

## Study of a New Technique for the Train Tracking System

鄭樂教<sup>†</sup> · 趙泓植<sup>\*</sup> · 鄭相基<sup>\*\*</sup> · 金榮石<sup>\*\*\*</sup>

(Rag-Gyo Jeong · Hong-Shik Cho · Sang-Gi Chung · Young-Seok Kim)

**Abstract** - Accurate and reliable tracking of train is essential for the train control system. The fixed block system which utilizes track circuit has been used widely for the detection of train position. As an alternative, the moving block system has the advantage over the fixed block system since it enables shorter headway and easier maintenance. This paper presents a new technique for the train tracking system which uses radio signal for the train position detection. The proposed algorithm uses the phase difference of arrival of radio signal for the detection of train position. Experimental verification of the algorithm is presented in the paper.

**Key Words** : Train Tracking System(열차추적시스템), Train Position Detection(열차위치검지), PDOA(도착시간위상차), Moving Block System(이동폐색방식), Fixed Block System(고정폐색방식)

### 1. 서 론

근래에 들어서 고속, 정시성, 대량수송의 유효성으로 철도 시스템이 새롭게 주목받고 있다. 철도의 주요 구성시스템 중의 하나인 신호시스템은 철도기술이 발전할수록 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 무선 기술의 발달에 따라 많은 철도 분야에 적용되고 있다. 승차권 발권 및 개찰시스템, 여객 안내, 차량정보 제공, 설비/기기감시를 위한 운행관리 등의 여러 기능의 구현에 접목되어 편리성 제고 측면에서 적용되는 분야가 증가하는 추세에 있으나 열차운전보안에 관계되는 신호시스템 하부 장치의 무선기술 적용은 페일-세이프(Fail-safe)의 확보가 어렵기 때문에 일부분에 한정되어 있는 실정이다 [1-4].

열차를 제어하기 위해서는 열차위치 파악이 필수적이며 열차 검지를 위하여 현재까지는 공간간격법인 기존의 궤도 회로를 구간으로 한 고정폐색방식을 사용하여 왔으나 보다 나은 안전성 확보 및 비용절감을 추구하는 새로운 방법들이 제시되고 있다. 기존의 고정폐색방식의 문제점을 개선하여 새로운 열차 위치검지를 위하여 연구되고 있는 이동폐색방식은 무선을 통한 실시간 정보전송에 의하여 궤도회로와 관련된 선로변 장치의 감소로 유지보수비용 절감 및 시격 단축이라는 이점을 갖고 있으며, 이의 시스템구현을 위하여 활발한 연구가 진행중이다 [5]. 현재 위치기반서비스(LBS :

Location Based Service)의 많은 수요로 인하여 이동체의 위치를 파악하는 많은 위치검지기술(LDT : Location Detection Technology)의 알고리즘들이 개발되었으며 [6-8], 이 검지기술을 토대로 열차의 위치추정을 위해 TOA(Time Of Arrival)을 응용한 방법 및 철도노선에 누설 동축케이블을 포설하여 일정한 간격을 카운트하여 거리를 구하여 열차의 위치를 파악하는 방법 등이 활발히 연구되고 있다[9-11].

본 논문에서는 철도환경에 적합하고 경제성이 고려된 새로운 열차위치검지 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 열차위치검지 기법은 지상국에서 발생한 신호가 운행중인 차량으로 전달될 때 발생하는 위상성분을 분석하여 도착 시간의 위상차(PDOA : Phase Difference Of Arrival)를 이용해서 일정한 선로를 이동하는 열차의 위치를 추정한다. 그 타당성을 검증하기 위하여 모의 이동체에 대한 다양한 위치검지 실험이 수행되었으며, 그 정확성이 입증되었다.

본 논문에서 제안하는 열차위치검지 기법은 도시철도시스템과 같은 개활지 및 지하공간의 일정한 노선을 이동하는 열차의 위치 추정에 활용될 수 있을 것으로 기대되며 아울러 많은 분야에 응용되고 있는 GPS(Global Positioning System)등과 하이브리드(hybrid) 방식으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 기준좌표의 이동

안테나에서 나온 전자기파는 매질이 파동의 진행방향과는 수직방향으로 변한 횡파(transverse wave)이다. 전자기파가 송신부에서 수신부로 전달되는 과정을 살펴보기 위해서 기준좌표의 이동을 검토하고자 한다. 파동함수의 형태는 변하지 않고 시간에 따라 파동함수의 위치가 이동하는 것을 고려하여 보았다. 그림 1(a)는 여러 시간대에서의 파동함수들

† 교신저자, 學生會員: 韓國鐵道技術研究院 先任研究員 · 工碩  
E-mail : rgjeong@krti.re.kr  
\* 正 會 員 : 韓國鐵道技術研究院 先任研究員 · 工博  
\*\* 正 會 員 : 韓國鐵道技術研究院 責任研究員 · 工博  
\*\*\* 正 會 員 : 仁荷大 工大 電子電氣 工學部 教授 · 工博  
接受日字 : 2004年 8月 26日  
最終完了 : 2004年 11月 18日

겹쳐놓은 것이며, (b)는 초기의 파동함수의 위치에 따른 분포를 나타내고 있다. (c)는 속력  $v$ 로 시간  $t$ 가 지난 뒤 파동함수의 위치에 따른 분포를 보여주고 있으며, (d)는 초기 좌표축 위에 시간이  $t$ 만큼 지났을 때 파동 함수를 나타내고 있다.

