

도달 위상차를 이용한 열차 위치 추적

Train Tracking System Using Phase Difference of Arrival

정락교* · 정상기* · 조홍식* · 김연수*

Rag-Gyo Jeong · Sang-ki Chung · Hong-Shik Cho · Yeon-Su Kim

Abstract

Accurate and reliable tracking of train is essential for a train control system. The fixed block system which utilizes the track circuit has been used widely for detecting 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.

Keywords : Train Tracking System(열차위치 추적), Radio Signal(무선 신호), Phase Difference of Arrival (도달 위상차)

1. 서론

근래에 들어서 고속, 정시성, 대량수송의 유효성으로 철도시스템이 새롭게 주목받고 있다. 철도시스템의 주요 구성 시스템중의 하나인 신호시스템은 철도기술이 발전할수록 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 무선 기술의 발달에 따라 철도의 많은 분야에 적용되고 있다. 승차권 발권 및 개찰시스템, 여객 안내, 차량 정보 제공, 설비/기기감시를 위한 운행관리 등의 여러 기능구현에 접목되어 편리성 제고 측면에서 적용되는 분야가 증가하는 추세에 있으나 열차운전보안에 관계되는 신호시스템 하부 장치의 무선 기술적용은 페일-세이프(Fail-safe)의 확보가 어렵기 때문에 일부분에 한정되어 있다[1-4].

열차를 제어하기 위해서는 열차 위치파악이 필수적이며 열차 위치검지를 위하여 현재까지는 공간간격법인 기존의 궤도회로를 근간으로 한 고정폐색방식을 사용하여 왔으나 운영의 효율성 및 비용절감을 추구하는 새로운 방법들이 제시되고 있다. 기존의 고정폐색방식의 문제점을 개선하여 새로운 열차 위치검지를 위하여 연구되고 있는 이동폐색방식은

무선을 통한 실시간 정보 전송에 의하여 궤도회로와 관련된 선로변 장치의 감소로 유지보수비용 절감 및 시적 단축이라는 이점을 갖고 있으며, 이의 시스템구현을 위하여 활발한 연구가 진행 중이다[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 산출해 열차의 위치를 파악하는 방법 등이 활발히 연구되고 있다[9-11].

본 논문에서는 철도환경에 적합하고 경제성이 고려된 새로운 열차위치검지방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 열차위치검지방법은 지상국에서 발생한 신호가 운행중인 차량으로 전달될 때 발생하는 위상성분을 분석하여 도달 위상차(PDOA : Phase Difference Of Arrival)를 이용해서 일정한 선로를 이동하는 열차의 위치를 추정한다. 또한 양자화 오차 보정 알고리즘의 개발 및 적용을 통하여 위치 추정의 타당성을 검증하였고 정현파 및 삼각파 신호를 이용하여 이동체에 대한 다양한 위치검지 실험이 수행되었으며, 그 정확성을 입증하였다.

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원

* 정희원, 한국철도기술연구원

2. 기준좌표의 이동

안테나에서 복사되는 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 파동함수를 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(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 진행되는 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.

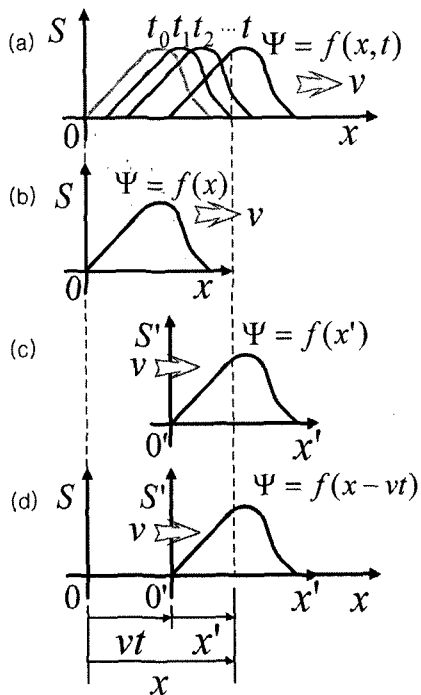


그림 1. 기준좌표의 이동

$$x = x' + vt \quad (1a)$$

$$x' = x - vt \quad (1b)$$

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

$$\Psi(x, t) = f(x - vt) \quad (2)$$

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

$$\Psi(x) = A \sin(kx) \quad (3)$$

- A : 사인함수의 진폭(amplitude)
- x : 1차원에서 위치[m]
- k : 양의 상수인 전파상수(propagation number)[rad/m]

