

# 다채널을 가진 기지국에서 코사인 제2법칙을 사용한 위치 추정 방법

정회원 이현성\*, 복영수\*\*, 신혜정\*, 박병우\*

## In Base-station with Multi-channels Using the Second Law of Cosines the Position Estimation Method

Hyun-sung Lee\*, Young-su Bok\*\*, Hye-jung Shin\*, Byung-woo Park\* *Regular Members*

### 요 약

최근에 이동국(MS)위치에 대한 정확한 위치 추정이 많이 요구되고 있다. 하지만, 기존 방법을 사용한 위치 추정 방법에는 많은 문제를 가지고 있다. 기지국(BS)은 이동국(MS)에서 전파한 전파를 수신하여 시간 지연에 따른 거리를 측정하고, 이동국(MS)에 근접한 기지국(BS)들을 선택하여 기존의 삼각측정법을 사용하여 위치를 추정한다. 이 방법은 참 위치와 추정된 위치가 많은 오차를 보이고 있다. 본 논문은 이동국(MS)의 위치를 추정하기 위해서 주변 기지국(BS)들을 선택하는 방법과 코사인 제 2법칙을 사용하여 각도를 추정하여 이동국(MS)의 위치를 추정하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서 기존 방법과 제안한 방법의 비교 검토하여 제안한 방법의 우수성을 증명한다.

**Key Words** : Mobile-station, Base-station, Estimation, Propagate, Cosine

### ABSTRACT

In the latest we will make a demand for the precision position estimation for the Mobile-station(MS)'s position. But, we have a lot of problems the position estimation method using the existing method. The Base-station(BS) measure a distance according to time delay waves to receive propagate from the MS and estimate the position using the existing circle equation with method to be selected BSs in close proximity the MS. It knows that happens a lot of error the estimated position and the true position. This paper propose that the method is selected round BSs to estimate for MS's position and estimated the angle using the second law of cosine. This paper demonstrate that using simulation the proposal method is a predominant method to compare with the existing method.

### I 서 론

최근에 위치 탐색에 대한 요구가 많아지고 있다. GPS를 이용한 위치 추정 방법과 이동국(MS)또는 휴대폰의 기지국(BS)를 이용한 위치 추정 방법이 있다.

GPS를 이용할 경우 항상 실외에 위치하여야 하는 문제점이 발생하지만, 기지국(BS)를 이용할 경우 실내-외 상관없이 위치 서비스를 이용할 수 있다. 이런 장점을 이용하여 병원내에서 환자의 위치 추정이나 실내에서 위급사항에 처해있는 사람들의 위치 추정, 영아 납치에 대비한 영아의 위치 추정 시

\* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 초고주파연구실(lhs30\_99@hanmail.net)

\*\* 한국폴리텍IV대학 대전캠퍼스 로봇자동학과(bok\_ys@yahoo.co.kr)

논문번호:#KICS2009-08-336, 접수일자: 2009년 8월5일, 최종논문접수일자: 2009년 12월 2일

스텝등 다양한 분야에 응용되어 사용 될 수 있다.

본 논문에서는 이동국(MS)과 기지국(BS)을 이용한 위치 추정 방법에 대해서 논의한다. 먼저 이동국(MS)또는 휴대폰로부터 위치 서비스를 이용하기 위해서는 가입된 휴대폰 서비스사에 위치 서비스를 신청하면 된다. 하지만, 실제 위치 측정이 GPS를 이용한 위치 추정에 비해서 정확도가 많은 차이를 보이고 있다. 이것은 여러 가지 이유가 있으며, 거리 측정을 시간 도착시간차(Time of Arrival: TOA) 방법을 이용한 경우에는 이동국(MS)로부터 기지국(BS)이 수신한 전파가 다중경로나 장애물, 기타 등등 원인들에 의해서 수신 전파시간의 오차가 발생하여 위치 추정에 문제를 발생한다<sup>[1]</sup>.

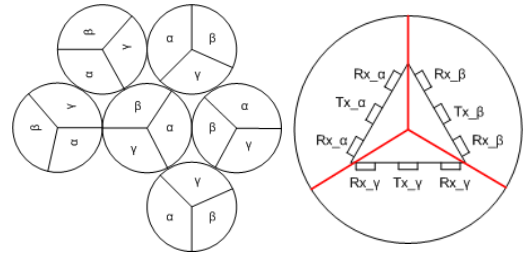
본 논문은 수신 전파시간의 오차에 장애가 되는 원인을 줄이기 위해서 기지국(BS)를 선택하는 방법과 수신된 전파시간의 오차를 가지고서 정확한 위치를 추정하는 방법을 제안한다.

본 논문은 그림 1(a)에서와 같이 3개의 채널( $\alpha, \beta, \gamma$ )을 가진 무선기지국(BS)셀은 3섹터로 나누어 각 섹터( $120^\circ$ )당 다른 주파수(채널)을 사용하는 시스템이라고 가정한다. 이 셀들은 각각 이웃시켜 셀들을 배치하여 주파수를 재활용하는 시스템이다.

또한 본 논문에서 각 셀들은 그림 1(b)에서처럼 공간 다이버시티를 이용하는 방식을 사용하여 2개의 수신 안테나와 1개의 송신 안테나를 기지국(BS)에 설치하고 있다고 가정한다. 여기서 수신안테나와 송신 안테나는 앞면으로만 방사하는 방사 패턴을 가지고 있다<sup>[2]</sup>.

그림 2(a)에서처럼 휴대폰 가입자(MS)가 위치 서비스를 이용할 경우 해당 기지국(BS1)의 수신 거리는 바로 알 수 있으나, 나머지 기지국(BS)들에서 거리를 측정하는 것이 상당히 어려워진다. 왜냐하면 위에서 언급한 것처럼 수신안테나의 방사패턴이 전면 방사 패턴을 가지고 있어 후 방향에서 오는 전파를 수신하는 경우에 전파 시간오차가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서 먼저 기지국의 수신 안테나의 구조를  $360^\circ$ 수신 구조로 바꾸어야만 하고 두 번째 본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 주변 기지국(BS)을 선택하고, 선택된 기지국(BS)들을 기준으로 수신된 전파를 통해서 거리를 측정하고 측정된 거리를 통해서 각도를 추정하고 이것을 실제 좌표값으로 변환하여 위치 추정을 할 수 있다.

시뮬레이션을 통해서 기존의 위치 추정방법인 삼각 측정방법과 본 논문이 제안한 코사인 제2법칙을 이용한 위치 추정 방법을 비교하였다. 이때, 거리



a) 3채널을 가진 무선기지국 (b) 무선기지국(BS) 안테나 배치도

그림 1. 무선 기지국(BS) 주파수 재활용에 따른 셀 배치도와 안테나 배치도(수신안테나(Rx)2개와 송신안테나(Tx)1개)  
Fig. 1. Using wireless BS's frequency reuse cell's block plan and antenna's block plan.

측정에 대한 오차는 최소 오차범위와 최대 오차범위로 나누어 나타내고 직접 좌표점들을 표시하여 비교하였다.

본 논문이 제안한 기지국 선택 방법과 코사인 제2법칙을 사용한 위치 추정방법이 기존 삼각 측정방법보다 우수함을 보인다.

