

휴대용 열차접근경보장치에 적용되는 GPS모드와 RF모드의
거리 및 속도 분석
Analysis to distance and train speed of portable alarm system
using GPS and RF mode.

권기진* 온정근** 심재복* 최영하*
Ki Jin Kwon Jung-Ghun Ohn Jae-bock Shim Choi, Yung ha

ABSTRACT

A portable train approaching warning device can be used in order to reduce accidents of the workers on the rail, who are working without recognizing the approaching train, and to secure the safety of the workers. It can be installed in the train so that workers can recognize the approaching train. However, it is not easy to identify the location of the train precisely. In this study GPS and RF devices, which are used to calculate the location of the train were reviewed, to see how much error tolerance they have in the field, to analyze the distance for normal transmission between the receiver and transmitter, to verify the conformity of the portable train approaching warning device developed as a prototype model to the current rail system, and to provide the related fields with the analysis results to improve the existing or application technology. Additionally, test methods to locate the train were introduced and each test result was compared and analyzed.

1. 서론

열차의 선로에서 작업하는 작업원이 운행열차를 인지하지 못하여 발생하는 사고를 줄이고 작업원의 안전을 확보하기 위해 운행열차에 식별장치를 설치한 후 작업원이 열차의 접근을 인식할 수 있도록 휴대용 열차접근경보장치를 사용할 수 있다. 그러나 열차의 위치를 정확하게 파악하기란 쉬운 일이 아니다. 본 연구에서는 열차의 위치를 계산하기 위해 사용되는 GPS장치와 RF장치의 위치계산이 실제 현장에서 어느 정도의 오차가 발생되고 또한 작업자가 휴대하는 수신기가 송신기로부터 정상수신이 가능한 거리를 분석하여, 현재 프로토타입모델로 개발한 휴대용 열차접근경보장치가 현 철도시스템에 부합하는가를 검증하고, 그 분석결과를 관련분야에 적용기술 또는 기존기술의 향상에 이용할 수 있도록 하였다. 또한 열차위치를 확인하기 위한 시험방법들을 소개하였

* 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

으며, 각각의 시험결과에 대하여 서로비교 분석하였다.

2. 휴대용 열차접근경보장치 시스템 구조 및 구성

열차접근경보장치의 송신기 및 수신기는 위성으로부터 자신의 위치를 계산하고 이 정보를 무선 전파를 이용하여 근접해 있는 송/수신기 상호간 위치를 검지하는 기능을 가지고 있다. 열차가 약 2km지점으로 진입하면 작업원이 휴대한 수신기는 진동과 동시에 경보음을 울려 열차의 접근을 알리고, 열차의 거리가 근접해 질수록 경보음의 주기를 빠르게 하여 작업원과 열차의 충돌사고를 미연에 방지하는 시스템이다. 만약 열차나 작업원이 위성으로부터 자신의 위치정보를 받지 못하는 상황이 발생되면 자동으로 RF모드로 변환되어 수신기 전파레벨(RSSI)의 정보를 이용하여 열차의 위치를 파악할 수 있다. 그림 1은 열차에 장착되는 송신기이며 GPS안테나와 RF안테나 그리고 송신기 본체로 구성되어 있다. 그림2는 작업자가 휴대하는 수신기이다.



그림 1. 송신기세트



그림 2. 수신기

3. GPS를 이용한 자신의 위치 계산

GPS 위성을 이용해서 자신의 위치 계산을 위해 사용되는 계산값으로는 의사거리와 반송파에 의한 반송파 위상이다. 의사거리는 위성으로부터 전송된 정보가 GPS 수신기에 도달하는데 걸린 시간을 측정하여 계산되며 반송파 위상은 위성으로부터 전송된 반송파와 수신기에서 생성된 반송파 사이의 맥놀이 신호로부터 계산된다.

3.1 의사거리 계산

GPS 위성으로부터 전송된 정보에 의한 단위 벡터는 식(3.1)으로 의사거리 계산은 식(3.2)으로 다음과 같이 된다.

$$e = \frac{R - R_u}{|R - R_u|} \quad (3.1)$$

$$\rho = (R - R_u) \cdot e + i + t - B_s + B + \delta R + \mu_p + \delta + \epsilon_p \quad (3.2)$$

3.2 반송파 위상 계산

GPS 위성으로부터 전송된 반송파에 의한 반송파 위상의 계산은 식(3.3)으로 다음과 같이 된다.

$$\Phi = (R - R_u) \cdot e^{-i + t - B_s + B + \delta R + \mu_\phi + \epsilon_\phi + \lambda \cdot N} \quad (3.3)$$

일반적인 반송파 위상 정보의 잡음 수준은 약 3mm 이므로 나머지 오차 항을 제거하면 cm 수준의 위치 정확도를 얻을 수 있다. 그러나 높은 위치 정확도를 얻기 위해 미지 정수를 정확히 계산해야 하며 일반적으로 하나의 GPS 수신기의 측정치만으로는 미지정수를 구하는 것이 불가능하므로 적절한 차분기법을 적용하여 차분된 미지 정수를 계산하여야 한다.