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v}$$
- λ : 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 진행되는 파형을 고려해보면, 식 (3)에서 x 를 $(x-vt)$ 로 바꾸면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

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

3. 도달 위상차 검출 및 양자와 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_1 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

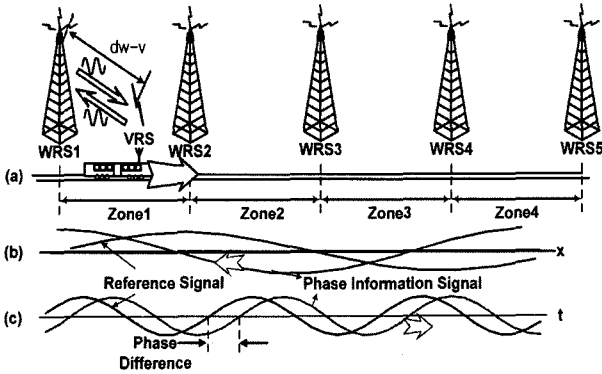


그림 2. 기준신호와 위상정보신호의 위상관계

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

$$\begin{aligned} \Psi_{w}(x, t) &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct)\right] \\ &= \text{Asin}\left(\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1t\right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, $2\pi f_1/c$ 는 양의 값으로 알려진 자유공간(free space)에서의 전파상수이고 c 는 전파 속도를 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.

$$\begin{aligned} \Psi_{m}(x, t) &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t-t_1)\right] \\ &= \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2\pi f_1t_1\right] \end{aligned} \quad (6)$$

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

$$\Psi_{w}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2\pi f_1t_1\right] + a \quad (7)$$

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.

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}[x-c(t-t_1)] + 2\pi f_1t_1\right] + 2a \quad (8a)$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2(2\pi f_1t_1)\right] + 2a \quad (8b)$$

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

$$\Psi_{rw}(x, t) = \text{Asin}\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x+2ct_1) - 2\pi f_1t\right] + 2a \quad (8d)$$

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 관련이 있는 성분 $2(2\pi f_1t_1)$ 이 있다는 것을 알 수 있다. 이 도달 위상차 성분은 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_d = 2(2\pi f_1t_1) = 2\theta_{d1} \quad (10)$$

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

3.2 디지털값 양자와 오차 보정

정현파 또는 삼각파 함수의 크기가 0에 가까울 때에 정현파/삼각파 함수는 선형적으로 증가하거나 감소한다. 그림 3에서 1번째 샘플과 2번째 샘플 사이에 크기가 0인 시간이 존재하며 8번째 샘플과 9번째 샘플 사이에서도 크기가 0인 값이 존재한다. 또한 14번째 샘플과 15번째 샘플 사이에서도 존재하고, 21번째 샘플과 22번째 샘플 사이에서도 존재한다. 크기의 값이 0인 점이 중요하다면 양자화 된 신호에서는 0인 값을 찾는 것 또한 중요하다. 따라서 아날로그 신호를 양자화한 디지털 신호로 취하면 중요한 정보를 갖고 있는 크기가 0인 시간을 찾는 것은 별도로 계산하여야 한다.