## II. 본 론

그림 2 (a)에서처럼 이동국(MS)의 위치가 기지국(BS1)의  $\alpha$ 섹터에 위치하고 다른 두 개의 기지국에서 BS3는  $\beta$ , BS2는  $\gamma$ 에서 최단 거리가 된다. 향후 이동국은 MS로 기지국은 BS로 표기한다. 그림2(b)와 같이 놓을 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = (ct_{r_i})^2, \quad (1)$$

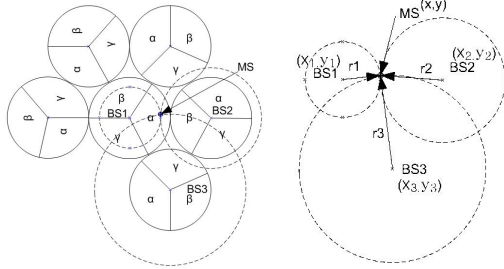
$$i = 1, 2, \dots, N$$

여기서,  $(x, y)$ 는 MS 위치,  $(x_i, y_i)$ 는 해당 BS 위치이고  $r_i$ 는 해당 BS와 MS간의 거리,  $c$ 는 빛의 속도,  $t_{r_i}$ 는 해당 BS와 MS간의 지연 시간을 나타낸다<sup>[3]</sup>.

$$t_{r_i} = t_{r_i}^0 + n_i \quad (2)$$

여기서,  $t_{r_i}^0$ 은 해당 BS와 MS간의 실제 지연시간,  $n_i$ 는 다중경로에 의한 노이즈 지연 시간이다.

그림2(a)를 그림3과 같이 조금 변경하였다. 그러



(a) 기존 3채널기지국(BS)들과 (b) 기존 TOA 위치 모델<sup>[3]</sup> 이동국(MS) 간의 위치<sup>[3]</sup>

그림 2. 기존 3채널 기지국(BS)들과 이동국(MS)간의 위치 추정 모델  
Fig. 2 The model of position estimation between existing BSs with 3-channels and MS

나 거의 유사하다고 볼 수 있다. 셀 내부의  $\alpha, \beta, \gamma$ 의 섹터 배치는 반시계방향으로 하였고, 셀(BS1)을 중심으로 아래부분 셀(BS2)부터 배치하여 반시계방향으로 주변 셀들(BS3, BS4, ... BS7) 5개를 배치하였다. 각 셀의 중심부에는 그림1(b)에서처럼 3개의 안테나(Tx, Rx)가 배열이 되어 있다. 이때 수신안테나 사이의 간격은 MS와 BS와 거리에 비해서 훨씬 작으므로 향후에는 수신 안테나 사이의 거리는 무시한다.

그림4 (a)에서처럼 굵은 선은 BS간의 최대 수신 거리가 된다. 이것의 거리는 일정하게 정해져 있

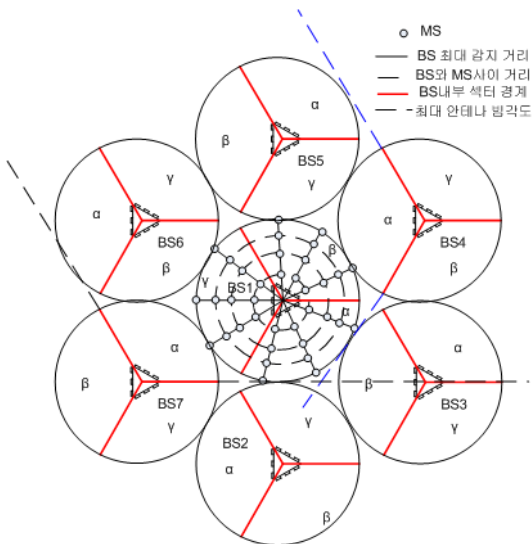
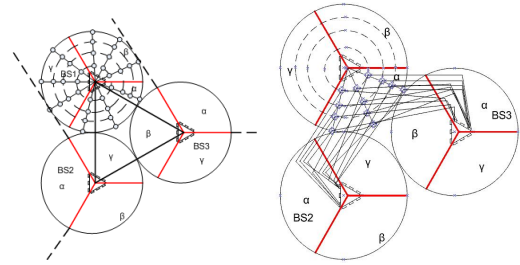


그림 3. 변경된 3채널( $\alpha, \beta, \gamma$ ) 셀의 주파수 재사용을 위한 셀 배치도  
Fig. 3. The cell's block plan for cell's frequency reuse what modified 3-channels( $\alpha, \beta, \gamma$ )



(a) MS위치 추정 대한 기존 BS 선택방법 (b) BS1의 MS일 때 선택된 BS2, BS3에 수신되는 전파 경로

그림 4. 기존 거리 추정방법을 사용하여 MS의 위치 추정하기 위한 BS선택과 선택된 BS와 MS사이 전파 경로  
Fig. 4 The BS's choice method for position estimation method and the propagation path between selected BS and MS

고, 만일 BS의 수신거리가  $r_d$ 라고 하면  $2r_d$ 가된다. 선택된 BS2, BS3의  $\alpha$  섹터 안테나의 최대 수신 각도는 점선과 같이 주어진다. 위에서 언급한 것처럼 BS의 안테나들은 전방향성을 가지고 있는 배열 배치 안테나이다. 즉 이 안테나의 특성은 전방향으로  $180^\circ$ 의 빔각도를 가지고 수신하고 백로브(Back lobe)는 거의 존재하지 않는다. 그래서 BS2, BS3의  $\alpha$  섹터 수신 각도를 보면 BS1의  $\alpha$  섹터에서 MS전파를 직접적으로 수신하는 것은 거의 불가능하다. 그래서, 그림4(b)와 같이 MS로부터 방사된 전파는 BS2의  $\alpha$  섹터의 임의의 반사체에 의해서 반사되어 BS2의 수신 안테나에 입사된다. 마찬가지로 BS3에서 전파 수신도 BS2에서 수신과 거의 비슷한 방법으로 수신된다. 따라서, 그림2에서  $r_2, r_3$ 의 거리는 실제 거리와 많은 차이를 나타낸다.

BS1의  $\alpha$  섹터의 MS위치를 알기 위해서 인접한 BS를 선택하기 위해서는 그림3과 같이 안테나의 수신 각도(점선부분)를 참고로 해서 BS4의  $\alpha$ 를 선택하고, BS7의  $\alpha$ 를 선택해야만 한다. BS1의  $\beta$  섹터의 MS위치는 BS3과 BS6의  $\beta$ 를 선택하여야하고, BS1의  $\gamma$  섹터의 MS위치는 BS2와 BS5의  $\gamma$ 를 선택한다.

$$\begin{aligned} BS1(\alpha) &= (BS4, BS7), \\ BS1(\beta) &= (BS3, BS6), \\ BS1(\gamma) &= (BS2, BS5) \end{aligned} \quad (3)$$

