

위상차(PDOA)를 이용한 열차 위치 검지

A Position Detection of Train Using the PDOA(Phase Difference of Arriving)

鄭樂教* · 金榮石**

(Rag-Gyo Jeong · Young-Seok Kim)

Abstract - This paper proposes a new position detection method for train speed control using the Phase Difference of Arriving. This method aims to apply to Automated Guide-way Transit systems, to be operated without driver. So it is absolutely required to range, calculate and decide a train position precisely. This system consists of Vehicle Radio Set(VRS) and Wayside Radio Set(WRS). The VRS transmits a wireless signal to the WRS and the controller calculate a straight line and curve line with Phase Difference of Arriving(PDOA) and an exact position using track date-base is calculated at next step.

Key Words : VRS(Vehicle Radio Set), WRS(Wayside Radio Set), PDOA(Phase Difference of Arriving)

1. 서 론

지능형 교통시스템을 열차에 응용함으로써 효율성과 신뢰성을 높이기 위해서는 열차 사이의 간격을 효율적으로 조절하는 것이 필수적이다[1]. 열차 사이의 간격을 효율적으로 제어하기 위해서는 각 열차의 절대위치를 정확하게 파악해야 하며 이를 위하여 많은 방법들이 제안되었고 적용되고 있다. 하지만 이들 방법들은 정확도와 비용의 측면에서 많은 문제점을 갖고 있으며 어떤 방법도 현재 철도에 적용하기에는 어려움이 있다. 특히 경량전철과 같은 무인운전 시스템의 경우 고려하여야 할 사항이 많이 있지만 그 중에서도 아래와 같은 사항은 무인 운전 시스템의 효율 및 신뢰성에 관계되는 것으로 필수적으로 고려되어야 하는 사항이다.

- 1) 운전시격을 정확히 얻기 위하여 통신 지연 및 반응시간을 고려하여야 한다.
- 2) CBTC(Communication Based Train Control) 열차위치·속도 결정은 어떠한 구성이라도 ATP(Automatic Train Protection) 기능에서 수행되어야 한다.
- 3) CBTC 위치 결정 기능은 시스템의 성능 및 안전 요구사항을 지원하기 위하여 충분한 열차 위치의 정확성을 제공하여야 한다.
- 4) 열차 위치 결정 기능은 스스로 동작되어야 하며, 모든 열차의 위치를 자동으로 검지하고 설정하여야 한다.

그러므로 열차운영효율을 높이기 위하여 열차제어방식이 고정폐색방식에서 이동폐색으로 변화하고 있으며, 이를 구현

하기 위하여 무선통신기술을 이용한다[2]. 이동폐색을 구현함에 있어 운행중인 열차의 절대위치를 실시간으로 추적하여 열차간 안전거리를 효율적으로 제어하는 것이 요구된다.

무선통신을 이용하여 이동체 위치를 추적하기 위해서는 비교적 복잡한 도심이나 전원지역에서도 위치정밀도가 어느 정도 확보되어야 하며 시간이나 공간적인 변화에 가능한 영향을 받지 않아야 된다. 여러 가지 방법 중 TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival)방법이 이동체 위치 식별에 적절한 것으로 판단된다. TOA나 TDOA 방법은 전파통신에 기초한 방법으로 차량에 부착되어 있는 이동국과 지상에 고정되어 있는 지상국간 통신을 하여 차량의 위치·속도 정보를 양쪽에서 계산하여 사용할 수 있다[3].

TOA를 적용한 AATC(Advanced Automatic Train Control)시스템의 위치추적개념을 그림 1에 표현하였다.

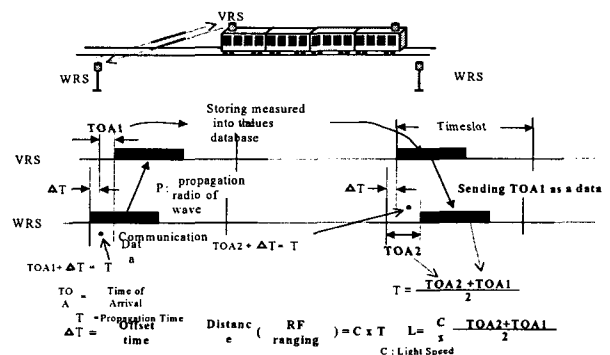


그림 1 TOA에 의한 열차위치 추적

Fig. 1 Tracking the train position with TOA

그러나 TOA 및 TDOA 경우 무선국의 시간동기화를 위해서 고도의 기술을 요구하고 있으며[4], 시간동기오차에 따

* 正 會 員 : 韓國鐵道技術研究院 先任研究員
 ** 正 會 員 : 仁荷大學校 電子·電氣工學部 教授 工學博士
 接受日字 : 2002年 12月 18日
 最終完了 : 2003年 2月 26日

른 위치검지의 정밀도가 낮아지는 문제가 있어 이를 극복하기 위하여 위상차를 이용한 새로운 열차검지기법을 제안하고자 한다.