이는 샘플링 폭(Sampling Width)이 Δ [sec]일 때 샘플링 번호(Sampling Number) n 번째에서 정현파함수의 크기 $f(\Delta n)$ 은 0보다 작고, 샘플링 번호 $(n+1)$ 번째에서 정현파함수의 크기 $f(\Delta(n+1))$ 은 0보다 크다면 n 과 $(n+1)$ 번째 샘플 사이에서 0인 값이 존재한다는 것을 알 수 있다. 따라서 Δn 과 $\Delta(n+1)$ 사이의 $f(t)=0$ 인 t 의 값을 구할 수 있다.

$$f(t) = \frac{f(\Delta(n+1)) - f(\Delta n)}{\Delta} t + b \quad (11)$$

식 (11)에 $(\Delta n, f(\Delta n))$ 을 대입하면,

$$\begin{aligned} f(\Delta n) &= \{f(\Delta(n+1)) - f(\Delta n)\} \times n + b \\ b &= f(\Delta n) \times (n+1) - f(\Delta(n+1)) \times n. \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)을 식(11)에 대입하면

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{f(\Delta(n+1)) - f(\Delta n)}{\Delta} t + \\ &\quad \{f(\Delta n) \times (n+1) - f(\Delta(n+1)) \times n\} \end{aligned} \quad (13)$$

식(13)에서 $f(t)=0$ 인 경우 t 의 값을 구하면,

$$t = \frac{f(\Delta(n+1)) \times \Delta n - f(\Delta n) \times \Delta(n+1)}{f(\Delta(n+1)) - f(\Delta n)} [\text{sec}] \quad (14)$$

그림 3에서 식 (14)을 이용하면 양자화된 디지털 신호에서 정현파 신호나 삼각파 신호의 크기가 0인 시간을 계산할 수 있다.

4. 도달 위상차 검출 모의시험

도달 위상차로 이동체의 위치를 검출하기 위해서, 이 논문에서 제안하는 방법은 식 (10)의 위상차 값 θ_d 가 다음과

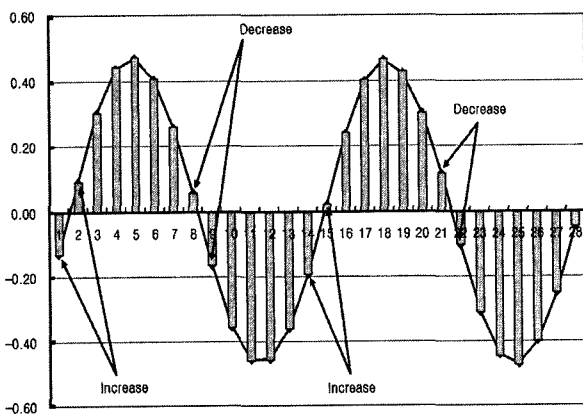


그림 3. 디지털 값 양자화 오차보정

같은 조건을 만족시켜야 한다.

$$0^\circ < \theta_d < 180^\circ \quad (15)$$

$0^\circ < \theta_d < 180^\circ$ 의 값과 $180^\circ < \theta_d < 360^\circ$ 의 값은 같은 값으로 측정된다. 예를 들어, 우리는 0° 와 180° 사이의 임의의 값과 180° 와 360° 사이의 특정한 위상차 값이 구별할 수 없다는 것을 확인해 본다. 그림 4는 주파수 f_1 이 375kHz인 경우, 시간 변화에 따른 45° 위상지연과 315° 위상지연을 나타낸 것이다. 그림 4에서 기준신호, 45° 위상지연 된 신호, 그리고 315° 위상지연 된 신호의 크기가 0보다 크면 1의 값으로 변조하고, 0보다 작으면 0의 값으로 변조한다. 그림 5는 기준신호와 45° 위상지연 된 신호를, 그림 6은 기준신호와 315° 위상지연 된 신호를 0과 1의 2진 신호로 변환하고 비교기에서 AND연산을 수행한 것을 나타낸다. 그림 5와 6에서 펄스폭이 $1.04[\mu\text{sec}]$ 로 나타난 것을 알 수 있다.