그림5(a)는 MS의 위치를 추정하기 위해서 식(3)을 적용하여 다시 그린 것이다. 그림 5(b)에서처럼

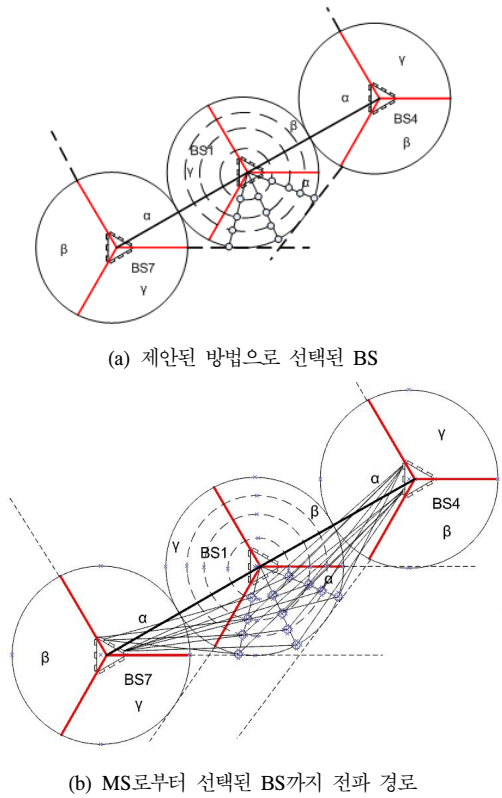


그림 5. 위치 추정하기 위해서 제안된 BS 선택 방법과 MS로부터 전파 경로  
 Fig. 5 The proposal BS's choice method for position estimation and the propagation path from MS

BS4, BS7의  $\alpha$  섹터의 최대 안테나 빔 각도는 BS1의  $\alpha$  섹터의 모든 MS를 직접 수신 할 수 있다. 이때 BS1의  $\alpha$  섹터의 MS의 위치는 12개의 위치로 표본화 시켰다.

그림 6에서처럼 표본 MS1의 참위치를  $B_{\alpha 1}(r_1, \theta_{\alpha 1})$ 를 표시한다. 여기서  $B_{\alpha 1}$ 는 BS1의  $\alpha$ 를 의미하고,  $r_1$ 는 해당 BS을 중심으로 한 반지름을 뜻하고,  $\theta_{\alpha 1}$ 는 BS7과 BS1의 중심 간의 연결한 선을 중심으로 해당되는 표본 MS 위치까지 참 각도를 의미한다. 그래서 다음과 같이 참 위치를 다시 쓴다.

$$B_{\alpha 1}(r_1, \theta_{\alpha 1}), B_{\alpha 2}(r_2, \theta_{\alpha 1}), B_{\alpha 3}(r_3, \theta_{\alpha 1}), \dots, B_{\alpha 16}(r_d, \theta_{\alpha 3}) \quad (4)$$

식 (4)는 본 논문에서 구하고자하는 이동국의 참 거리와 참 각도이다. 여기서,  $r_1$ 는 쉽게 우리가 측정할 수 있다. 식 (2)에서

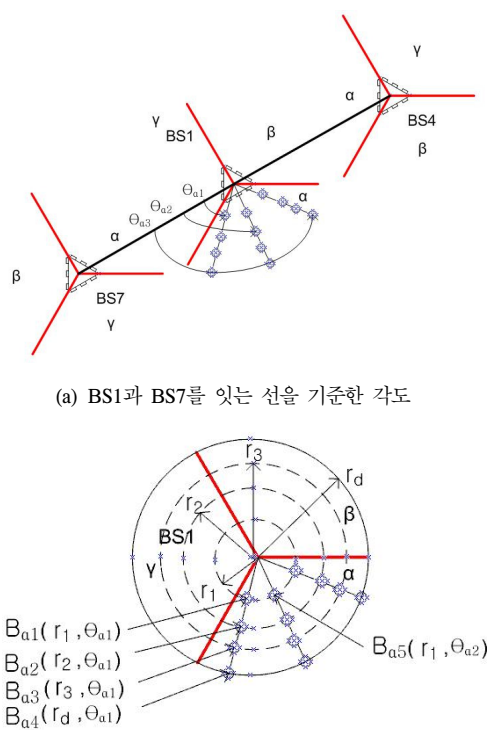


그림 6. BS1의  $\alpha$  섹터에 위치하고 있는 실제 MS의 위치 표시.  
 Fig. 6. The real MS's position plot that placed in  $\alpha$ -sector of BS1

$$r_1^2 = (ct_{r_1})^2 \quad r_1 = ct_{r_1} \quad t_{r_1} = t_{r_1}^0, n_1 = 0 \quad (5)$$

즉 해당 BS에 직접적으로 전파된 신호는 노이즈나 다중 경로 왜곡이 없다고 가정한다. 실제  $t_{r_1}^0$  지연시간만 구하면 된다.

그림 6(b)에서 식 (4)사용해서 BS1의 내부 수신 거리( $r_1, r_2, r_3, r_d$ )는 식 (5)로 쉽게 구할 수 있으나, 그림2에서 수신 거리( $r_2, r_3$ )은 식 (2)에 의해서  $n_2, n_3$ 에 대해서 생각을 해야만 한다. 이 이유 때문에 측정 거리는 참 거리보다 길어진다. 또한,  $\theta_{\alpha 1}$ 을 어떻게 구할 것인가를 논의한다. 여기서  $r_d$ 는 BS의 최대 수신 거리이다.

그림7은 그림6을 위치를 단순 모델화시킨 것이다.  $B'_{\alpha 1}(r_{1-7}, \theta_{1-4})$ 는 선택된 BS들과 표본 MS1의 거리만을 나타낸다. 여기서  $r_{1-7}$ 는 BS1의  $\alpha$  섹터

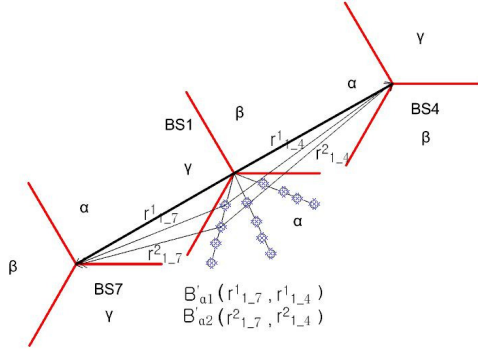


그림 7. BS1의  $\alpha$  섹터에 위치한 MS의 각도를 추정위하여 BS7,BS4에서 거리 측정  
 Fig. 7. The measure of distance in BS7, BS4 for MS's angle estimation that placed BS1's  $\alpha$ -sector

표본 MS1에서 전파가 BS7까지 도달한 거리이고,  $r_{1-4}^1$ 는 전파가 BS4까지 도달한 거리이다.

$$r_{1-7}^1 = r_2, r_{1-4}^1 = r_3, \theta_{\alpha 1} = \theta_1, \theta_{\alpha 2} = \theta_2, \theta_{\alpha 3} = \theta_3 \quad (6)$$

식 (6)을 이용하여 그림7을 그림8과 같이 모델화 하여 다시 그릴 수 있다.