2. 여러 가지 위치추적 방법

2.1 셀식별(Cell Identification)

이동하는 물체의 위치를 확인하기 위한 단순한 방법중의 하나로 그림 2와 같이 이동국의 좌표를 추정하기 위하여 서비스의 제공이 가능한 고정국의 좌표를 사용하여 위치를 결정하는 것이다. 서비스를 제공하는 셀에 대한 정보가 셀 방식의 시스템에서 쉽게 이용할 수 있으므로 기존 시스템의 변경이 최소한으로 요구되며 점과 위치 정보를 얻기 위하여 계산이 필요치 않은 것이 장점이다. 결점으로는 전원지역이 도시지역에 비하여 매우 큰 셀 반지름을 가져 정확도가 이에 직접적으로 의존한다는 점과 조밀한 도시지역에서는 위치 정확도가 비교적 좋지만 전파 효과 때문에 서비스를 제공하는 셀이 항상 가장 근접한 셀은 아니라는 점이다. 따라서 이 방법으로 얻을 수 있는 정확도는 고정국의 조밀도와 셀의 기하학적 형상으로부터 추론되기 때문에 좋지 않다.

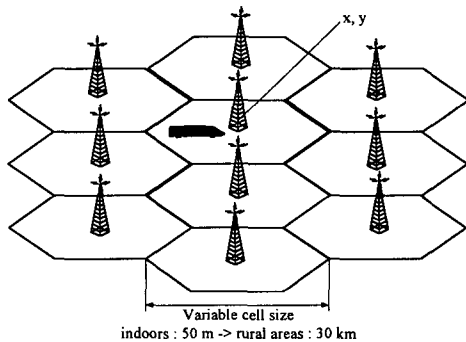


그림 2 셀 식별 기법
Fig. 2 Cell identification method

2.2 신호레벨(Signal Level)

이동하는 물체의 위치를 측정하기 위하여 신호 감쇠를 측정하여 위치를 결정하는 방법이다[5]. 측정영역을 2차원 평면, 전방향성의 고정국 안테나 그리고 자유공간 전파 조건이라고 가정하면 고정국 주위의 신호 크기에 대한 등고선은 그림 3과 같이 원형으로 나타나며, 만약 서로 다른 세 개의 고정국으로부터의 신호 크기를 알고 있다면 이동국의 위치는 세 원의 교차점으로 결정할 수 있다. 하지만 도시지역에서 실제 전파 조건은 자유 공간 전파와 차이가 있으며 우수한 전파 예측 도구들을 위치에 따른 신호 크기를 계산하는데 사용하여야 한다. 신호 크기에 대한 등고선이 원형이 아니라더라도 등고선들은 예측한 값과 측정된 값 사이의 최적값을 이용하여 찾은 위치를 위치 추정에 사용할 수 있다[3, 6].

신호 크기를 사용하는데 두 가지 문제점이 있다. 첫 번째는 다중전파가 파장의 한 주기 거리상에 10[dB]정도의 신호 강도 변화를 야기한다는 점이다. 순간적으로 전파의 강도가 변동하는 현상 때문에 순간적인 값보다는 국부적인 평균 신호 크기를 위치추정에 사용해야 하지만 이동국의 평균은 이

동국이 이동해야만 계산할 수 있다. 두 번째는 이동국에 신호 크기에 대한 불규칙한 변화가 야기된다는 것이다.

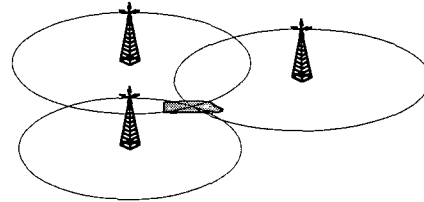


그림 3 신호레벨 기법
Fig. 3 Signal level method

2.3 도달각(Angle of Arrival)

그림 4에 나타난 바와 같이 고정국이나 이동국에서 측정된 도달 신호각 정보는 위치 추정에 사용할 수 있다. 도달각 측정이 안테나 배열을 필요로 하기 때문에 이 기법은 고정국에서만 유용하다. 측정구역을 2차원 평면이라고 가정하면, 두 고정국에서의 도착각은 하나의 위치를 결정하는데 충분하다. 이 기법에서 두 가지 주요한 결점은 고정국에 안테나 배열과 같은 새로운 장치가 필요하며 정확한 위치를 추정하기 위하여 직선 전파 조건이 필요하다는 점이다. 후자의 이유로 인하여 이 기법은 두 고정국에 직선 전파 조건이 드물게 존재하는 과밀 도시지역에서는 적용하기가 쉽지 않다. 하지만 도달각 기법은 정확도가 우수한 전원이나 교외지역에 사용할 수 있고 두 고정국의 위치를 고정하는 것 이외에는 필요한 것이 없다는 장점이 있다. 또한 도달각 기법은 다른 방법에 대하여 보조적인 수단으로 매우 유용하다[7].

도달각 기법의 정확도는 배열 안테나의 전파 방사 각도에 의하여 제한된다. 예를 들면 2[GHz]에서 1[m]정도의 배열을 사용한다면 안테나의 전파 방사 각도는 약 10°정도이다. 다중 전파가 미치는 효과를 무시하고 공간적인 전파 환경이 좋다고 가정하면 두 개의 고정국으로부터 1[km] 떨어진 거리에서 위치 오차는 약 200[m] 정도일 것이다.