5. 시험장치 구성 및 시험방법

기준신호와 위상정보신호는 sine신호를 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 1과 같다. 여기서 지상무선국에서 차상 무선국으로 위상정보신호를 보낼 때는 채널1을 이용하고, 차상무선국에서 지상무선국으로 보낼 때는 채널 4를 이용한다. 표 2, 3은 송수신기의 사양을 나타내고 있으며, 그림 7의 Labview 측정프로그램과 같이 시험시스템을 구성하여 5[MHz] 계측카드를 사용

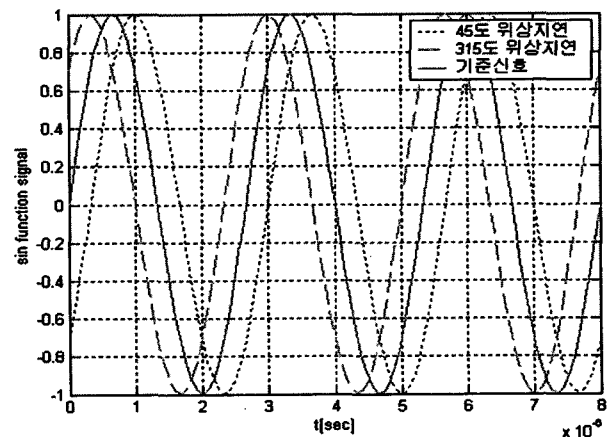


그림 4. $45^\circ/315^\circ$ 위상지연과 기준신호 비교

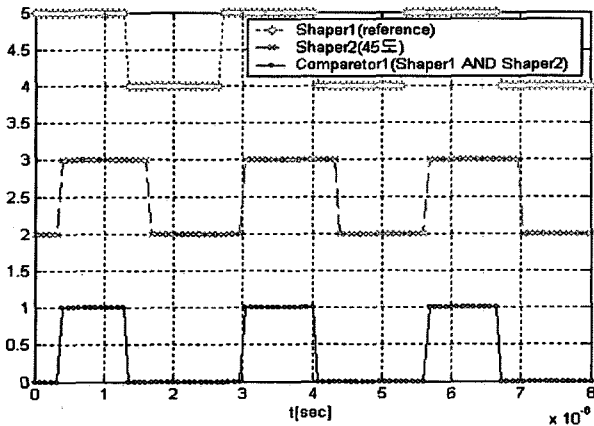


그림 5. 45° 지연된 신호와 기준신호의 비교

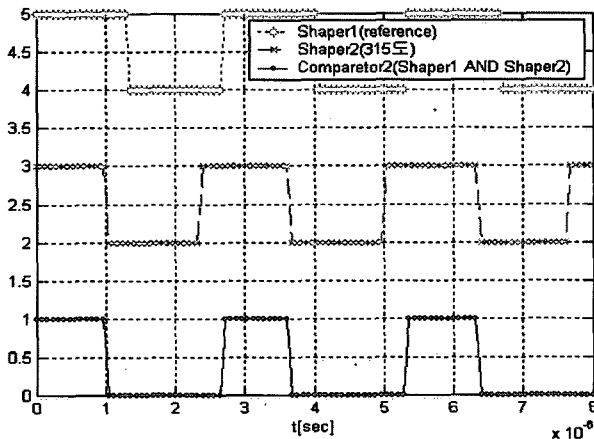


그림 6. 315° 지연된 신호와 기준신호의 비교

하여 컴퓨터에 데이터를 저장할 수 있도록 하였다.

그림 8에서 지상무선국의 송신부(Tx1) 입력신호와 지상무선국의 수신부(Rx2) 출력신호를 비교하기 위하여 계측을 하며, 지상무선국의 송신부 입력신호는 기준신호이고, 수신부 출력신호는 위상정보신호이다.