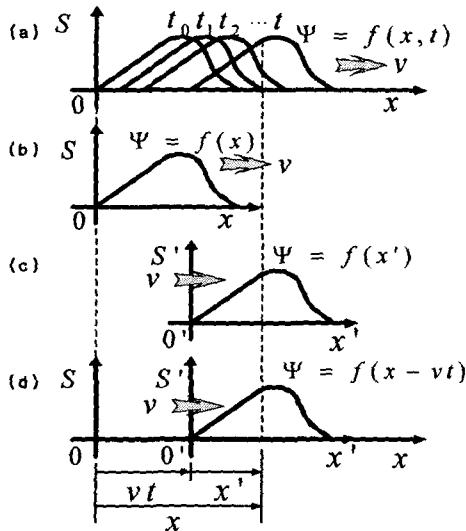


그림 1 기준좌표의 이동

Fig. 1 Moving reference frame

그림 1(b)에서 초기 파동함수는  $\Psi = f(x)$ 로 나타낼 수 있다. 파동이  $v$ 의 속력으로 이동한다면, 시간이 지나면 파동함수는 파동 진행방향 ( $+x$ 축 방향)으로  $vt$ 만큼 이동한다. 그러므로 그림 1(c)는  $x$ 축을 따라 파동이 진행하는 방향으로  $y$ 축의 좌표축을  $vt$ 만큼 이동시킴으로써, 새로운 좌표축  $S'$ 에서 파동함수는  $\Psi = f(x')$ 로 나타낼 수 있다.

$x$ 와  $x'$ 의 관계는 그림 1(d)에서 보여지는 바와 같다. 기존의  $x$ 좌표축(시간이  $t$ 만큼 지나기 전의 좌표축)에서 시간이  $t$ 만큼 지났을 때 다음과 같은 식이 성립한다.

$$x = x' + vt \tag{1a}$$

$$x' = x - vt \tag{1b}$$

식 (1b)을  $\Psi = f(x')$ 에 대입하면 기존의  $x$ 좌표축에서 시간의 변화에 따른 파동함수의 분포를 알 수 있다.

$$\Psi(x, t) = f(x - vt) \tag{2}$$

파동의 형태가 사인이나 코사인곡선으로 주어지는 가장 간단한 형태의 파동함수를 삼각함수와, 단순조화파 또는 조화파(harmonic wave)라고 한다.  $t=0$ 에서 파동의 분포를 간단히 사인함수로 나타내보면, 다음과 같다.

$$\Psi(x) = A \sin(kx) \tag{3}$$

·  $A$  : 사인함수의 진폭(amplitude)

- $x$  : 1차원에서 위치[m]
- $k$  : 양의 상수인 전파상수(propagation number)[rad/m]
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v}$$
- $\lambda$  : 공간주기(spatial period) 또는 파장(wavelength)[m]
- $v$  : 파동이 이동할 때의 속력[m/sec]
- $f$  : 주파수(frequency), 단위 시간동안 반복하는 주기의 수[Hz]

$v$ 의 속력으로  $+x$ 축 방향으로 진행하는 파형을 고려해 보면, 식 (3)에서  $x$ 를  $(x-vt)$ 로 바꾸면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \Psi(x, t) &= A \sin[k(x - vt)] \\ &= A \sin\left[\frac{2\pi f}{v}(x - vt)\right] \end{aligned} \tag{4}$$

### 3. 위상차 검출 및 양자화 오차보정 알고리즘

#### 3.1 두 점 사이의 위상 지연 관계

일정한 주기신호의 위상을 비교하기 위해서는 주기신호에 대한 기준신호(reference signal)가 있어야 한다. 여기서 일정한 주기신호는  $f$  주파수를 갖는 위상정보신호(phase information signal)라고 정의한다. 기준신호의 주파수는 위상정보신호 주파수와 같아야 하며 위상은 다를 수도 있다. 그림 2는 선로 주위에 있는 지상무선국(WRS : Wayside Radio Station) WRS1에서 선로상에 있는 열차의 이동국(VRS : Vehicle Radio Station)으로 위상정보신호를 보내고, 다시 VRS에서 이 위상정보신호를 WRS1로 보내주는 것을 나타내고 있다. WRS1에 있는 기준신호와 위상을 비교하면 선로 상에서 열차의 위치에 따라 WRS1에 있는 관찰자는 VRS의 위상 정보를 알 수 있다. 이 위상 정보는 WRS1에서 Zone1의 영역에 있는 VRS의 위치를 알 수 있게 한다. 그리고 영역 Zone1에서 반송파(carrier) 채널 Ch1과 Ch3을 사용해서 위상정보신호를 WRS1과 VRS가 송수신하고 영역 Zone2에서 반송파 채널 Ch2와 Ch4를 이용하면 영역 Zone1과 Zone2의 연속적인 선로에서의 열차 위치를 알 수 있다.