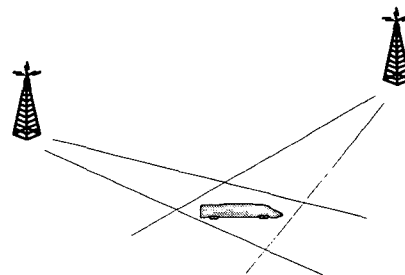


그림 4 도달 각 기법
Fig. 4 Angle of arrival method

2.4 전파시간(Propagation Time)

이동국과 여러 개의 고정국 사이의 전파 시간 지연을 측정하면 위치 결정에 사용할 수 있다. 측정 평면이 2차원이고 직선 전파 조건이라고 가정하면 측정된 각 시간 지연은 고정국 주위의 원으로 정의되고 이러한 세 개의 원이 위치를 결정하는데 사용된다. 이 방식의 문제점은 유용한 시간

지연을 측정하기 위하여 이동국과 고정국 사이에 정확한 시간 동기화가 필요하다는 것이다. 지연 시간이 측정될 때, 이동국에서 정확한 시간 기준이 필요하기 때문에 전파 시간차 측정에 기초한 이 기법은 세심한 주의가 필요하다[8].

2.5 도달시간차(Time Difference of Arrival)

도달시간차 기법에서는 절대적인 시간 대신에 전파 시간차가 이용된다. 이동국은 여러 개의 동기화된 고정국으로부터 신호들 사이의 시간차를 측정하거나 선택적으로 고정국이 이동국으로부터 나오는 신호의 도달시간을 측정한다. 전파의 이동국 측정은 후자가 TDOA 기법처럼 여겨지는 것처럼 E-OTD(Enhanced observed time differences) 기법으로 선택된다. 이동국이 고정국과 동기화되지 않기 때문에 도달시간은 절대적인 전파 시간들을 측정하지는 않지만 전파 시간차는 여러 고정국의 도달 시간으로부터 계산할 수 있다. 측정기법에 관계없이 각 시간차 측정은 그림 5에 나타낸 바와 같이 쌍곡선으로 정의되며 이러한 세 개의 쌍곡선은 동일한 교차점을 가진다. 네 개의 고정국은 세 개의 독립적인 TDOA 측정을 얻기 위하여 필요할 것이다. 하지만, 많은 경우에 있어서 두 개의 쌍곡선이 동일한 교차점을 가지며 세 개의 고정국이면 충분하다[9, 10].

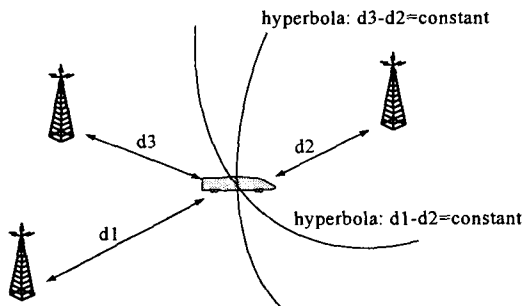


그림 5 도달시간차 기법
Fig. 5 Time difference of arrival method

2.6 위성기반 위치추적(Satellite-based Positioning)

GPS(Global Positioning System)수신기를 이용한 위치추적은 적어도 개발지에서는 우수한 정확도를 만족할 수 있기 때문에 중요하다. 단점으로는 위성 신호가 빌딩 등과 같은 장애물에 의하여 감쇄되기 때문에 복잡한 도심에서 적당한 수의 위성신호를 받는 것이 어렵다는 것이다. 하지만 통신망 기반 GPS 방법은 최근 상당한 감쇄에도 문제가 없으며 GSM(Global System for Mobile communication)표준화에 적용되었다[11]. GPS 신호는 고정된 기지국에서 수신하며 번역된 통신은 위치 계산에 사용하기 위하여 위치 추적 서버로 전달한다. 이 방법은 통신의 번역 없이 위성에 대하여 단지 가상범위 측정을 수행하기 위한 이동국의 GPS 모듈에 대하여 충분하다. 따라서 가상범위 측정은 작은 수신 출력으로 짧은 시간 내에 수행된다. 동기화된 시간의 부가적인 장점은 셀 방식의 통신망을 경유하여 사용자에게 위성도플러 주파수와 개략적인 사용자의 위치를 전달함으로써 획득된다. 수신기는 위치 추적 서버에 대하여 관측된 가상

범위를 전송한다. 이것은 정확한 차동 GPS 해법을 얻기 위하여 고정된 GPS 수신기의 측정된 가상범위를 사용함으로써 사용자의 위치를 계산한다. GPS 위성을 이용한 위치추적의 개략도를 그림 6에 나타냈다.

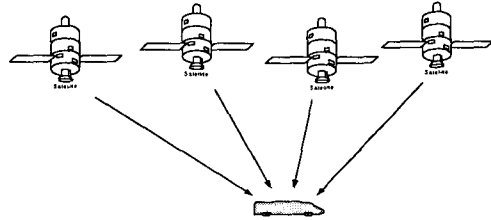


그림 6 위성기반 위치 추적기법
Fig. 6 Satellite-based positioning method

2.7 무선패턴(Radio Pattern)

LF(Location Fingerprinting)기술은 이동무선국의 위치에 따라 고유의 전파특성을 갖는다는 기본원칙에 따라 개발되었으며, 이러한 이동무선국 발신위치에 따른 지역별 고유전파 특성을 사람의 지문에 비유함으로써 위치 핑커프린팅이라 부르며, 다양한 기법을 이용한다.

그림 7에 나타낸 바와 같이 LF기술을 고유알고리즘으로 이용하여 이동국으로부터 다중경로를 통해 기지국에 수신되는 모든 직접파 및 반사파를 분석하여 발신위치의 고유전파 신호패턴을 찾아내고, 이러한 고유 패턴을 기존의 데이터베이스와 비교하여 유사한 전파 신호패턴을 찾음으로써 이동국의 위치를 확인한다.