6. 시험결과 및 고찰

6.1 시험결과

정현파를 이용해서 A점과 B점의 거리가 0m, 20m, 30m, 50m, 90m, 그리고 135.6[m]에서 신호를 계측하고, 삼각파를 이용해서 같은 실험을 했다. 0m의 경우에 기준신호와 위상정보신호에 도달 위상차가 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 시스템에서 생기는 위상지연 값으로 시스템위상지연시간이라고 한다. 따라서 A점과 B점이 거리가 있을 때는 거리

표 1. 송·수신기의 채널별 주파수대역

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 2. 송신기의 사양

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 3. 수신기의 사양

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

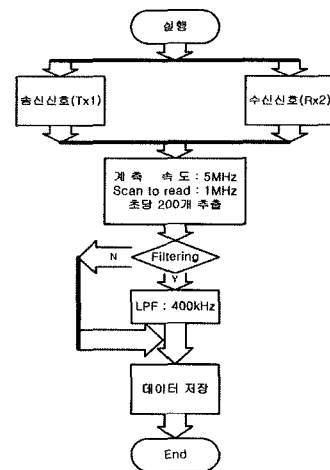


그림 7. 거리측정 흐름도

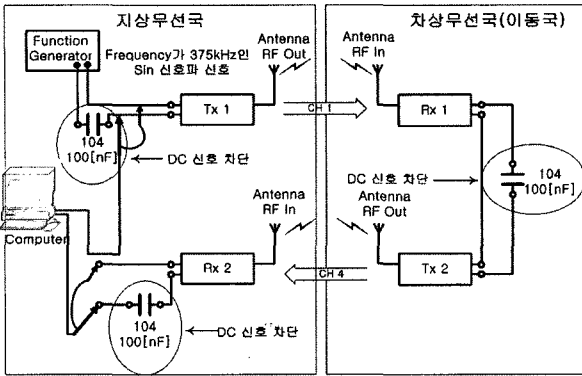


그림 8. 실험시스템 구성도

에 의한 위상지연시간과 시스템위상지연시간이 같이 존재한다. 전체위상지연시간에서 시스템에 의한 위상지연시간을 감해주면 거리에 의한 위상지연시간이 구해진다. 계측카드는 5MHz로 계측을 하기 때문에, 연속적인 아날로그 신호는 200[nsec] 간격으로 샘플링을 해서 양자화 하

게 된다. 양자화하면서 샘플과 샘플 사이의 중요한 위상정보가 사라질 수 있다. 특히, 신호 크기의 부호가 바뀌는 점은 특히 중요하다. 그리고 sine신호의 크기가 0에 가까울수록 크기가 선형적으로 증가하거나 또는 감소하는 것으로 근사화 하였다. 두 개의 샘플에서 샘플링한 시간을 알고 신호의 크기를 알기 때문에 이 두 개의 샘플의 부호가 바뀌면, 크기의 값이 0인 시간(부호의 시간이 바뀌는 시간)은 계산된다. 그림 9~그림 14까지는 정현파를 이용한 결과이다. 그림 8은 시스템 위상지연시간으로 616.6928924[nsec]이다.

정현파와 동일 시험조건으로 삼각파를 이용하여 계측한 파형이며, 그림 15에서와 같이 기준신호와 위상정보신호의 시스템 위상지연 시간을 계산할 수 있다. 시스템 위상지연시간은 591.8967798[nsec]이며 그림 15~20는 삼각파를 이용한 결과이다. 이 실험과정에서 Tx1에서 Rx1으로 위상정보신호를 전송할 때 반송파의 채널과 Tx2에서 Rx2로 위상정보신호를 전송할 때 반송파의 채널의 가능하면 떨어져서 실험을 하고, 지상무선국의 Tx1과 Rx2의 약간 떨어뜨려서 실험을 하고, 이

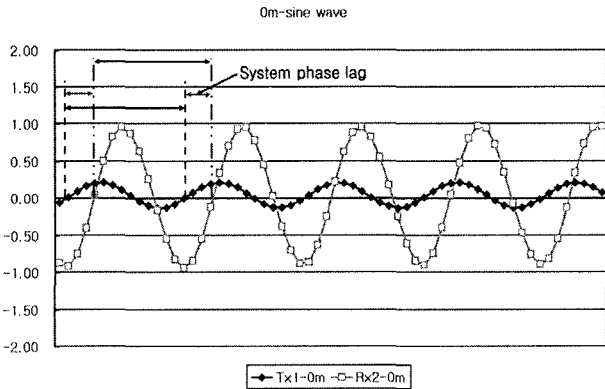


그림 9. 정현파신호를 이용한 실험결과[시스템위상지연 : 0m]