4. GPS 및 RF에 의한 위치 검지

수신기를 착용한 작업원 자신이나 송신기를 장착한 열차의 위치검지는 절대위치를 검출해야 하기 때문에 GPS 위성을 이용한다. 또한 터널안과 같은 비정상적인 GPS 수신으로 인한 위치 검출이 실패하였을 때는 즉시 RF모드로 전환되어 무선신호강도를 이용한 위치를 검출한다.

4.1 GPS모드에서의 정지위치 변화 조사

고정지점에서 GPS 위성정보를 수신하여 그 분산정도를 이용하여 정지위치에서의 위치 변화를 조사할 수 있다. 그림 3은 65536초 동안 1회/초로 측정한 결과를 도식화한 결과이다. 측정결과 직경 약 10m 안에서 위치가 변화함을 알 수 있다. 도표 1은 평균값을 기준으로 한 표준오차와 표준편차, 분산 등의 결과이다.

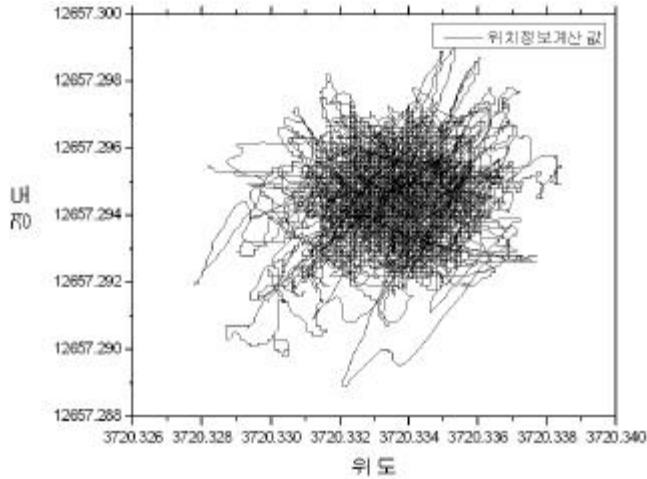


그림 3. GPS모드의 정지위치 변화

도표 1. GPS모드의 정지위치 변화 분산도

항 목 \ 경위도	위도	경도
평 균	3720.333397	12657.29437
표준오차	4.42761E-06	3.95195E-06
중 앙 값	3720.3334	12657.2944
표준편차	0.001133468	0.00101117
분 산	1.28475E-06	1.02354E-06
첨 도	0.968348481	1.036921085
왜 도	-0.243589643	-0.104774125
범 위	0.0099	0.0101
최 소 값	3720.3278	12657.2889
최 대 값	3720.3377	12657.299
관 측 수	65536	65536
Max 값	3720.3377	12657.299
Min 값	3720.3278	12657.2889
신뢰수준 (95.0%)	8.67812E-06	7.74583E-06

4.2 적외선 센서를 이용한 GPS 이동 속도 비교측정

GPS모드에서 사용하고 있는 속도의 정확도를 측정하기 위하여 미리 측정해둔 지점에 적외선 센서를 설치한 후 측정하고자 하는 속도로 차량을 이동하여 그 차량의 실제 속도를 알 수 있다. 그림 4와 그림 5는 각 속도별로 센서의 시점을 측정된 결과이며, 이를 이용하여 도표 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