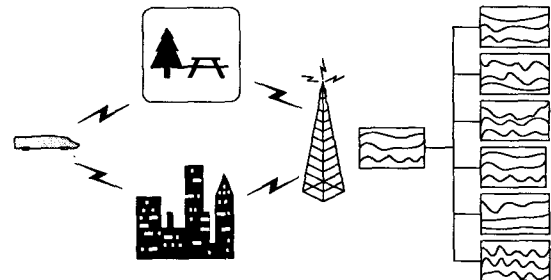


그림 7 무선패턴 기법
Fig. 7 Radio pattern method

2.8 인덕티브 루프(Inductive Loops)

전류의 폐회로 길이에 의존하는 방법으로 열차의 위치추적을 위하여 초기에 사용하였던 방법이다. 일반적으로 폐회로의 길이는 1,000피트 정도이며 최소 100피트 정도이다. 이 방법의 단점으로는 설치비와 유지보수 비용이 많이 소요되며 녹슨 레일, 오일에 의한 오염 그리고 추진 모터 노이즈에 의하여 쉽게 교란된다는 것이다.

2.9 태그 시스템(Tag System)

일반적으로 열차가 트랜스폰더에 아주 가깝게 근접해 있을 때, 마이크로파나 적외선에 기초하여 위치를 제공한다.

트랜스폰더는 요구된 위치 정밀도에 상응하는 간격으로 설치되어야 하거나 DR(Dead Reckoning)시스템이 위치를 보정하기 위하여 필요하다. 하지만 열차의 위치 정보는 테킹 시스템이 차량과 제어 시스템 사이의 통신을 제공하지 않기 때문에 제어역보다는 차량에서 쉽게 이용할 수 있다.

2.10 데드레코딩시스템(Dead Reckoning Systems Depend)

DR 시스템은 위치를 결정하기 위하여 축 순환 계산에 의존한다. 휠 미끄러짐, 휠 주행, 휠 마모 등은 위치 부정확도에 상당한 원인이 된다. 짧은 범위의 오차는 소프트웨어 모델에 의하여 추정되며 장거리 축적 오차는 테킹시스템과 쌍으로 재보정함으로써 제거될 수 있다. 하지만 열차의 위치 정보는 DR 시스템이 차량과 제어역사이의 통신을 제공하지 않기 때문에 제어역보다는 차량에서 쉽게 이용할 수 있다.

2.11 여러 가지 위치추적 방법들의 비교

여러 가지 위치 추적 방법에 대하여 전술한 바와 같이 모든 방법들이 장단점을 가지고 있으며 지리적인 여건이나 환경에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 위치 추적 방법을 선택할 때에는 사용하고자 하는 환경과 정밀도 그리고 비용 등을 고려하여 최선의 방법을 선택해야 한다.

표1, 2에서 열차의 위치 추적을 위한 여러 가지 방법을 검토한 결과 경량전철과 같이 무인운전 시스템의 경우에는 비교적 복잡한 도심이나 전원지역에서도 위치 정밀도가 어느 정도 확보되어야 하며 시간이나 공간적인 변화에 가능한 영향을 받지 않아야 된다.

표 1 다른 요소에 위치성능 민감도

Table 1 Sensitivity of location performance on different factors

	Multipath propagation	Satellite visibility	Distance measurement accuracy	Number of base stations	Temporal & spatial variations
Cell ID	no	no	no	no	no
Signal level	small	no	no	large	large
AOA	large	no	no	small	small
TOA	large	no	large	large	no
TDOA	large	no	large	large	no
GPS	large	large	small	no	no
Radio pattern	no	no	no	small	large
Inductive loops	no	no	small	small	no
Tag system	no	no	small	large	no
Dead reckoning	no	no	small	no	no

또한 무인운전을 가능하게 하기 위한 통신이 필수적으로 구축되어야 하기 때문에 상기 열거한 방법 중에 열차의 위치추적에는 TOA나 TDOA 방법이 타당하다. TOA나 TDOA 방법은 모두 전파통신에 기초한 방법으로 차량에 부착되어 있는 이동국과 지상에 고정되어 있는 지상국 사이에

통신이 가능하며 차량에 대한 위치·속도 정보를 양쪽에서 사용할 수 있는 장점이 있다. 현재 외국의 경우에도 TOA나 TDOA를 사용하는 경우가 많으며 GPS 위성을 이용한 방법은 향후 GPS 유료화에 따른 문제로 인하여 사용하지 않는 추세이다. 따라서 경량전철의 위치추적 방법은 전파 지연 시간이나 위상차 등을 이용하는 전파 통신에 기초한 방법을 사용한다.

표 2 위치추적기법 비교

Table 2 Comparison of the location techniques

	Performance		Modifications	
	urban	rural	mobile	network
Cell ID	poor/mod.	poor	-	SW
Signal level	mod./poor	poor	SW	SW
AOA	mod./poor	mod.	-	HW&SW
TOA	mod.	mod./poor	SW	HW&SW
TDOA	mod.	mod./poor	SW	HW&SW
GPS	mod.	high	HW&SW	SW
Radio pattern	mod./poor	poor	-	SW
Inductive loops	mod.	mod.	-	HW
Tag system	poor	poor	HW	HW&SW
Dead reckoning	mod.	mod.	HW&SW	SW

3. 위상차를 이용한 위치추적

이동체의 위치를 측정하는 방법은 많이 있으나 열차와 같이 일정한 궤도를 따라 움직이는 이동체의 위치추적에 적용할 수 있는 방법은 그리 많지 않다. 현재 지상국과 이동국 사이의 시간차를 이용하는 TOA나 TDOA가 미국과 일본 등지에서 적용되고 있으나 국내에서는 자체 기술의 확보나 그 노력이 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 지상국과 이동국 사이의 위상차를 이용하여 일정한 궤도를 따라 움직이는 이동체인 열차의 위치추적 기법을 개발하고자 한다.