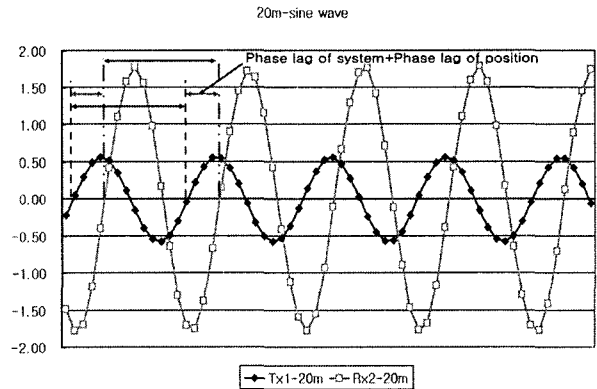


그림 10. 정현파신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 20m]

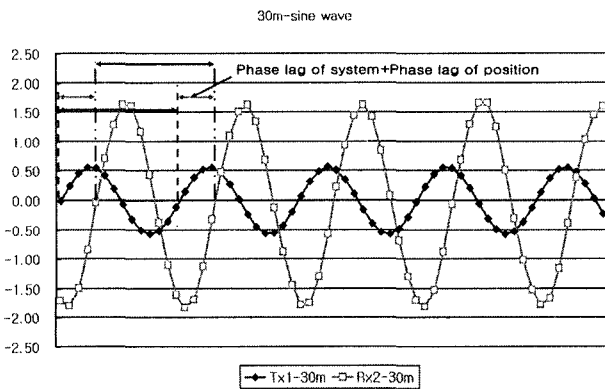


그림 11. 정현파신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 30m]

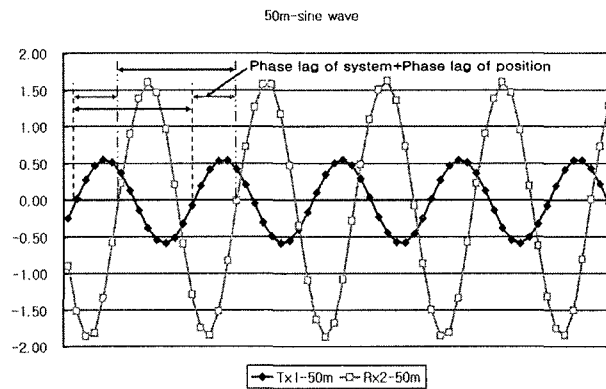


그림 12. 정현파신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 50m]

동무선국의 Rx1과 Tx2의 거리도 약간 떨어뜨려서 실험을 하는 것이 좋다. 그러면, 인접 채널에 의한 누설 전력에 의한 영향을 덜 받는다.

6.2 고찰

그림 9~14에서와 같은 정현파 신호를 이용한 결과와 그림 15~20에서와 같이 삼각파 신호를 이용하여 측정된 거

리를 표 4에 나타내었다. 실제 삼각파 및 정현파 신호 모두에서 오차가 나타났으나 이는 실험 환경 조건에 따른 오차로 보여진다. 본 실험에서는 도달 위상차 검출 및 디지털 값 양자화 오차 보정 알고리즘을 적용하여 열차 위치 추정의 타당성 검증을 위한 실험을 수행하였다. 실제 현장에 적용을 위해서는 보정 및 정확도를 부가한 연구가 필요하다. 아울러 철도시스템 중 주 대상 열차는 경량전철시스템으로

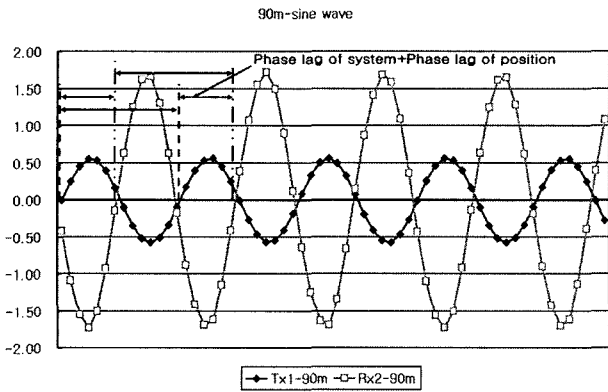


그림 13. 정현파신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 90m]