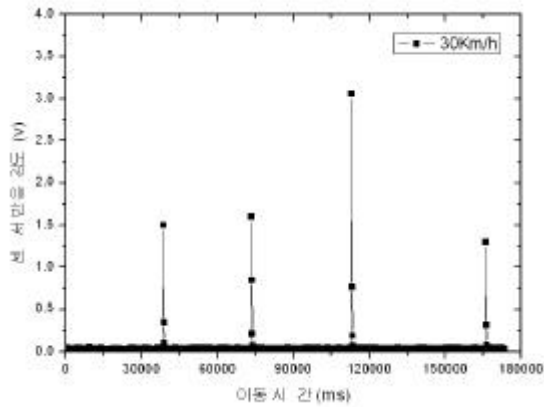


그림 4. 차량 속도 30Km/h의 센서반응

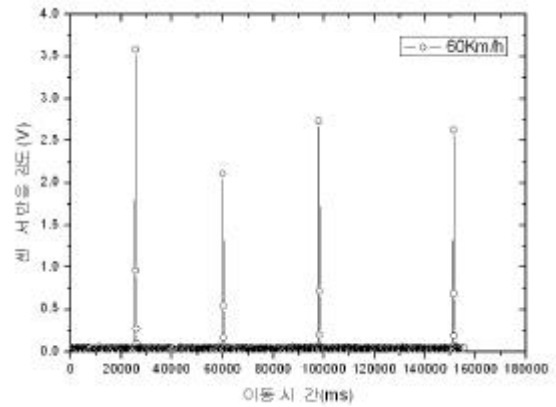


그림 5. 차량 속도 60Km/h의 센서반응

도표 2. 적외선 센서를 이용한 GPS모드 속도측정 비교

센서위치(m)	GPS속도 항 목	30Km/h		60Km/h	
		이동시간 (ms)	계산속도 (Km/h)	이동시간 (ms)	계산속도 (Km/h)
301		35713	30.34	17925	60.45
637		39483	30.64	19927	60.70
1087		52547	30.83	26563	60.99

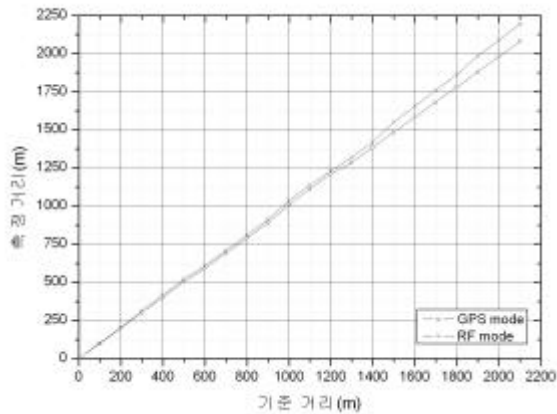
4.3 GPS와 RF모드에서의 거리측정

열차접근경보기가 GPS모드로 동작하기가 곤란해지면 그 즉시 RF모드로 동작을 시작한다. 하지만 GPS 위성정보와 같이 명확한 거리 정보가 있는 것이 아니므로 일정한 기준을 가지고 거리를 측정하여야 한다. 현재 프로토타입으로 개발된 시료는 도표 3과 같은 수신기에서 수신하는 전파의 강도를 기준으로 거리를 측정하고 있다.

도표 3. RF모드에서 거리에 따른 수신강도 측정

Distance(m)	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000
Radio Wave Value (RSSI)	850	525	350	237	168	112	75	47	25	12	7	3	1

여기서, RSSI는 수신기 전파레벨을 말하며 RF모드 상태뿐만 아니라 GPS모드 상태에서도 항상 기록된다. 하지만 전파레벨은 지형적 특성이나 장애물에 의해서 그 변화량이 심하여 GPS모드의 보조수단으로 이용하는 것이 적당하다. 그림 6은 GPS모드와 RF모드에서 각각 거리를 측정된 값을 비교한 결과이다.



6. GPS모드와 RF모드에서의 측정거리 값 비교

GPS모드에서는 거의 기준거리와 일치한 값이 계산되었지만 RF모드에서 측정한 값은 거리가 멀수록 오차가 커짐을 알 수 있다.

5. GPS와 RF를 이용한 열차위치 확인위한 시험방법

휴대용 열차접근 경보장치의 성능을 시험하기 위해서 다양한 시험방법이 활용된다. 본 논문을 쓰면서 시행한 시험방법 중 몇 가지를 소개하겠다.

5.1 진행방향인식 확인시험

수신기를 기준으로 접근하고 있는 열차가 상행선인지 하행선인지를 판단하기 위한 시험으로 수신기를 기준으로 열차를 접근시켜 수신기의 위치와 비교하여 상하행선을 판단한다. 도표 4는 열차를 상행에서 하행으로 이동시켰다가 다시 상행으로 이동시켰을 때의 수신기 로그를 보여준다.