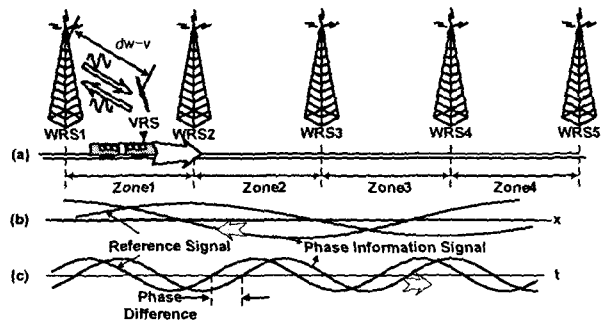


그림 2 기준신호와 위상정보신호의 위상관계

Fig. 2 Phase relation between reference signal and phase information signal

그림 2에서  $f_1$ 의 주파수로 WRS1에서 VRS로 파동함수의 신호를 보낸 때, WRS1에서 파동함수는 식 (4)에 의해서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}\Psi_{tw}(x, t) &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct)\right] \\ &= \text{Asin}\left(\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1 t\right)\end{aligned}\quad (5)$$

여기서,  $2\pi f_1/c$ 는 양의 값으로 알려진 자유공간(free space)에서의 전파상수이고  $c$ 는 전파 속력을 나타낸다. WRS1의 송신부에서 보낸 신호는  $t_1$ 의 시간이 지나서 VRS의 수신부에 도달한다. 즉, 식 (5)에서  $t$ 에  $t - t_1$ 을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}\Psi_r(x, t) &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t - t_1)\right] \\ &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2\pi f_1 t_1\right]\end{aligned}\quad (6)$$

VRS에서 도달한 위상정보신호는 VRS 송신부(transmitter)에서 지상무선국인 WRS1 수신부(receiver)로 보내어진다. VRS 송신부에서의 파동함수는 VRS 수신부에서의 신호와 같은 것이다. VRS 송신부에서의 파동함수의 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Psi_w(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2\pi f_1 t_1\right] \quad (7)$$

VRS 송신부에서는 식 (7)의 위상정보신호를 다시 WRS1 수신부로 송신한다. WRS1 수신부에 도달하는 데에  $t_1$ 의 시간이 소요된다고 할 때, WRS1 수신부에서 위상정보신호는 소요된 시간  $t_1$ 이 다음과 같이 고려되어야 한다.

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}[x - c(t - t_1)] + 2\pi f_1 t_1\right] \quad (8a)$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2(2\pi f_1 t_1)\right] \quad (8b)$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t - 2t_1)\right] \quad (8c)$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x + 2ct_1) - 2\pi f_1 t\right] \quad (8d)$$

식 (8)은 WRS1 수신부에서 수신한 위상정보신호이다. 수신부에서 수신한 위상정보신호의 위상을 비교하기 위해서 기준신호가 필요하다. WRS1에서 식 (5)의 신호를 기준신호로 이용하기 위하여, 다음과 같이 기준신호를 정의한다.

$$\Psi_{ref}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct)\right] \quad (9)$$

식 (8b)과 식 (9)을 비교하면, 식 (8b)에 위상성분과 관련

이 있는 성분  $2(2\pi f_1 t_1)$ 이 있다는 것을 알 수 있다. 이 위상차 성분은 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_d = 2(2\pi f_1 t_1) = 2\theta_d \quad (10)$$

식 (10)에서  $t_1$ 의 시간에 전파의 속력을 곱하면 WRS1에서 VRS까지의 거리가 된다.

### 3.2 양자화 오차보정

연속적인 아날로그 신호를 일정한 간격으로 샘플링하면, 샘플과 샘플 사이는 신호정보를 잃어버릴 것이다. 사인신호나 삼각파신호 등에서 샘플과 샘플 사이에 중요한 정보가 있을 수 있으므로 중요한 정보로 접근하는 방법을 살펴본다. 먼저 일정한 구간  $T$ 에서 선형적으로 증가하는 함수를 생각하고, 이 선형적으로 증가하는 함수의 평균값은  $\langle f(t) \rangle_T$ 라고 하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\langle f(t) \rangle_T = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} f(t) dt \quad (11)$$