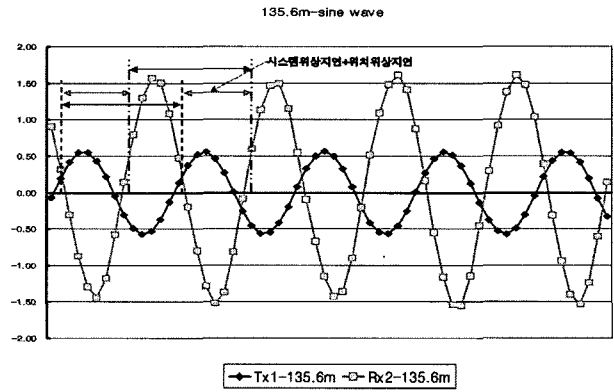


그림 14. 정현파신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 135.6m]

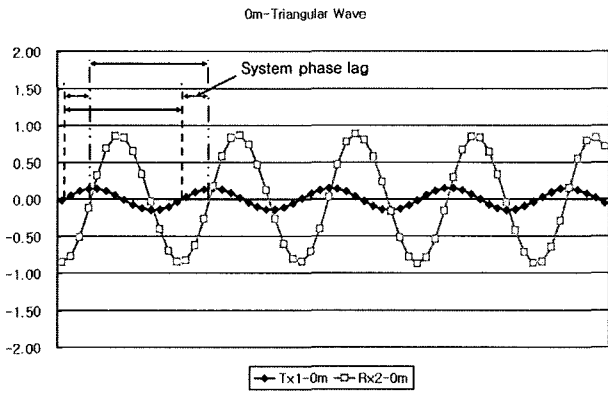


그림 15. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[시스템위상지연 : 0m]

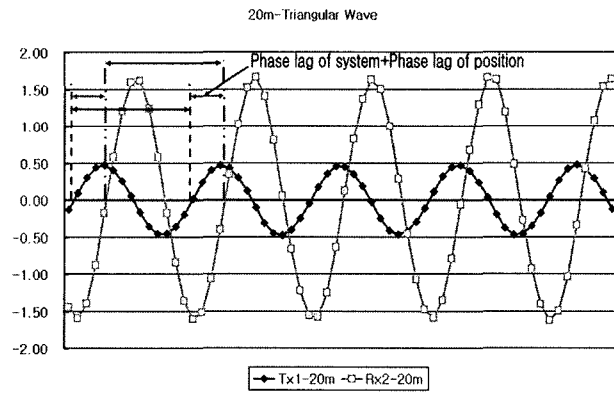


그림 16. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 20m]

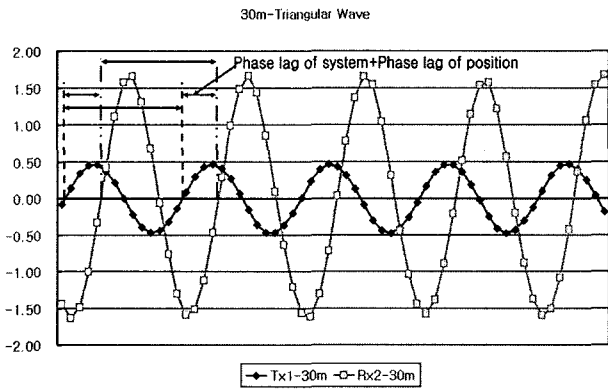


그림 17. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 30m]