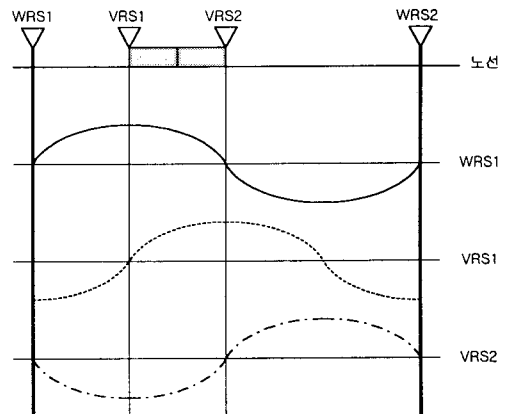


그림 8 WRS와 VRS간의 위상지연
Fig. 8 Phase lag between WRS and VRS

위상차를 이용하여 이동체의 위치를 추적하는 방법은 다음과 같다. 그림 8에 나타낸 바와 같이 먼저 서로 인접한 지상국(WRS1과 WRS2) 사이의 거리와 파장의 길이가 약간 길거나 동일하게 되도록 전파의 주파수를 설정하여야 한다. 일반적으로 통신에 사용하는 전파의 주파수는 적게는 수백 MHz에서 수 GHz에 이르기 때문에 짧은 파장의 신호가 두 개의 지상국 사이에는 무수히 많이 존재한다. 본 논문에서 제안한 위상차를 이용한 위치추적 방법은 지상국과 이동국의 위상차를 이용한 방법이기 때문에 인접한 지상국 사이에 파장이 1개 이상 존재하게 되면 서로 다른 위치에서 동일한 위상이 존재하게 되므로 위치 추적이 불가능해진다. 반대로 파장이 인접한 지상국의 거리보다 매우 길게 되면 거리의 변화에 따른 위상차의 변화가 작아지기 때문에 측정의 정밀도가 감소한다, 따라서 이 방법에서는 항상 파장의 길이가 인접한 지상국의 거리와 동일하거나 약간 길게 설정하여야 한다. 인접한 지상국 사이의 거리가 결정되었을 때, 위상측정용 신호의 주파수는 다음과 같은 방법으로 결정한다. 인접한 지상국 사이의 거리가 200[m]라면

$$\frac{C}{f} = 200[m] = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1)$$

여기서 광속 C는 3×10^8 [m/s]이며 f는 위상측정용 신호의 주파수이다. 식 (1)에서 주파수를 구하면 1.5[MHz]로 된다. 따라서 1.5[MHz]의 위상측정용 신호를 높은 주파수 대역의 통신용 주파수와 복조하여 전송하는 방법으로 사용할 수 있다.

인접한 지상국의 거리가 200[m]이고 지상국(WRS1)의 기준신호와 열차에서 송신하는 위상측정용 신호가 1.5[MHz]의 주파수로 설정하였을 때의 위상을 나타낸 것이고 지상국의 기준신호와 열차에서 송신한 신호의 위상차를 보면 WRS1의 경우에는 90° 가 느리며 WRS2의 경우에는 180° 가 느리게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 지상국의 기준신호와 열차에서 송신하는 신호와의 위상차를 측정하면 위치를 알 수 있다. 열차의 이동거리에 따른 위상차의 변화는 위상측정용 신호의 주파수에 따라 다르게 나타나며 여러 가지 주파수에 대한 단위 길이당 위상변화를 표 3에 나타냈다.

표 3 무선주파수에 따른 단위길이당 위상지연
Table 3 Phase lag per unit length as radio frequencies

Frequency(MHz)	Phase Lag / length(deg./m)
0.375	0.45
0.750	0.90
1.125	1.35
1.500	1.80

표 3에서 알 수 있듯이 주파수가 낮아지면 단위 길이당 위상의 변화가 작아지기 때문에 가능한 위상측정용 신호에서 한 파장의 길이가 인접한 지상국의 거리와 비슷하게 설정하여야 한다.

3.1 직선선로에서의 위치결정

철도 선로는 직선과 곡선이 혼합되어 있는 형태이기 때문에 기준점으로부터 실제 열차가 주행한 거리를 추정하는 데는 약간의 근사 계산이 필요하다. 경량전철과 같이 무인운전 시스템에서 열차의 제어 특히 각 열차의 간격을 제어하