구간  $T$ 에서  $f(t)$ 의 함수는  $\Delta t$  간격으로 샘플을 취한다. 샘플을 취하는 경우  $n$ 번째 샘플의 값은 평균값보다 작고  $(n+1)$ 번째 샘플은 평균값보다 크다면,  $n\Delta t$ 와  $(n+1)\Delta t$  사이에 있는 어떤  $t_0$ 에서  $f(t_0)$ 은 평균값과 같다.  $f(n\Delta t)$ 와  $f((n+1)\Delta t)$ 의 평균값이 평균값  $\langle f(t) \rangle_T$ 보다 크면,  $t_0$ 은  $n\Delta t$ 와  $(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$  ( $n\Delta t$ 와  $(n+1)\Delta t$ 의 중간값) 사이에 있다.  $f(n\Delta t)$ 와  $f((n+1)\Delta t)$ 의 평균값이 평균값  $\langle f(t) \rangle_T$ 보다 작으면,  $t_0$ 은  $(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 와  $(n+1)\Delta t$  사이에 있다. 일정한 구간  $T$ 에서 선형적으로 감소하는  $f(t)$  함수의 경우,  $f(n\Delta t)$ 와  $f((n+1)\Delta t)$ 의 평균값이 평균값  $\langle f(t) \rangle_T$ 보다 크면,  $t_0$ 은  $(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 오른쪽에 있고  $f(n\Delta t)$ 와  $f((n+1)\Delta t)$ 의 평균값이 평균값  $\langle f(t) \rangle_T$ 보다 작으면,  $t_0$ 은  $(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 왼쪽에 있게 된다.

### 4. 위상차 검출 모의시험

위상차로 이동체의 위치를 검출하기 위해서, 이 논문에서 제안하는 방법은 식(10)의 위상차 값  $\theta_d$ 가 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

$$0^\circ < \theta_d < 180^\circ \quad (12)$$

$0^\circ < \theta_d < 180^\circ$ 의 값과  $180^\circ < \theta_d < 360^\circ$ 의 값은 같은 값으로 측정된다. 예를 들어, 우리는  $0^\circ$ 와  $180^\circ$  사이의 임의의 값과  $180^\circ$ 와  $360^\circ$ 사이의 특정한 위상차 값이 구별할 수 없다는 것을 확인해 본다. 그림 3은 주파수  $f_1$ 이 375kHz인 경우, 시간 변화에 따른  $45^\circ$  위상지연과  $315^\circ$  위상지연을

표 1 양자화 오차보정

Table 1 Correction of the quantization error

	$(f(n\Delta t) + f(n+1)\Delta t)/2 > \langle f(t) \rangle_T$
1차 증가함수	$(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 왼쪽 
1차 감소함수	$(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 오른쪽 
	$(f(n\Delta t) + f(n+1)\Delta t)/2 < \langle f(t) \rangle_T$
1차 증가함수	$(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 오른쪽 
1차 감소함수	$(n\Delta t + (n+1)\Delta t)/2$ 의 왼쪽 

나타낸 것이다. 그림 3에서 기준신호, 45° 위상지연 된 신호, 그리고 315° 위상지연 된 신호의 크기가 0보다 크면 1의 값으로 변조하고, 0보다 작으면 0의 값으로 변조한다. 그림 4는 기준신호와 45° 위상지연 된 신호를, 그림 5는 기준신호와 315° 위상지연 된 신호를 0과 1의 2진 신호로 변환하고 비교기에서 AND연산을 수행한 것을 나타낸다. 그림 4와 5에서 펄스폭이 1.04[μsec]로 나타난 것을 알 수 있다.

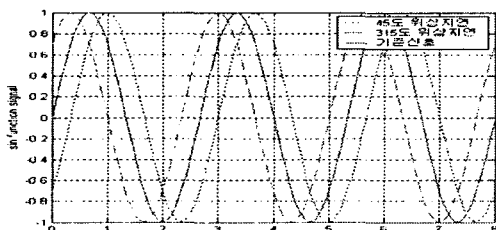


그림 3 45°/315° 위상지연과 기준신호 비교

Fig. 3 Comparison of reference and 45°/315° phase lag

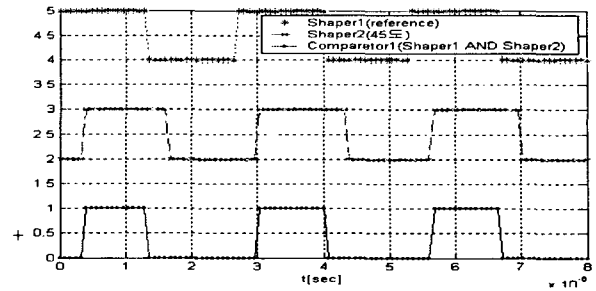


그림 4 45° 지연된 신호와 기준신호의 비교

Fig. 4 Comparison of reference and 45° phase lag signal

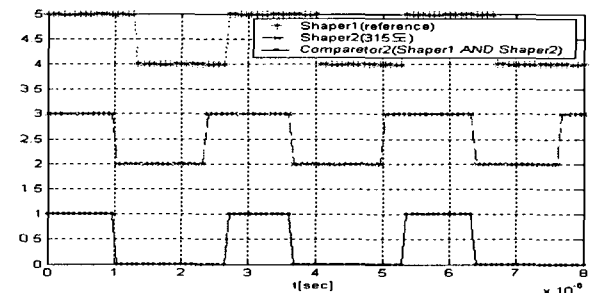


그림 5 315° 지연된 신호와 기준신호의 비교

Fig. 5 Comparison of reference and 315° phase lag signal

## 5. 시험 및 고찰

### 5.1 시험장치 구성 및 방법

기준신호와 위상정보신호는 사인신호를 이용하였고 주파수는 375[kHz]를 사용하였으며 이동국의 위치에 따라 위상을 분석하기 하기 위하여 송수신기는 ISM(Industrial, Scientific, Medical)의 2.4[GHz] 대역으로 채널별 주파수대역은 표 2와 같다. 여기서 지상무선국에서 차상 무선국으로 위상정보신호를 보낼 때는 채널1을 이용하고, 차상무선국에서 지상무선국으로 보낼 때는 채널 4를 이용한다. 표 3, 4는 송수신기의 사양을 나타내고 있으며, 그림 6의 Labview 측정프로그램과 같이 시험시스템을 구성하여 5[MHz] 계측카드를 사용하여 컴퓨터에 데이터를 저장할 수 있도록 하였다.

