ =위치기준돌기판의 길이, 본 시스템의 fail-safe 특성으로 근접센서로부터의 펄스의 수가 4개가 아닐때는 차상컴퓨터가 위치기준돌기판이 비정상상태인 것으로 판단하여, 입력된 위치정보를 무용화한다. 한편, 상기시스템의 가능한 거리검지영역을 증가시키기 위해 2개의 위치 기준 돌기판이 8-bit word로 결합될 수 있다. 예를 들어, 100m 간격으로 설치된 8-bit 위치기준돌기판의 최대 검지거리는  $l = 100 \times 2^8 = 25.6\text{km}$ 이다.

### 4. 결 론

유도 무선 시스템에서는 신호선을 궤도길이 만큼 설치해야 하며, 열차의 절대위치를 검지하기 위해서는 연속검지 check-in check-out 시스템이 수반되어야 한다. 반면, 근접센서 시스템에서는 일정거리마다 설치된 위치기준돌기판에 의해 주행속도와 절대위치를 함께 검출할 수 있으므로, 실용적인 측

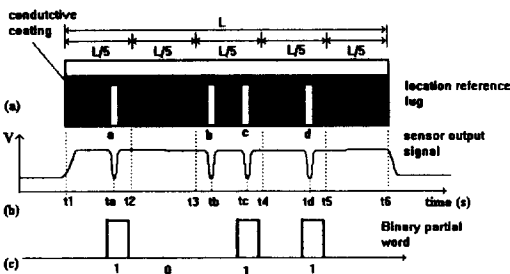


그림 6. 근접센서 시스템

면을 고려할 때, 근접센서 시스템이 더 유리해 보인다. 그러나 모형실험장치를 제작해 상기시스템의 기술적 타당성, 유용성을 실증해야 하며, 실제 열차 적용실험이 따라야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 정의진, 김양모, “유도무선에 의한 위치검지 방식”, 전기학회지, 42권, 9호, 1993년 9월, pp. 12-19.
- [2] G. Schulin, “The Vehicle Location”, Transrapid Maglev System, Hestra-Verlag, 1989, pp. 69-70.
- [3] F. Hashimoto, “Signaling System of Maglevtype HSST”, MAGLEV, 93, 1993, pp. 411-416
- [4] 正田 英介 et al., 磁氣浮上鐵道の技術, オーム社, 1992.
- [5] 坂口 勉, “常電導磁氣浮上式鐵道 -HSST-의開發”, 電氣鐵道, Vol.41, No.6, 1987, pp. 6-12.



김 건(金健)

1960년 6월 2일생. 1983년 한양대 공대 정밀기계공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사). 1985~1988년 한국기계연구원. 1992년 미국 Ohio 주립대학교 기계공학과 졸업(공학박). 1992~1993년 미국 Ohio 주립대학교 Post-Doctoral Researcher. 현재 고등기술연구원 생산기술 연구실 선임연구원



심정욱(沈政昱)

1966년 12월 21일생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 고등기술연구원 생산기술 연구실 연구원.