기존 삼각 측정 방법을 사용하면 식(1)을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

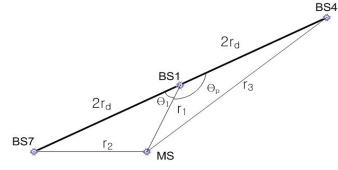
$$r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = (ct_{r_1})^2 \quad (7)$$

$$r_2^2 = (x - x_7)^2 + (y - y_7)^2 = (ct_{r_2})^2 \quad (8)$$

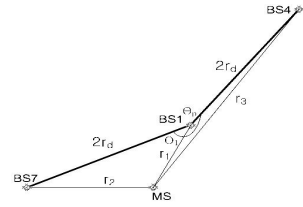
$$r_3^2 = (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 = (ct_{r_3})^2 \quad (9)$$

$$t_{ri} = t_{ri}^0 + n_i \quad (2)$$

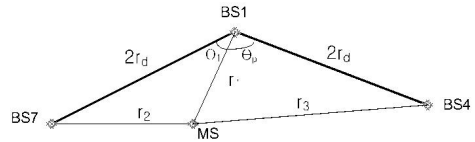
식 (7), 식 (8), 식 (9)는 기존 방법으로 구한 것이다. 하지만 그림8에서처럼  $\theta_T$ 의 조건에 따라 이등변 삼각형을 그리고 있음을 알 수가 있다. 이것을 이용하여 코사인 제2법칙을 이용하면 다음과 같이 쉽게 사이각  $\theta_1, \theta_p$ 을 구할 수 있다. 각 사이각에 대해서 이등변 삼각형을 둘로 나누어진다. 좌측편 삼각형에 대해서 코사인 제2법칙을 적용하면, 아래와 같다.



(a)  $\theta_T = \theta_1 + \theta_p = \pi$



(b)  $\theta_T = \theta_1 + \theta_p > \pi$



(c)  $\theta_T = \theta_1 + \theta_p < \pi$

그림 8. 선택된 두 개의 BS의 위치에 따라서 최대 각도( $\theta_T$ ). (단, 선택된 두 개의 BS의 수신 안테나의 최대 빔각이 BS1의  $\alpha$  모든 MS를 수용한다.)  
 Fig. 8. The maximum angle( $\theta_T$ ) according to selected two-BS's position.

$$\cos \theta_1 = \frac{r_1^2 + (2r_d)^2 - r_2^2}{2r_1(2r_d)},$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left( \frac{r_1^2 + (2r_d)^2 - r_2^2}{2r_1(2r_d)} \right) \quad (10)$$

우측편 삼각형에 대해서 코사인 제2법칙을 적용하면, 아래와 같다.

$$\cos \theta_p = \frac{r_1^2 + (2r_d)^2 - r_3^2}{2r_1(2r_d)},$$

$$\theta_p = \cos^{-1} \left( \frac{r_1^2 + (2r_d)^2 - r_3^2}{2r_1(2r_d)} \right) \quad (11)$$

$$0^\circ \leq (\theta_1, \theta_p) \leq 180^\circ \text{ 일때,}$$

$$\theta_T = \theta_1 + \theta_p \quad (12)$$

여기서, 각각  $\theta_1, \theta_p$ 는 코사인으로 표시되므로 식 (12)와 같이 각도의 제한을 갖는다.  $\theta_T$ 는 선택된 BS7의 중심부에서 시작한 선을 MS가 위치하고 있

는 BS1 중심부와 있고 선택된 BS4의 중심부와 최종이었을 때 BS7을 기준으로 한 BS4까지의 최대 각도가 된다.

식 (10), (11)에서  $r_2, r_3$  중 하나를 알면 실제적으로  $\theta_1$ 을 구할 수 있다. 그러면, 식 (7),(8),(9)에서와 같이 3가지 수식이 필요한 것에 반해 간단히 식 (10), (11)으로 구할 수 있다.

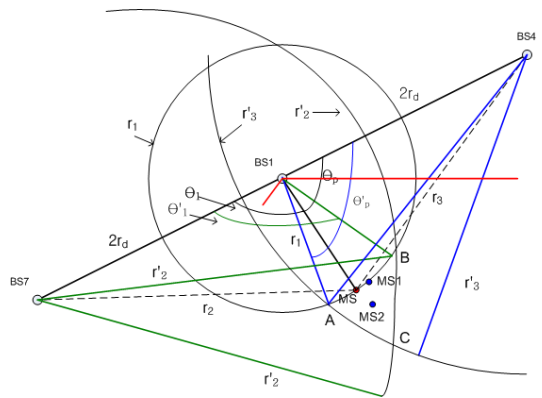
지금까지 본 논문은 기존의 셀 배치 방법을 약간 변경하여 셀 배치를 하였고, 위치를 알고자하는 MS가 속해 있는 해당 BS를 중심으로, MS전파를 직접 수신 가능한 BS의 수신 안테나의 최대 빔 각도를 참고로 선택된 BS들(BS7,BS4)의 중심선을 서로 이었다. 그때, MS로부터 직접 수신되는 전파는 최단거리( $r_1$ )를 구하기 위해서 해당 MS에서 수신된 전파에서 다중 경로와 같은 노이즈에 대한 시간 에러가 없다고 가정하였고, 그때 최단거리( $r_1$ )은 참거리이면서 측정 거리가 되고, 선택된 BS중 하나를 기준(BS7)으로 하여 MS까지의 참 각도( $\theta_{\alpha 1}$ )을 구하기 위해서 본 논문에 제시한 코사인 제2법칙을 사용하여(식(10),(11))  $\theta_{\alpha 1}$ 를 구할 수 있었다. 향후 측정 거리를 기초로 하여 측정 각도를 구하고 좌표 변환법을 이용하여 좌표값을 구한다. 예로서  $\theta_T = \pi$  일때를 가정하여 시뮬레이션을 하였다.

식 (10)의 결과가 맞는지 여부는 식(11),(12)을 사용하여 보완 할 수 가 있다.

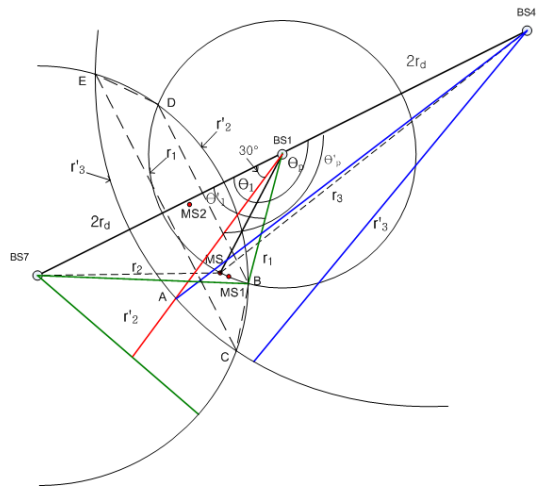
그림 9 (a),(b)는 MS로부터 전파가 선택된 BS들까지 도달할 때 실제 전파의 도달거리가 길어진다. 이것은 식 (2)에서 언급한 것처럼, 노이즈와 다중 경로 손실들의 원인에 의해서 실제 BS에 측정되는 도착 시간의 지연이 더 길어지기 때문이다. 그림 9(a)는 참 위치 좌표값을 가진 MS( $r_1, \theta_1$ )이 있을 때, 선택된 BS7에서는 참거리( $r_2$ )보다 실제 측정된 시간에 따른 실제거리( $r'_2$ )로 측정된다. 그래서  $r'_2$ 을 반지름(녹색선)으로 하여 원을 그릴 수 있다. 그래서,  $r_1$ 을 반지름으로한 원과 만나는 지점 B점으로 하였을때, BS7과 B점, BS1을 잇는 삼각형(녹색)을 얻을 수 있다. 여기서 BS7과 BS1을 잇는 선을 기준(BS7-BS1)으로 사이각 $\theta'_1$ 으로 놓고, 이것은 식(10)에 의해서 구할 수 있다. 또한 선택된 BS4에서는 참거리( $r_3$ )보다 실제 측정된 시간에 따른 실제 거리( $r'_3$ )로 측정된다. 그래서  $r'_3$ 을 반지름(파란선)으로 하여 원을 그릴 수 있다. 그래서,  $r_1$ 을 반지름으로

한 원과 만나는 지점 A점으로 하였을때, BS4과 A 점, BS1을 잇는 삼각형(파란)을 얻을 수 있다. 여기서 BS4과 BS1을 잇는 선을 기준(BS4-BS1)으로 사이각 $\theta'_p$ 으로 놓고, 이것은 식(11)에 의해서 구할 수 있다.