그림 7에서 지상무선국의 송신부(Tx1) 입력신호와 지상무선국의 수신부(Rx2) 출력신호를 비교하기 위하여 계측을 하며, 지상무선국의 송신부 입력신호는 기준신호이고, 수신부 출력신호는 위상정보신호이다.

표 2 송·수신기의 채널별 주파수대역

Table 2 Frequency band by channel for transmitter&receiver

구분	대역
1채널	2.405[GHz] ~ 2.415[GHz]
2채널	2.425[GHz] ~ 2.435[GHz]
3채널	2.445[GHz] ~ 2.455[GHz]
4채널	2.465[GHz] ~ 2.475[GHz]

표 3 송신기의 사양

Table 3 Specification of transmitter

항목 구분	상세 사양
무선 출력	10dBm
주파수 밴드폭	2.4GHz ~ 2.49GHz
변조 방식	FM변조
FM 편차	16MHzp-p
입력임피던스	750Ω
입력레벨	1Vp-p
S/N	35dB
DP(미분위상)	±8Deg
DG(미분이득)	±8%
전원공급	12V
전류소모	180mA
크기	125mm(W)×79mm(D)×40mm(H)
중량	260g

표 4 수신기의 사양

Table 4 Specification of receiver

항목 구분	상세 사양
입력수준	-90dBm ~ 30dBm
입력 VSWR	3
IMD Rejection	40dB
출력수준	1Vp-p
S/N	35dB
DP(미분위상)	±8Deg
DG(미분이득)	±8%
전원공급	12V
전류소모	350mA
크기	125mm(W)×79mm(D)×40mm(H)
중량	260g

발생하는 위상차로 30[m] 및 50[m]에서 측정된 위상차에서 시스템 자체에서 발생한 위상차를 감하면, 위치에 따라 발생한 위상차가 되며 이는 위상차를 시간으로 환산하여 측정된 것이 된다. 또한 계측 속도가 5[MHz]이기 때문에 샘플링 간격은 200[nsec]이며, 기준신호와 위상정보신호가 375[kHz]의 사인파 신호를 이용하기 때문에 한 주기는 약 2,667[nsec]이고 한 파장은 800[m]이다. 파장은 지상무선국과 차상무선국의 최대거리를 결정하는 중요한 변수이다. 그러나 식 (10)에 의해서 지상무선국과 차량무선국의 최대거리가 400[m]이고, 400[m]가 넘으면 동일한 위상정보의 데이터로 겹치는 것을 알 수 있다.

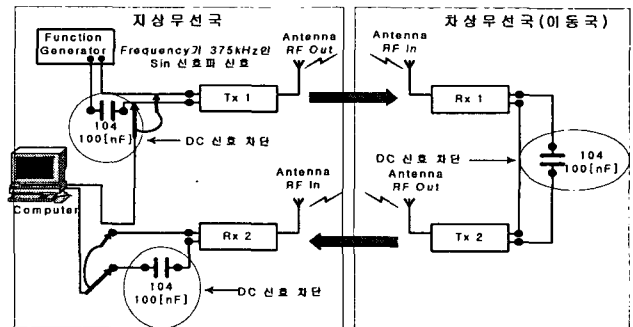


그림 7 실험 구성도

Fig. 7 Configuration of experimental system

## 5.2 시험결과 및 고찰

### 5.2.1 시험결과

그림 8은 지상무선국(WRS)의 송신부(Tx1)와 수신부(Rx2)가 차상무선국(VRS)의 수신부(Rx1)와 송신부(Tx2)가 약 0[m]의 위치에서 측정된 그래프로서 위상차를 알기 위하여, 지상무선국에서 정확한 송신신호(tx1-0m)와 수신신호(rx2-0m)가 필요하고, 그 중에서도 부호가 바뀌는 정확한 시간을 찾는 것이 중요하다. 더 정확한 값을 찾기 위해서 샘플링 값에 대하여 양자화 오차보정을 하였다. 여기서는 사인함수의 값이 부호가 바뀌는 부분에서 선형적으로 증가하거나 감소한다고 근사화하여 해석을 하였다. 먼저 송신신호부터 살펴보면, 표 5에서 200[nsec]의 샘플 값과 400[nsec] 샘플 값에서 부호가 음수에서 양수로 바뀌었으며, 이 두 샘플 값의 평균을 구하고 300[nsec]에 평균값 0.042271445[V]를 대응시킨다. 300[nsec]의 값이 0보다 크기 때문에 300[nsec]와 200[nsec]의 중간시간 250[nsec]에 200[nsec]의 값 -0.00339415[V]와 300[nsec]의 값 0.042271445[V]의 평균값 0.038877295[V]를 대응시킨다. 250[nsec]의 값의 부호가 양수이기 때문에 부호가 바뀌는 시간은 200[nsec]와 250[nsec] 사이에서 발생한다. 두 번째로 그림 8에서 수신신호를 볼 때 수신신호는 600 [nsec]의 값과 800[nsec]의 값에서 부호가 음수에서 양수로 바뀌었으므로 600[nsec]의 값 -0.39099210[V]와 800[nsec]의 값 0.07060352[V]의 평균값 -0.16019429[V]를 600[nsec]와 800[nsec]의 중간시간 700 [nsec]에 대응시킨다. 그리고, 700[nsec]의 값 -0.16019429