는 것은 선로를 따른 위치를 기본으로 한다. 따라서 열차의 위치는 기준점으로부터의 직선과 곡선거리를 계산하여야 한다. 위상차를 이용하여 WRS와 VRS 사이의 거리를 측정하는 것은 직선거리이다. 따라서 측정된 직선 거리를 실제 주행거리로 환산하는 것이 필요하다. 실제 주행 거리를 환산하는 방법으로는 위상차를 이용하여 측정된 직선거리와 노선의 데이터베이스를 이용하여 미리 구축한 위상차와 그에 따른 거리를 데이터베이스화 한 후 이를 환산하는 방법과 노선의 특성에 따라 미리 구획을 분할한 후 측정된 직선거리에 해당하는 구획을 결정하고 이를 바탕으로 그 구획에서 관계식을 이용하여 주행 거리를 결정하는 방법이다. 전자의 방법은 방대한 데이터베이스가 필요하여 그 처리속도 또한 비교적 느린 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 노선의 특성에 따라 미리 구획을 분할하여 이를 토대로 열차의 위치를 추적하는 방법을 사용한다. 그림 9은 도달 위상차를 이용하여 구한 직선거리와 노선의 데이터베이스를 이용하여 실제 열차의 위치를 추정하는 방법을 나타낸 것이다. WRS를 기준으로 직선구간과 곡선구간을 구분하여 적절하게 구획을 분할한다. 구획을 너무 많이 분할하게 되면 데이터베이스의 양이 방대해지므로 구획의 분할 간격은 요구되는 오차를 만족시키는 범위에서 설정하여야 한다. 곡선구간에서 서로 다른 곡률 반경을 가지는 경우에는 곡률 반경에 따라 구획을 분할하는 것이 바람직하다.

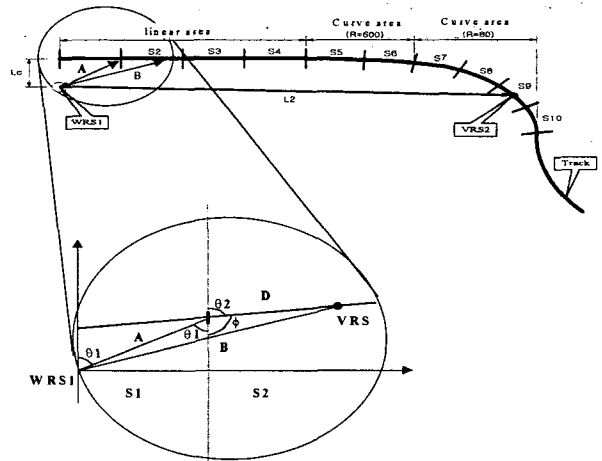


그림 9 직선구간에서 위치결정기법
Fig. 9 Determination method of location for linear region

WRS에 인접한 직선구간에서 열차의 위치를 결정하는 방법은 그림 9에 나타낸 바와 같이 단순히 데이터베이스로부터 획득한 WRS와 선로와의 직선거리 A와 도달 위상차를 이용하여 측정된 WRS1과 VRS1 사이의 직선거리 B를 아래의 식과 같이 피타고라스 정리에 대입하여 구하게 된다.

$$D = \sqrt{B^2 - A^2} \quad (2)$$

WRS에 인접하지 않은 직선구간의 경우에 열차의 위치를 결정하는 방법은 미리 구축되어 있는 데이터베이스로부터 WRS로부터 구획까지의 거리 A와 점 O와 P가 이루는 각도 θ_1 을 획득하고 도달 위상차를 이용하여 WRS와 VRS 사이의 직선 거리 B를 구한다. 여기서 노선의 데이터베이스로부

터 P와 Q가 이루는 각도 θ_2 를 구하면 OPQ가 이루는 각도를 구할 수 있다. OPQ가 이루는 각도는

$$\angle OPQ = \phi = (180 - \theta_2) + \theta_1 \quad (3)$$

세 점 O, P, Q가 이루는 삼각형에서 두 변의 길이 A와 B 그리고 식 (3)에 나타낸 한 개의 각도를 알 수 있기 때문에 이것으로부터 열차가 이동한 거리 D를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B^2 = A^2 + D^2 - 2AD \cos(\phi) \quad (4)$$

식 (4)을 D에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$D = A \cos(\phi) \pm \sqrt{B^2 - A^2 \sin^2(\phi)} \quad (5)$$

그러므로 열차의 위치는 데이터베이스로부터 획득한 구획까지의 거리에 D를 더한 값이 된다.

3.2 곡선선로에서의 위치검지

VRS2와 같이 곡선구간에 위치한 경우에 실제 거리를 추정하는 방법은 그림 10에 나타낸 바와 같으며 실제 거리를 추정하는 과정은 그림 11에 나타냈다. 먼저 위상차를 이용하여 측정한 직선거리를 이용하여 VRS2가 위치하여 있는 구획을 찾은 다음에 그 구획에서 위상차와 주행거리와의 관계를 이용하여 실제 주행거리를 추정한다. 데이터 베이스로부터 WRS와 곡선구간에 대한 곡률 반경의 중심 그리고 구획 S6의 시작점의 정보를 이용하여 WRS로부터 구획 S6의 시작점까지의 거리 A와 곡률 반경의 중심까지의 거리 C 그리고 곡률 반경 R이 이루는 삼각형에서 다음과 같은 관계를 이용하여 θ_1 을 구한다.

$$A^2 = C^2 + R^2 - 2CR \cos \theta_1 \quad (6)$$

WRS로부터 VRS까지의 거리 B와 곡률 반경의 중심까지의 거리 C 그리고 곡률 반경 R이 이루는 삼각형에서 다음과 같은 관계를 이용하여 θ_2 를 구한다.

$$B^2 = C^2 + R^2 - 2CR \cos \theta_2 \quad (4)$$

이들 식을 θ_1 과 θ_2 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{A^2 - C^2 - R^2}{2CR} \quad (5a)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{B^2 - C^2 - R^2}{2CR} \quad (5b)$$