도표 4. 수신기 로그정보

```

: -1, : -1, : GPS ( )
: 35km
: 53km 0km 33km
: (1) (29) (91)
1 : 2004/04/13 14:25:08
Train No:-1 Transmit No:-1 Hour :5 Min :24 Sec :30 Date :13 Mon :4 Year :4 GPS state:44
Lat deg :37 Lat min :30 Lat dec :8668 Lat loc :78 Grad deg :126 Grad min :36 Grad dec :9113 Grad loc :69 Speed :0
RSSI :140 MSN :83 Operation :2 Alarm :0 Distance :53 Batt :66 DubNo :175 DubVal :0
29 : 2004/04/13 14:26:11
Train No:-1 Transmit No:-1 Hour :5 Min :25 Sec :48 Date :13 Mon :4 Year :4 GPS state:86
Lat deg :37 Lat min :30 Lat dec :8477 Lat loc :78 Grad deg :126 Grad min :36 Grad dec :9075 Grad loc :69 Speed :35
RSSI :164 MSN :111 Operation :0 Alarm :4 Distance :0 Batt :66 DubNo :177 DubVal :0
91 : 2004/04/13 14:28:30
Train No:-1 Transmit No:-1 Hour :5 Min :28 Sec :7 Date :13 Mon :4 Year :4 GPS state:65
Lat deg :37 Lat min :30 Lat dec :8662 Lat loc :78 Grad deg :126 Grad min :36 Grad dec :9069 Grad loc :69 Speed :46
RSSI :155 MSN :47 Operation :2 Alarm :0 Distance :33 Batt :66 DubNo :181 DubVal :0

```

5.2 단 방향 다수 열차통과 확인시험

송/수신기간 거리가 2Km 이상의 지점에서 열차 2대를 동시에 접근, 각각의 열차 통과 전/후 경보 동작 확인.(두 열차가 2Km이내에서 겹치는 구간 필요)

5.3 양방향 다수 열차 통과 확인시험

송/수신기간 거리가 각각 1Km 지점에서 시작하여 양방향의 열차가 동시에 통과 전/후 경보동작 확인.

5.4 열차 운행/정지인식 확인시험

열차를 접근시켰다가 일시정지 다시 접근을 반복하여 시행하면서 정지 후 수신기 인식시간, 운행 후 수신기 인식시간을 확인.

5.5 열차 통과 후, 경보동작 정지 확인

열차가 지나간 후 경보동작이 정지 여부를 확인하고 정지 할 때까지의 시간 측정.

6. 결론

휴대형 열차접근경보기에서 사용하는 GPS모드와 RF모드 성능을 시험하기 위하여 GPS모드의 정지위치 변화를 조사하고 이를 바탕으로 하여 GPS모드와 RF모드의 기준 거리에 대한 측정 거리 및 기준 속도에 대한 측정 속도를 현장시험을 실시하여 검증, 확인함으로써 실제 현장에서 어느 정도의 오차가 발생하는가를 조사하였고 이 자료를 이용하여 열차 간 위치정보 교환 및 중앙 제어시스템에 응용될 수 있도록 하였다. 또한 휴대용 열차접근 경보장치의 성능을 시험하기위해서 다양한 시험방법을 제시하였고 이를 응용하여 보다 명확한 성능시험에 활용할 수 있도록 하였다.

작업원의 안전과 관련한 연구는 아직까지 미약한 단계로써, 앞서 살펴본 GPS모드와 RF모드를 이용한 위치정보를 바탕으로 한 중앙집중식 열차제어에 대한 연구가 절실히 필요하다.

기호 및 약어

GPS : Global Positioning System	δR : 위성 궤도 오차 (ephemeris error)
RF : Radio Frequency	μ_p : 코드의 다중 경로 오차 (multi-path error)
ρ : 수신기로부터 GPS 위성까지의 의사 거리	δ : 고의 잡음에 의한 오차 (selective availability)
R : 지구 중심에 대한 GPS 위성의 위치 벡터	ϵ_p : 코드 잡음
R_0 : 지구 중심에 대한 수신기 위치 벡터	ϕ : 반송파 위상 측정치
e : 수신기로부터 위성까지의 단위 벡터(unit vector)	μ_ϕ : 반송파 위상의 다중 경로 오차
i : 수신기로부터 위성까지의 전리층 지연(ionospheric delay)	ϵ_ϕ : 반송파 잡음
t : 수신기로부터 위성까지의 대류층 지연(tropospheric delay)	λ : 반송파 파장
B_s : 위성 시계 오차	N : 미지 정수
B : 수신기 시계 오차	

참고문헌

1. Cohen C.E. (1992), "Attitude determination using GPS", Standford University
2. Kaplan E. D (1996), "Understanding GPS principles and applications," Artech House
3. 일본철도전기기술협회 (1996), "무선에 의한 열차제어시스템의 동향조사 보고서"
4. 일본신호기보 (2001), "Deolpment of the CBTC system using AATC Technology"
5. 목재균(2003), "열차의 위치 추적을 위한 적용기술 소개", 한국철도기술연구원
6. 조봉관(2003), "무선에 의한 열차위치점지 기술개발 동향", 한국철도기술연구원