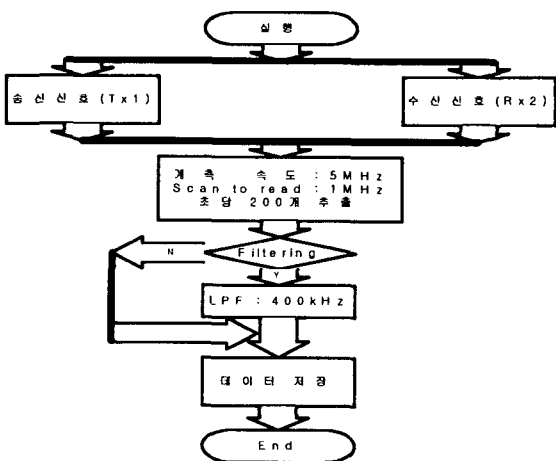


그림 6 거리측정 흐름도

Fig. 6 Flowchart for measurement of distance

VRS의 위치는 0[m], 30[m], 50[m]로 이동시키면서 시험을 수행하였다. 0[m]에서 측정된 위상차는 시스템 자체에서

[V]과 800[nsec]의 값 0.07060352[V]의 평균값 -0.0044795385 [V]를 750[nsec]에 대응시키면 부호가 바뀌는 더 정확한 시간은 750[nsec]와 800[nsec] 사이임을 알 수 있다. 따라서 양자화 오차보정 작업을 한 표 5에서 송신신호는 200[nsec]와 250[nsec]의 중간 시간 225[nsec]에서 부호가 음에서 양으로 바뀐다고 근사화하고, 수신신호는 750[nsec]와 800[nsec]의 중간시간 775[nsec]에서 부호가 음에서 양으로 바뀐다고 근사화하면 시스템 자체의 위상지연은 근사적으로 550[nsec]임을 알 수 있다.

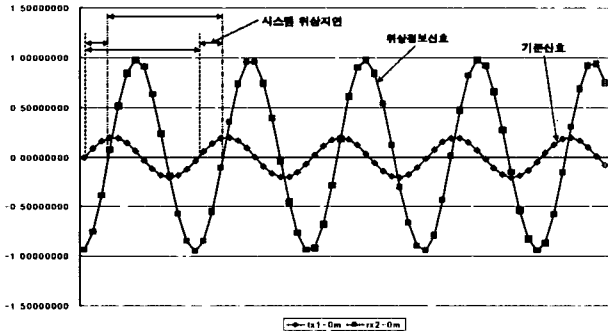


그림 8 시스템 위상지연  
Fig. 8 Phase lag of system

표 5 시스템 위상지연 샘플링 데이터  
Table 5 Sampling data of phase lag of system

No.	Sampling Number	Time[nsec]	tx1	rx2
1	1	200	-0.00339415	-0.94030800
2		250	0.038877295	
3		300	0.042271445	
4	2	400	0.08793704	-0.75553370
5	3	600	0.15987660	-0.39099210
6		700		-0.16019429
7		750		-0.044795385
8	4	800	0.19661550	0.07060352
9	5	1000	0.19034160	0.51570320

그림 9는 지상무선국과 차상무선국 사이의 거리가 30[m]인 경우의 그래프로서 양자화 보정작업을 한 표 6에서 송신신호는 300[nsec]와 350[nsec] 사이에서 값의 부호가 음에서 양으로 바뀐다는 것을 알 수 있다. 325[nsec]에서 송신신호의 부호가 바뀐다고 근사화 하고, 수신신호는 1,100[nsec]와 1,150[nsec] 사이에서 값의 부호가 바뀐다는 것을 알 수 있으므로 1,125[nsec]에서 수신신호의 부호가 바뀐다고 근사화 한다. 30[m]에서 측정된 데이터는 800[nsec]의 시간이 지연되었다는 것을 알 수 있다. 이 지연시간에는 시스템 자체에서 지연된 시간이 포함되어 있으므로 전체위상지연시간 800[nsec]에서 시스템 자체에서 지연된 시간을 감하면 위치에 따른 지연 시간이 계산된다. 따라서 30[m]의 경우 위치에 따른 지연시간은 250[nsec]이다. 그런데 식 (10)으로부터 250[nsec]는  $2 t_1$ 의 시간이므로 실험 데이터를 WRS에서

VRS까지 거리( $d_{w-v}$ )로 환산하려면  $d_{w-v} = t_1 \times c$ 로서, 시간  $t_1$ 에 전파속도  $c(c=3 \times 10^8)[m/sec]$ 의 곱을 하면 된다. 식 (10)에서, 실제 거리는 30[m]인데 측정값을 이용하여 거리로 환산하면 37.5[m]이 된다.