그림 9(a)에서처럼 측정 각도( $\theta'_1, \theta'_p$ )는 겹치게 된다. 참 각도( $\theta_1, \theta_p$ )들은 겹치지 않아야만 한다. 그림 8에서처럼  $\theta_T = \theta_1 + \theta_p$ 이다. 측정 각도들은 다음과 같이 쓸 수 있다.



(a)  $r'_2 > r'_3$  일때



(b)  $r'_2 < r'_3$  일때

그림 9. 실제 이동국(MS) 위치 추정을 위해서 제시된 방법과 기존 위치 추정 방법 비교(참 거리( $r_2, r_3$ )보다 측정거리( $r'_2, r'_3$ )가 길었을 때)

Fig. 9. It is compared the proposal method for real MS's position estimation with the existing position estimation method

$$\theta'_T = \theta'_1 + \theta'_p,$$

$$\theta''_T = \theta_T + \text{접촉된 사이각} = \theta_T + \theta_{1p} \quad (13)$$

여기서,  $30^\circ \leq (\theta'_1, \theta'_p) \leq 150^\circ$ , 3섹터의 BS이므로 각각  $120^\circ$ 을 가지기 때문이다. 만일  $(\theta'_1, \theta'_p) > 150^\circ$  면, 무조건  $(\theta'_1, \theta'_p) = 150^\circ$ 로 놓는다. 이 조건은 매우 중요하다.

제안된 코사인 제2법칙 방법을 이용한 MS의 위치 추정하기 위해서 참 거리( $r_1$ )은 그대로 두고, 추정 각도( $\theta''_1$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

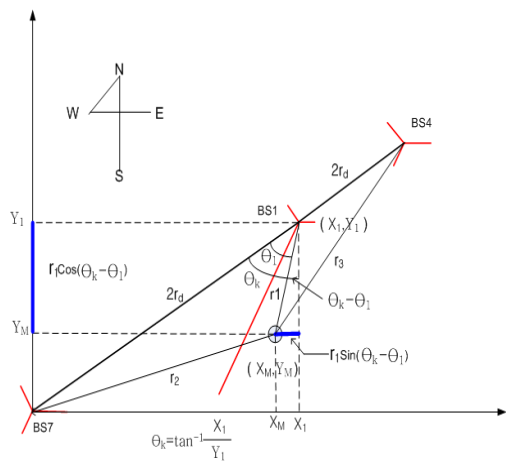
$$\theta''_1 = \theta'_1 - \left(\frac{\theta_{1p}}{2}\right), \theta''_p = \theta'_p - \left(\frac{\theta_{1p}}{2}\right) \quad (14)$$

그림 9(a)에서 MS( $r_1, \theta_1$ )의 참 위치는 본 논문이 제안한 방법에 의해서 구한 위치 추정값을 쓰면, MS1( $r_1, \theta''_1$ )으로 다시 쓸 수 있다. 또한 그림9(a)에서 기존의 삼각측정법을 이용하여 위치 추정을 하면, 반지름으로 하여 만나는 지점 A, B, C지점을 정점으로한 삼각형을 그리고 각 정점에서 수선을 내려 변을 이등변 하였을 때 내부에서 3개의 수선이 만나는 지점을 MS2로 잡는다. 그림에서 표시된 것처럼 MS1과 MS2의 지점을 비교하면, 참위치 MS지점에 매우 가까이 표시되는 지점이 MS1인것을 알 수가 있다. 그래서 본 논문이 제안한 방법이 기존의 방법 보다 상당히 우수함을 알 수 있다.

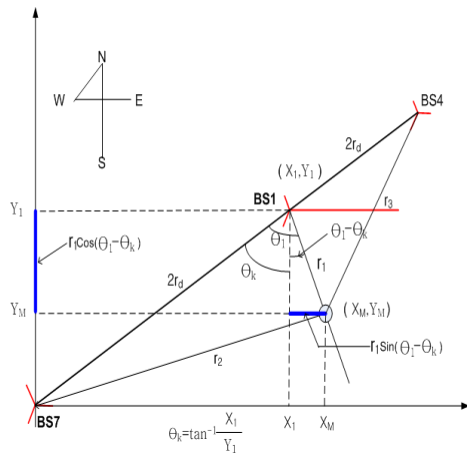
그림 9(b)에서처럼, MS( $r_1, \theta_1$ )의 참 위치에서 방사된 전파는 선택된 BS7과 BS4로 전파된다. 위에서 언급한처럼, 측정 거리( $r'_2$ )를 반지름으로 한 원과  $r_1$ 을 반지름으로 한 원이 만나는 지점 B를 가지며 이것은 BS7과 B지점, BS1을 잇는 삼각형(녹색)이 만들어진다. 여기서 사이각( $\theta'_1$ )는 식(10)으로 구할 수 있다. 하지만, BS4에 도달하는 측정 거리( $r'_3$ )를 반지름으로 한 원과  $r_1$ 을 반지름으로 한 원이 만나지 않는다. 그래서, BS1의  $\alpha$ 섹터(붉은색) 최대 빔각의 경계선과  $r'_3$ 의 원이 만나는 지점 A를 가지도록 이동시킨다. 그래서, BS4와 A지점, BS1을 잇는(파란색) 삼각형을 그린다. 여기서, 사이각( $\theta'_p$ )는 BS1의  $\alpha$ 섹터(붉은색) 최대 빔각( $150^\circ$ )가 된다. 단,  $\theta_T = \theta_1 + \theta_p = \pi$ 이고, 대칭 구조이다. 그래서 식(14)에 의해서, 추정 각도( $\theta''_1$ )을 구할 수 있

다. 그림 9(b)에서 표시된 MS의 참 위치와 제시된 방법에 의해서 표시된 MS1위치, 기존의 삼각 측정법을 이용한 위치 추정 방법에 의해 표시된 MS2의 위치를 비교 할 수 있다. 표시된 위치를 비교해 보면, 기존 방법에 의한 위치 추정은 커다란 오차를 내고 있음을 알 수 있고, 본 논문이 제시한 방법이 상당히 근사한 위치 추정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

그림 10에서처럼 BS 각도( $\theta_k$ )에 따라 다음과 같이 식(4)를 직각좌표계로 변환하여 위치를 측정한다.