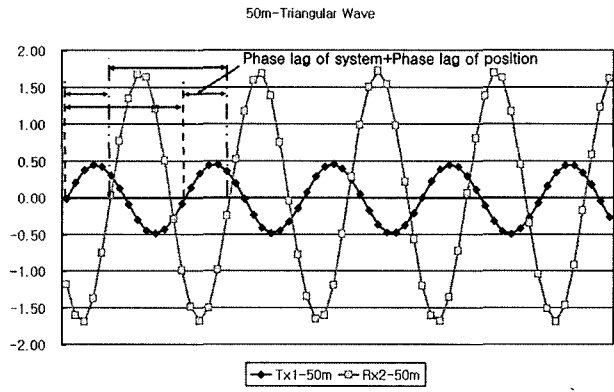


그림 18. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 50m]

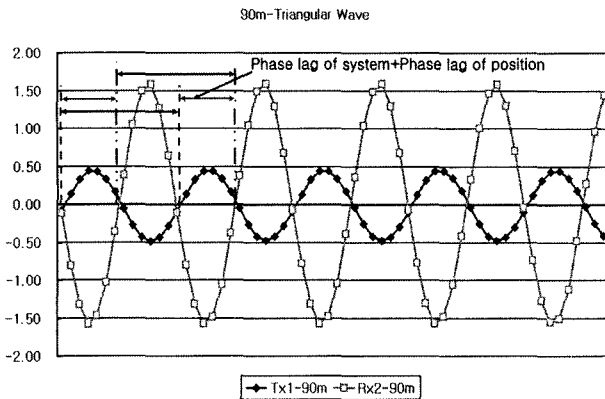


그림 19. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 90m]

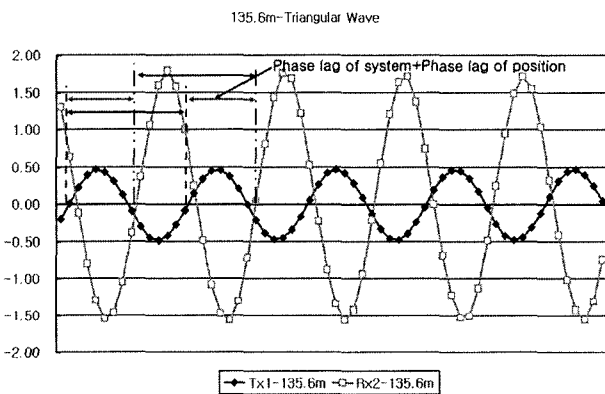


그림 20. 삼각파 신호를 이용한 실험결과[측정거리 : 136.6m]

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.

7. 결론

도달 위상차를 이용하여 이동체(열차)의 위치를 검지하기 위하여 시뮬레이션을 통해 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 위상차의 검출조건에 따라 기준신호와 위상정보신호는 sine신호를 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 sine신호의 부호가 음에서

표 4. 정현파 및 삼각파를 이용한 측정거리

No.	실제거리 [m]	삼각파신호 측정거리[m]	정현파신호 측정거리[m]
1	20	20.58022994	17.38204571
2	30	33.58022994	27.07490027
3	50	57.51234516	50.9770244
4	90	94.73707887	122.3811769
5	135.6	107.1886818	133.3894128

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 샘플사이에 있으면 위상 정보의 오차의 큰 원인임과 도달 위상차를 찾기 위해서 사용한 sine신호는 신호의 크기 부호가 바뀌는 시간을 근간으로 디지털 값 양자화 오차보정을 하였고 정현파 및 삼각파 신호를 사용하여 비교하였으나 사용 신호 파형에 따른 큰 차이점은 발견하지 못하였고 두 신호파형의 사용이 가능함과 부가적으로 오차를 보정하는 새로운 방법 및 신뢰성을 확보하기 위한 시험 연구를 지속적으로 수행하여 실용화 기반을 마련할 필요가 있다.

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 2002.
9. Nishinaga, E. J.A. Evans, G.L. Mayhew, “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. G.L. Mayhew, J.A. Kivett, J.G. Himes, J.A. Evans, "Application of radio navigation technology to advanced automatic train control' Position Location and Navigation Symposium, IEEE, pp.217-224 April, 1994.