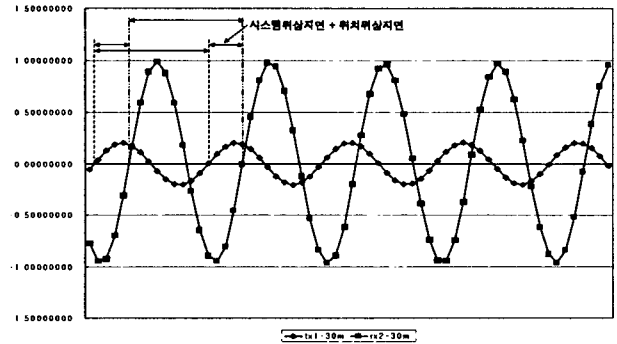


그림 9 30[m] 실험  
Fig. 9 Experimental results at 30[m]

표 6 30[m] 실험 데이터  
Table 6 Data of an experiment at 30[m]

No.	Sampling Number	Time[nsec]	tx1	rx2
1	1	200	-0.05373973	-0.76956900
2		300	-0.00653922	
3		350	0.017061035	
4	2	400	0.04066129	-0.94574500
5	3	600	0.12576260	-0.92342340
6	4	800	0.18360390	-0.69789900
7	5	1000	0.20204780	-0.30750780
8		1100		-0.07242460
9		1150		0.04511700
10	6	1200	0.17698900	0.16265860
11	7	1400	0.11330950	0.59476150

그림 10은 지상무선국과 차상무선국과의 거리가 50[m]인 경우의 그래프로서, 양자화 오차보정 작업을 한 표 7에서 송신신호는 350[nsec]와 400[nsec] 사이에서 값의 부호가 음에서 양으로 바뀐다는 것을 알 수 있다. 375[nsec]에서 송신신호의 부호가 바뀐다고 근사화하고, 수신신호는 1,250[nsec]와 1,300[nsec]사이에서 값의 부호가 바뀐다는 것을 알 수 있으므로 1,275[nsec]에서 수신신호의 부호가 바뀐다고 근사화 한다. 50[m]에서 측정된 데이터는 900[nsec]의 시간이 지연되었다는 것을 알 수 있다. 시스템 자체에서 지연시킨 위상성분의 시간을 감하면 50[m]의 위치에서 지연된 시간이 계산되므로, 900[nsec]에서 시스템 자체에서 지연시킨 위상성분의 시간 550[nsec]를 감하면 50[m]위치에서 지연된 시간 350[nsec]이 계산된다. 여기서, 350[nsec]는  $2 t_1$ 이므로 시간 350[nsec]에 1/2를 곱하고  $c(c=3 \times 10^8)[m/sec]$ 을 곱하면 52.5[m]의 환산거리로 계산된다.

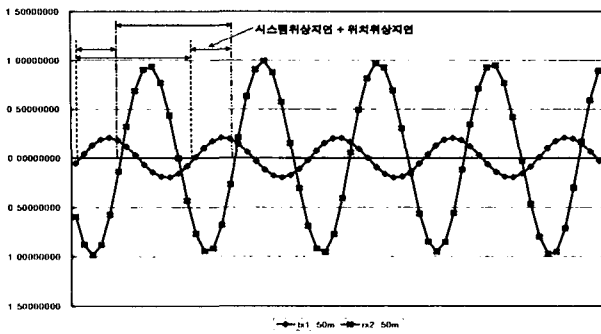


그림 10 50[m] 실험  
Fig. 10 Experimental results at 50[m]

표 7 50[m] 실험 데이터  
Table 7 Data of an experiment at 50[m]

No.	Sampling Number	Time[nsec]	tx1	rx2
1	1	200	-0.05071886	-0.59306440
2		300	-0.003652905	
3		350	-0.019880072	
4	2	400	0.04341305	-0.87669250
5	3	600	0.12877530	-0.98325530
6	4	800	0.18708990	-0.87968040
7	5	1000	0.20602440	-0.57406230
8	6	1200	0.18137410	-0.13627160
9		1250		-0.022265675
10		1300		0.09174025
11	7	1400	0.11798730	0.31975210
12	8	1600	0.02967634	0.68617800

5.2.2 고찰

본 실험에서는 위상차 검출을 통한 열차 위치 추정 및 타당성 검증에 관한 것으로 실제 현장에 적용을 위해서는 보정 및 정확도를 부가한 연구가 필요하다. 아울러 철도시스템 중 주 대상 열차는 경량전철시스템으로 최고속도 60[km/h] 이하의 30[km/h] 정도이다. (기존 시스템의 경우 차상에서 타코제네레이터 등으로 보정 수행한다.) 따라서 세밀한 위치 검지를 위해서는 경로 손실 및 도플러 현상과 같은 작은 페이딩을 고려하여야 하나 새로운 열차위치검지 개념의 타당성을 확인하는 측면이며 본 실험을 통하여 열차위치검지의 타당성을 확인하기 위하여 수행하였다.