따라서 구획 S6의 시점과 VRS가 이루는 각도 θ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_2 - \theta_1 \\ &= \cos^{-1} \frac{B^2 - C^2 - R^2}{2CR} - \cos^{-1} \frac{A^2 - C^2 - R^2}{2CR} \end{aligned} \quad (6)$$

위의 식에서 알 수 있듯이 WRS에서 S6의 시작점까지의 거리 A와 VRS까지의 거리 B 곡률 반경의 중심까지의 거리

C 그리고 곡률 반경 R을 알 수 있으면 구획 S6의 시작점과 VRS가 이루는 각도를 알 수 있다. 여기서 A, C, R은 노선의 데이터베이스로부터 결정되는 값이며 B는 도달 위상차를 이용하여 측정한 값이다. 이 각도를 이용하여 실제 열차가 이동한 곡선거리 d를 아래의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$d = \frac{\theta}{360} 2\pi R \quad (7)$$

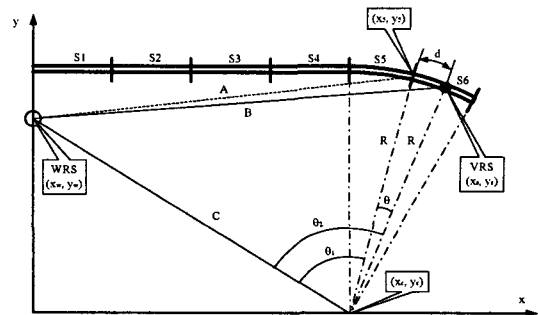


그림 10 곡선구간에서 위치결정기법
Fig. 10 Determination method of location for curve region

따라서 최종적인 열차의 위치는 구획 S6 시점까지의 거리에 d를 더한 거리가 된다.

WRS에 인접한 곡선구간의 경우에는 θ_1 이 존재하지 않기 때문에 $\theta = \theta_2$ 가 성립한다. 그러므로 이러한 경우에는 θ 대신 θ_2 를 대입하여 열차가 이동한 거리를 구할 수 있다.

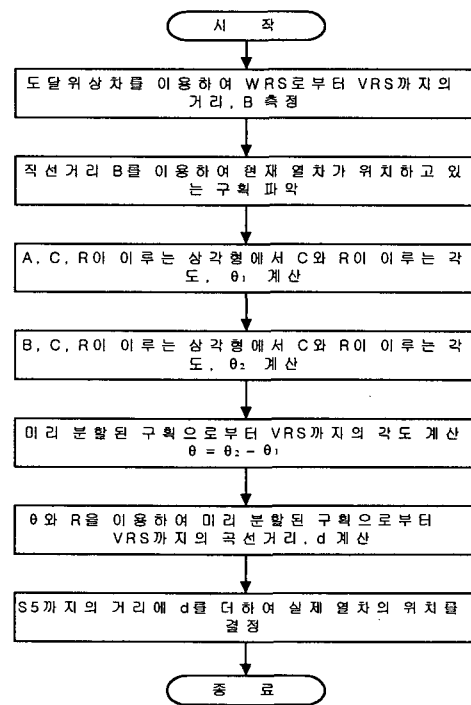


그림 11 곡선구간에서 위치결정흐름도
Fig. 11 Flowchart for determination location in curve region

4. S/W 설계

위치추적 프로그램은 노선의 데이터 베이스를 구축하고 이를 바탕으로 지상국(WRS)의 위치를 설정하는 기능을 가지고 있다. 지상국의 위치가 결정되면 서로 인접한 지상국 사이에서 직선구간과 곡선구간에 따라 선로의 구배, 곡선반경의 조건에 따라 구획을 나눌 수 있도록 하였다.

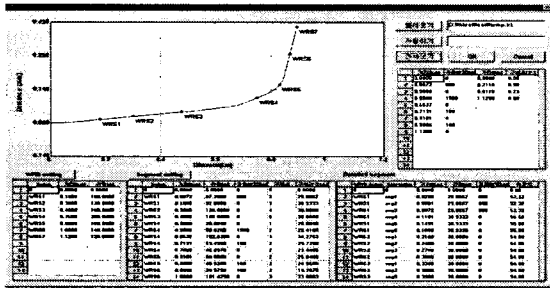


그림 12 WRS와 구획설정
Fig. 12 WRS and segment setting

구획설정은 지상국의 위치 및 인접한 지상국 사이에 위치 추적을 하기 위한 부분으로서 지상국의 배치, 개수 및 거리를 설정하는 부분으로 본 시험 노선에서는 지상국을 7개로 구획을 나누어 분할·설정하였다. 이들 내용을 도달 위상차를 이용하여 열차의 위치를 추적하기 위한 데이터베이스를 구축하기 위한 과정으로 그림 12에 나타내었다.

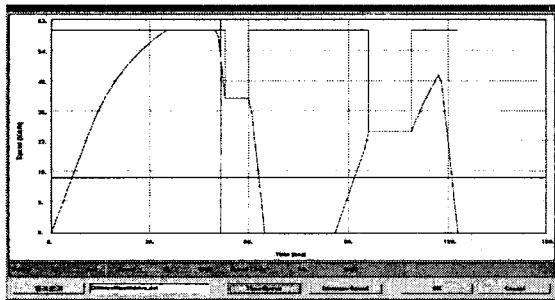


그림 13 시간에 따른 운전곡선
Fig. 13 Driving curve as time

열차의 제한 속도를 60[km]로 설정하여 노선의 구배, 곡선 반경 및 열차 가·감속도를 고려한 시험 노선 1[km]에서 실제 위상차를 이용한 위치추적을 수행하여 운전곡선을 위치의 시간에 따른 노선의 제한 속도와 실제 열차의 주행속도를 나타내는 것으로 40~50[sec]에서 최대 운행속도에 도달하며 120[sec] 주행하는 하의 상태를 그림 13에 나타내었다. 또한 동일한 조건으로 하여 운전 곡선을 위치의 거리에 따른 노선의 제한 속도와 열차가 실제 주행하는 속도를 그림 14에 나타낸 것으로 380~620[m]에서 최고 주행속도를 보이고 있다.