(a)  $\theta_k > \theta_1$  일때,



(b)  $\theta_k < \theta_1$  일때,

그림 10.  $\theta_k > \theta_1$ 일때와  $\theta_k < \theta_1$ 일때,  $(X_M, Y_M)$ 의 참 좌표를 구하는 그림  
Fig. 10. For  $\theta_k > \theta_1$  or  $\theta_k < \theta_1$ , to estimate the true coordinates of  $(X_M, Y_M)$

$\theta_k > \theta_1$ , 일 때,

$$\begin{aligned} X_M &= X_1 - (r_1 \sin(\theta_k - \theta_1)), \\ Y_M &= Y_1 - (r_1 \cos(\theta_k - \theta_1)) \end{aligned} \quad (15)$$

$\theta_k = \theta_1$ , 일 때,

$$X_M = X_1, \quad Y_M = Y_1 - r_1 \quad (16)$$

$\theta_k < \theta_1$  일 때

$$\begin{aligned} X_M &= X_1 + (r_1 \sin(\theta_1 - \theta_k)), \\ Y_M &= Y_1 - (r_1 \cos(\theta_1 - \theta_k)) \end{aligned} \quad (17)$$

여기서,  $\theta_k = \tan^{-1}(\frac{X_1}{Y_1})$ , MS가 위치한 해당 BS의 각도이고, 참 각도( $\theta_1$ )은 식 (10)으로 구한다. 식 (4)를 식 (15),(16),(17)식으로 전환하면 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} B_{\alpha 1}(r_1, \theta_{\alpha 1}) &= B_{\alpha 1}(X_{M\alpha 1}, Y_{M\alpha 1}), \\ B_{\alpha 2}(r_2, \theta_{\alpha 1}) &= B_{\alpha 2}(X_{M\alpha 2}, Y_{M\alpha 2}), \\ B_{\alpha 3}(r_3, \theta_{\alpha 1}) &= B_{\alpha 3}(X_{M\alpha 3}, Y_{M\alpha 3}), \dots, \\ B_{\alpha 12}(r_d, \theta_{\alpha 12}) &= B_{\alpha 12}(X_{M\alpha 12}, Y_{M\alpha 12}) \end{aligned} \quad (18)$$

그림 10에서 BS7의 실제 좌표값( $X_7, Y_7$ )일 때, 이것을 그림10과 같이 적용하기 위해서 좌표계 변환법을 이용하여 BS7의 좌표값을(0,0)원점으로 변경한다. 그래서 식 (15),(16),(17)에의해서 식 (18)의 ( $X_M, Y_M$ )의 참좌표값을 구하고, 아래와 같이 실제 참좌표값 $B'_\alpha(X'_M, Y'_M)$ 으로 전환한다.

$$\begin{aligned} B'_{\alpha 1}(X'_{M\alpha 1}, Y'_{M\alpha 1}) &= B_{\alpha 1} + BS_7 = (X_{M\alpha 1} + X_7, Y_{M\alpha 1} + Y_7) \\ B'_{\alpha 2}(X'_{M\alpha 2}, Y'_{M\alpha 2}) &= B_{\alpha 2} + BS_7 = (X_{M\alpha 2} + X_7, Y_{M\alpha 2} + Y_7) \\ B'_{\alpha 3}(X'_{M\alpha 3}, Y'_{M\alpha 3}) &= B_{\alpha 3} + BS_7 = (X_{M\alpha 3} + X_7, Y_{M\alpha 3} + Y_7) \\ B'_{\alpha 12}(X'_{M\alpha 12}, Y'_{M\alpha 12}) &= B_{\alpha 12} + BS_7 \\ &= (X_{M\alpha 12} + X_7, Y_{M\alpha 12} + Y_7) \end{aligned} \quad (19)$$

식 (14)에 의해서 구해진 추정 각도( $\theta''_1$ )로 식 (15),(16),(17)을 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

$\theta_k > \theta''_1$ , 일 때,

$$\begin{aligned} X''_M &= X_1 - (r_1 \sin(\theta_k - \theta''_1)), \\ Y''_M &= Y_1 - (r_1 \cos(\theta_k - \theta''_1)) \end{aligned} \quad (20)$$

$\theta_k = \theta''_1$ , 일 때,

$$X''_M = X_1, \quad Y''_M = Y_1 - r_1 \quad (21)$$

$\theta_k < \theta''_1$  일 때,

$$\begin{aligned} X''_M &= X_1 + (r_1 \sin(\theta''_1 - \theta_k)), \\ Y''_M &= Y_1 - (r_1 \cos(\theta''_1 - \theta_k)) \end{aligned} \quad (22)$$

식 (20),(21),(22)으로 구한 ( $X'_{M\alpha 1}, Y'_{M\alpha 1}$ )을 실제 좌표값으로 변환 하기위해서 식(19)을 사용하여 다음과 같이 다시 쓴다.

$$\begin{aligned} B''_{\alpha 1}(X'''_{M\alpha 1}, Y'''_{M\alpha 1}) &= B_{\alpha 1} + BS_7 = (X'_{M\alpha 1} + X_7, Y'_{M\alpha 1} + Y_7) \\ B''_{\alpha 2}(X'''_{M\alpha 2}, Y'''_{M\alpha 2}) &= B_{\alpha 2} + BS_7 = (X'_{M\alpha 2} + X_7, Y'_{M\alpha 2} + Y_7) \\ B''_{\alpha 3}(X'''_{M\alpha 3}, Y'''_{M\alpha 3}) &= B_{\alpha 3} + BS_7 = (X'_{M\alpha 3} + X_7, Y'_{M\alpha 3} + Y_7) \\ \dots, \quad B''_{\alpha 12}(X'''_{M\alpha 12}, Y'''_{M\alpha 12}) &= B_{\alpha 12} + BS_7 \\ &= (X'_{M\alpha 12} + X_7, Y'_{M\alpha 12} + Y_7) \end{aligned} \quad (23)$$

식 (23)은 실제 측정된 데이터값에 따른 추정 좌표값이다. 즉 본 논문에서 제안한 방법에 의해서 구해진 좌표값을 의미한다.

### III. 시뮬레이션

표1은 BS1의  $\alpha$ 섹터에 있는 샘플들의 참위치를 표시하였다. 여기서, 거리를 각도로 다시 표시 하였다.

시뮬레이션을 하기위해서 거리의 오차를 두 개로 나누어 최소의 오차와 최대의 오차로 가정한다. 이때 단순히 최소의 오차는 셀 반경에 비례해서 정한다.  $r_d = 3\text{km}$ 이므로 최소 오차를 0.01%를 가진다고 가정하면  $0.05 \leq \Delta r_2 + \Delta r_3 \leq 0.06$  오차 범위가 된다. 이것은 50-60m의 거리 오차를 포함한다. 이때의 위치 추정을 표2에 나타내었다. (FCC에서 오차 범위 100m로 제한하고 있다<sup>45)</sup>.

최대 오차는  $\theta'_1$ 의 각도가  $\leq 180^\circ$  되도록 가정 하였습니다. 표3에서 네 번째 그룹의 각도( $\theta'_1$ )가



표 1. 샘플된 MS의 참위치를 표시  
Table 1. Display sampled MS's true position

MS NO.	rd= 3.0[Km]			참 각도 식(10),(11),(12)		
	$r_1$ [Km]	$r_2$ [Km]	$r_3$ [Km]	$\theta_1$ [°]	$\theta_p$ [°]	$\theta_T$ [°]
$B_{\alpha_1}$	0.75	5.66	6.41	60.00	120.00	180.00
$B_{\alpha_2}$	1.5	5.41	6.87	60.00	120.00	180.00
$B_{\alpha_3}$	2.25	5.25	7.39	60.00	120.00	180.00
$B_{\alpha_4}$	3	5.20	7.94	60.00	120.00	180.00
$B_{\alpha_5}$	0.75	6.05	6.05	90.00	90.00	180.00
$B_{\alpha_6}$	1.5	6.18	6.18	90.00	90.00	180.00
$B_{\alpha_7}$	2.25	6.41	6.41	90.00	90.00	180.00
$B_{\alpha_8}$	3	6.71	6.71	90.00	90.00	180.00
$B_{\alpha_9}$	0.75	6.41	5.66	120.00	60.00	180.00
$B_{\alpha_{10}}$	1.5	6.87	5.41	120.00	60.00	180.00
$B_{\alpha_{11}}$	2.25	7.39	5.25	120.00	60.00	180.00
$B_{\alpha_{12}}$	3	7.94	5.20	120.00	60.00	180.00
$B_{\alpha_{13}}$	0.75	6.66	5.36	150.00	30.00	180.00
$B_{\alpha_{14}}$	1.5	7.34	4.76	150.00	30.00	180.00
$B_{\alpha_{15}}$	2.25	8.03	4.20	150.00	30.00	180.00
$B_{\alpha_{16}}$	3	8.73	3.72	150.00	30.00	180.00

170~177도로 나타내고 있습니다. 만일  $> 180^\circ$  이면 MS가 BS1의  $\alpha$  섹터에 위치하지 않게 됩니다.