6. 결론

위상차를 이용하여 이동체(열차)의 위치를 검지하기 위하여 시뮬레이션을 통해  $0^\circ < \theta_d < 180^\circ$  위상차의 검출조건에 따라 기준신호와 위상정보신호는 사인신호를 이용하고 주파수는 375[kHz]를 사용해서 이동국의 위치에 따라 위상을 분석하는 실험을 통해서 위치가 검지됨을 확인하여 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

또한 열차의 위치를 정밀하게 검지하기 위하여 부호가 바뀌는 부분에서 선형적으로 증가하는 함수를 근사화 하는 양자화 오차보정 방법을 적용하여 사인신호의 부호가 음에서 양으로 바뀌는 정확한 시간 위치를 찾는 것이 중요하다는 것을 알았다. 신호를 샘플링하면 샘플과 그 다음 샘플 사이의 위상 정보가 없어서 생기는 오차가 크다. 따라서 중요한 정보가 샘플과 샘플 사이에 있으면 위상 정보의 오차의 큰 원인임과 위상차를 찾기 위해서 사용한 사인신호는 신호의 크기 부호가 바뀌는 시간이 중요함을 알았다.

새로운 위치 추적 기술은 철도환경을 고려한 일정한 선로를 따라 이동하는 열차제어의 기반기술에 활용이 가능하고 지하구간에서 문제점을 가지고 있는 GPS(Global Positioning System)와 하이브리드로 적용할 수 있다고 보여진다. ISM 대역인 2.4[GHz]의 이용은 시험에 많은 간섭이 수반되므로 주파수 사용 허가를 받을 필요가 있으며, 추가적으로 오차를 보정하는 새로운 방법 및 신뢰성을 확보하기 위한 시험연구를 지속적으로 수행하여 실용화 기반을 마련하여야 한다.

참고 문헌

- [1] 鐵道における無線利用技術調査専門委員會, “鐵道における無線利用技術”, 電氣學會技術報告 第904号, 2003.
- [2] 何久律他, “IMTS用制御コンピュータ信頼性評價”, 電氣學會 交通・電氣鐵道研究會, TER-01-38, July, 2001.
- [3] David Norris, Stefan Axelsson, “Cost Effective Signalling for Secondary Lines”, SIGNAL + DRAFT, April, 1999.
- [4] Holm Hofestard Kraftschik, Peter Straubler, “SIMIS FFB from Siemens for the German Railway”, SIGNAL + DRAFT, April, 1999.
- [5] 정락교, 김영석 “경량전철 목표노선의 운전시각 설정에 관한 연구”, 대한전기학회논문집, 제53권 1호(B권), 2004.
- [6] 양철관, 심덕선, “LBS 측위기술”, 대한전기학회, 전기의 세계, 제54권 제5호, 2004.
- [7] T.S. Rappaport, J. H. Rood, and B.D. Woerner, “Position Location using Wireless Communication on Highways of the Future”, IEEE Communication Magazine, Vol. 34, No. 10, pp.33~41, Oct. 1996.
- [8] Li Cong, and Weihua Zhuang, Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, No.3, July.
- [9] Nishinaga, E. Evans, J.A. Mayhew, G.L. “Wireless advanced automatic train control” Proceedings of the Railroad Conference 1994 ASME/IEEE Joint (in Conjunction with Area 1994 Annual Technical Conference), pp.31-46, March, 1994
- [10] Gregory L. Mayhew and David S. Long, “Contribution of Vehicle Location Technology to Transit Headway Minimization”.
- [11] Mayhew, G.L. Kivett, J.A. Himes, J.G. Evans, J.A, “Application, of radio navigation technology to

advanced automatic train control” Position Location and Navigation Symposium, IEEE, pp.217~224, April, 1994.

## 저 자 소 개



### 정락교 (鄭樂教)

1964년 1월 25일생. 1991년 인하대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 1990~1994년 (주)한진중공업철차사업부. 2003년 현재 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 선임연구원

Tel : 031-460-5725

Fax : 031-460-5749

E-mail : rgjeong@krri.re.kr



### 조홍식 (趙泓植)

1970년 7월 6일생. 1994년 서울대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학박). 2002년~현재 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 선임연구원

Tel : 031-460-5738

Fax : 031-460-5749

E-mail : hscho@krri.re.kr



### 정상기 (鄭相基)

1905년 4월 29일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 2004년 명지대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 책임연구원

Tel : 031-460-5733

Fax : 031-460-5749

E-mail : sgchung@krri.re.kr



### 김영석 (金榮石)

1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987년~1989년 전기연구원 전력전자연구실장.

현재 인하대 전자전기공학부 교수

Tel : 032-860-7397

Fax : 032-863-5822

E-mail : youngsk@inha.ac.kr