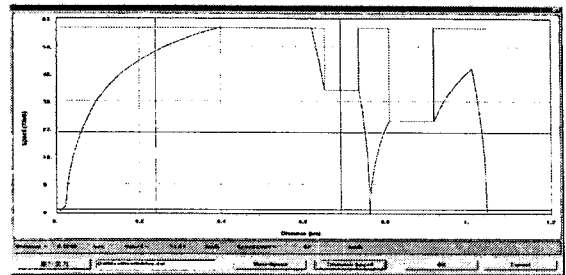


그림 14 거리에 따른 운전곡선
Fig. 14 Driving curve as distance

지금까지 노선 조건에 의해 설정한 노선, 운전 곡선 및 지상국 위치 설정에 관련된 사항과 지상국을 포함하여, 실제 위상차를 이용하여 열차의 위치를 추적 결정하는 디스플레이는 그림 15와 같으며, 여기에는 시간, 속도, 거리, 곡률 반경 및 열차 위치 등을 나타낼 수 있도록 작성하였다.

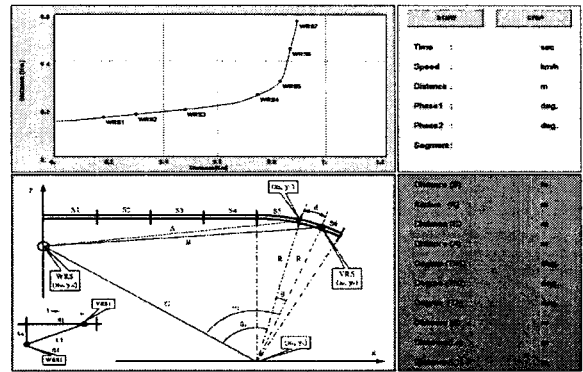


그림 15 위치추적 디스플레이
Fig. 15 Location tracking display

5. 결 론

본 논문에서는 위치추적시스템을 열차에 적용하기 위한 방안으로 위상차(PDOA)를 이용하여 열차의 위치와 속도를 검지하기 위한 새로운 방법을 제안하였으며, 이 방법을 검증하기 위하여 프로그램을 작성하였다.

향후 무선장치의 H/W를 제작하여 실험을 통한 PDOA기법의 검증을 수행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. J. Caffery, G. L. Ster, "Overview of radiolocation in CDMA systems," IEEE Communications Magazine, Vol. 36, No. 4, pp. 38-45, April 1998.
- [2] 정락교, 김영석 "경량전철차량시스템 신뢰도 배분" 대한전기학회논문지, 제50B권 7호, pp357-363, 2002. 7.
- [3] 정락교 외 "신호제어시스템기술개발", 경량전철시스템 기술개발사업보고서 pp.129-186, 2002. 2

- [4] 이상헌, 정우곤, 최병진 “셀룰라 이동통신시스템에서 경로손실데이터베이스를 이용한 이동국의 위치와 속도추정방식” 전자공학회논문지, 제35S권 제11호, pp19-29, 1998. 11.
- [5] W. Figel, N. Shepherd, Trammel W., “Vehicle location by a signal attenuation method,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 18, No. 3, pp. 105-109, Nov. 1969.
- [6] M. Hellebrandt, R. Mathar, “Location tracking of mobiles in cellular radio networks,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 5, pp. 1558-1562, Sep. 1999.
- [7] S. Mangold, S. Kyriazakos, “Applying pattern recognition techniques based on Hidden Markov Models for vehicular position location in cellular networks,” Proceedings of the IEEE VTC conference 1999 fall, Amsterdam, pp. 780-784. September 1999.
- [8] C. Drane, “Positioning GSM telephones, ” IEEE Communications Magazine, Vol. 36, No. 4, pp. 46-59, April 1998.
- [9] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TSGRAN WG2; Stage 2 Functional Specification of Location Services in UTRAN, 3GPP TS 25.305, V5.4.0 (Release 5).
- [10] M Cederwall, I. Modonesi, “Mobile station positioning methods in WCDMA,” 4th ACTS Mobile Communications Summit, Sorrento. June 1999.
- [11] ETSI/3GPP, Location Services (LCS) ; Functional description - Stage; 2 GSM 03.71 version 8.7.0. Release 1999.

저 자 소 개



정 락 교 (鄭 樂 教)

1964년 1월 25일생. 1991년 인하대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사) 1990~1994년 (주) 한진중공업철차사업부. 2002년 현재 한국철도기술연구원 시스템기술개발팀 선임연구원
 Tel : 031-460-5725, Fax: 031-460-5749
 E-mail : rgjeong@krii.re.kr



김 영 석 (金 榮 石)

1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987년~1989년 전기연구원 전력전자연구실장. 현재 인하대 전자전기공학부 교수.
 Tel : 032-860-7397, Fax : 032-863-5822
 E-mail : youngsk@inha.ac.kr