표 2에서  $\rightleftharpoons$ 는 왼쪽값과 동일하다는 의미이다.  $B_{\alpha_5} \sim B_{\alpha_8}$ 는 거리의 차가 발생하더라도 측정 각도( $\theta'_1, \theta'_p$ )가 같으면, 추정 각도( $\theta''_1, \theta''_p$ )가  $90^\circ$ 가 된다는 것을 알 수 있다.

$B_{\alpha_{13}} \sim B_{\alpha_{16}}$ 는 식 (13)에서 조건에 따라서 측정 각도( $\theta'_1 > 150^\circ$ ) 이므로, 측정 각도( $\theta'_1 = 150^\circ$ )

로 놓고서 계산한다.

표 2와 표 3에서처럼  $B_{\alpha_5} \sim B_{\alpha_8}$ 의  $\theta'_1$ 와  $\theta'_p$ 각도가 같으면  $\theta''_1$ 와  $\theta''_p$ 는  $90^\circ$ 가 된다.  $B_{\alpha_{13}} \sim B_{\alpha_{16}}$ 가  $\theta'_1 > 150^\circ$ 이면 거의  $180^\circ$ 에 근접하게 되어도 참 각도와 거의 일치함을 알 수 있다.

그림11 (a)에서처럼 측정된 거리의 차가 작을 때 참 좌표값과 본 논문이 제안한 방법으로 추정된 위치 좌표값이 거의 일치함을 알 수 있고, 기존 삼각

표 2. 제안 방법 추정한 각도(최소 오차)  $0.05 \leq \Delta r_2 + \Delta r_3 \leq 0.06$   
Table 2. The estimation angle using the proposal method (The minimum error)

rd= 3.0[Km]    단위[Km]					실제 각도 식(10),(11),(13),    단위[°]					추정각도 (14)	
$r_1$	$\Delta r_2$	$\Delta r_3$	$r'_2$	$r'_3$	$\theta'_1$	$\rightleftharpoons$	$\theta'_p$	$\theta'_T$	$\theta_{1p}$	$\theta''_1$	$\theta''_p$
0.75	0.02	0.03	5.68	6.44	61.65	$\rightleftharpoons$	122.88	184.53	4.53	59.39	120.61
1.5	0.02	0.03	5.43	6.90	60.79	$\rightleftharpoons$	121.53	182.32	2.32	59.63	120.37
2.25	0.02	0.03	5.27	7.42	60.51	$\rightleftharpoons$	121.09	181.61	1.61	59.71	120.29
3	0.02	0.03	5.22	7.97	60.38	$\rightleftharpoons$	120.88	181.26	1.26	59.75	120.25
0.75	0.03	0.03	6.08	6.08	92.32	$\rightleftharpoons$	92.32	184.63	4.63	90.00	90.00
1.5	0.03	0.03	6.21	6.21	91.18	$\rightleftharpoons$	91.18	182.37	2.37	90.00	90.00
2.25	0.03	0.03	6.44	6.44	90.82	$\rightleftharpoons$	90.82	181.64	1.64	90.00	90.00
3	0.03	0.03	6.74	6.74	90.64	$\rightleftharpoons$	90.64	181.28	1.28	90.00	90.00
0.75	0.03	0.02	6.44	5.68	122.88	$\rightleftharpoons$	61.65	184.53	4.53	120.61	59.39
1.5	0.03	0.02	6.90	5.43	121.53	$\rightleftharpoons$	60.79	182.32	2.32	120.37	59.63
2.25	0.03	0.02	7.42	5.27	121.09	$\rightleftharpoons$	60.51	181.61	1.61	120.29	59.71
3	0.03	0.02	7.97	5.22	120.88	$\rightleftharpoons$	60.38	181.26	1.26	120.25	59.75
0.75	0.03	0.02	6.69	5.38	155.58	150	32.63	182.63	2.63	148.68	31.32
1.5	0.04	0.01	7.38	4.77	153.99	150	30.60	180.60	0.6	149.7	30.3
2.25	0.05	0.01	8.08	4.21	153.62	150	30.36	180.36	0.36	149.82	30.18
3	0.05	0.01	8.78	3.73	152.92	150	30.24	180.24	0.24	149.88	30.12

표 3. 제안 방법 추정한 각도(최대 오차) ( $0.2 \leq \Delta r_2 + \Delta r_3 \leq 0.34$ )

Table 3. The estimation angle using the proposal method(The maximum error)

rd= 3.0[Km]		단위[Km]		측정 각도 식(10),(11),(13), 단위[°]			추정각도식(14)				
$r_1$	$\Delta r_2$	$\Delta r_3$	$r'_2$	$r'_3$	$\theta'_1$	$\theta'_p$	$\theta'_T$	$\theta_{1p}$	$\theta''_1$	$\theta''_p$	
0.75	0.07	0.14	5.73	6.55	65.7	↔	134.55	200.3	20.3	55.58	124.42
1.5	0.07	0.18	5.48	7.05	62.8	↔	129.74	192.5	12.5	56.51	123.49
2.25	0.07	0.2	5.32	7.59	61.8	↔	127.66	189.5	9.5	57.07	122.93
3	0.07	0.21	5.27	8.15	61.3	↔	126.43	187.8	7.8	57.45	122.55
0.75	0.1	0.1	6.15	6.15	97.8	↔	97.79	195.6	15.6	90.00	90
1.5	0.11	0.11	6.29	6.29	94.4	↔	94.37	188.8	8.8	90.00	90
2.25	0.14	0.14	6.55	6.55	93.9	↔	93.85	187.7	7.7	90.00	90
3	0.17	0.17	6.88	6.88	93.7	↔	93.68	187.4	7.4	90.00	90
0.75	0.14	0.07	6.55	5.73	134.6	↔	65.71	200.3	20.3	124.42	55.58
1.5	0.18	0.07	7.05	5.48	129.7	↔	62.76	192.5	12.5	123.49	56.51
2.25	0.2	0.07	7.59	5.32	127.7	↔	61.80	189.5	9.5	122.93	57.07
3	0.21	0.07	8.15	5.27	126.4	↔	61.34	187.8	7.8	122.55	57.45
0.75	0.08	0.06	6.74	5.42	170.1	↔	37.43	187.4	7.4	146.29	33.72
1.5	0.16	0.05	7.50	4.81	176.3	↔	32.92	183.	2.9	148.54	31.46
2.25	0.22	0.04	8.25	4.24	177.0	↔	31.40	81.4	1.4	149.3	30.7
3	0.27	0.03	9.00	3.75	177.4	↔	30.71	80.7	0.7	149.65	30.36

측정방법을 사용한 위치 추정 방식은 조금 차이가 나고 있음을 볼 수 있다.

특히 그림11 (b)에서처럼 측정된 거리의 차가 클 때 참 좌표값과 본 논문이 제안한 방법으로 추정한 위치 좌표값이 근사함을 알 수 있고, 기존 삼각측정

법을 사용하면 커다란 위치 측정의 차가 발생한다. 특히  $B_{\alpha13} \sim B_{\alpha16}$ 에서 많은 차가 발생함을 알 수가 있다.

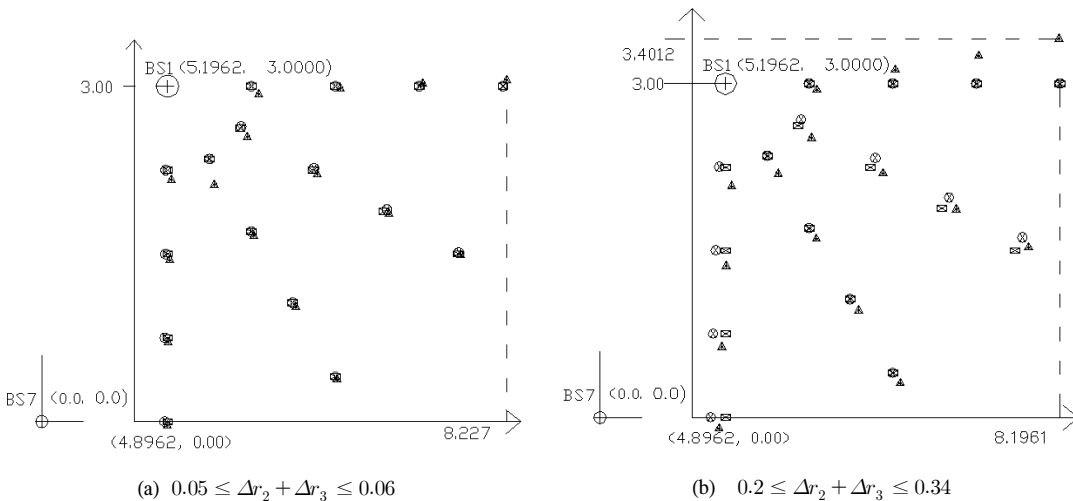


그림11. 표1,2,3을 좌표계에 적용하여 그린 그림, (15)~(22)사용(⊠ 참 위치, ⊗ 제안된 방법 추정위치, △기존 방법 추정위치)  
Fig. 11 The plot is displayed applying to coordinates for table 1,2,3.

#### IV 결 론

본 논문이 제안한 코사인 제2법칙을 이용하여 추정 각도( $\theta''_1, \theta''_p$ )를 구하고, 거리는 해당 BS에서 측정된 거리를 그대로 사용하여 위치를 추정할 경우 참 좌표값과 거의 일치함을 알 수 있다. 이 방법은 기존의 위치 추정 방법에 비해서 상당히 우수함을 알 수 가 있다. 향후 정확한 위치 추정의 서비스에 대한 요구는 계속 증가 할 것이다.

본 논문이 제안한 방법은 측정된 거리의 오차를 가지고서 참 위치를 추정하는데 근사한 위치 추정을 보이고 있다. 하지만 시뮬레이션을 통한 값이므로 실제 적용에는 많은 시행착오가 있을 것이다. 기존의 삼각측정방법에 의한 위치 추정에 비해서 상당히 빠른 알고리즘을 만들 수 있고, 또한, 두 개의 방정식으로 바로 구할 수 있고, 이것의 해가 맞는지 여부를 재검증 할 수 있어 상당히 매력적인 방법이라고 사료된다. 지진과 같은 정확한 진앙지를 추정할 때도 본 논문이 제안한 방법을 적용할 수 있다.

향후 실제 측정된 전파의 성질을 분석하여 잡음과 같은 여러 원인에 의해서 발생된 시간 지연 성분과 실제 MS로부터의 거리에 따른 지연시간에 대한 분석이 필요하다<sup>6)</sup>. 이것을 본 논문과 함께 알고리즘을 만든다면, 참 위치에 대한 거리의 차를 많이 줄일 수 있다. 또한 유비쿼터스시대에 맞게 실내에서의 위치 추정시스템에 적용할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] Joon-Yong Lee and Robert A. Scholtz, "Ranging in dense multipath environments using an UWB radio link," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.20, No.9, pp.1677-1683, Dec 2002

[2] 오경진, 김봉준, 최재훈, "셀룰러/PCS/IMT-2000 기지국용 다중대역 평판 안테나 설계 및 구현," 한국전자파학회, 한국전자파학회논문지 제15권 제8호, 2004. 8, pp.781-787 (7pages)

[3] Tianchi Yang, Liang Jin, Juan Chen, "A New Simple and Fast Algorithm for the Position Estimation Based on TOA ", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2007. WiCom 2007. International Conference on 21-25 Sept. 2007 Page(s):1278-

1282

[4] A. H. Sayed, A. Tarighat, and N. Khammoum, "Network-Based Wireless Location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.24-40, July 2005.

[5] Cavdar, I.H.; Akcay, O. "The optimization of cell sizes and base stations power level in cell planning." *Vehicular Technology Conference*, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd Volume 4, 6-9 May 2001 Page(s):2344-2348 Vol.4

[6] Janaswamy, R, "Angle and time of arrival statistics for the Gaussian scatter density model." *Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 1, Issue 3, July 2002 Page(s):488 - 497*

이 현 성 (Hyun-sung Lee)

정회원



1993년 2월 한밭대학교 전자공학  
학과  
1997년 2월 충북대학교 전자공학  
학과 석사  
2003년 2월 충북대학교 전자공학  
학과 박사수료  
2006년 3월~현재 홍익대학교  
조치원캠퍼스 전자공학과 겸임교수

<관심분야> 유비쿼터스, 안테나, 스마트그리드

복 영 수 (Young-Su Bok)

정회원



1989년 3월 한밭대학교 전자공학  
학과  
1995년 8월 한밭대학교산업대학원  
전자공학과 석사  
1996년~현재 한국폴리텍IV대학  
대전캠퍼스 로봇자동화  
과 부교수

<관심분야> 전자통신시스템, 지능형로봇, 네트워크

신 혜 정(Hye-jung Shin)

정회원



1996년 2월 충북대학교 정보통신공학과

2001년 2월 충북대학교 전자공학과 석사

2003년 2월: 충북대학교 전자공학과 박사수

2007~현재 충북대학교 전자공학과 시간강사

<관심분야> 안테나, 통신시스템.

박 병 우(Byung-woo Park)

정회원



1977년 2월: 한양대학교 전자통신공학과

1983년 8월 한양대학교 전자통신공학과 석사

1991년 8월 한양대학교 전자통신공학과 박사

1989년~현재 충북대학교 전

자공학과 교수

1995년 10월~1996년 2월 Univ. of Texas 방문교수

<관심분야> 안테나, RFID, 수치해석, 통신시스템