

## RF중계기 미세발진현상의 수치적 모델링

이학용, 송성준, 이홍배  
(주)C&S Microwave

### Numerical Modelling of Weak Oscillation Phenomena in RF Repeaters

Hak-yong Lee, Seung Joon Song, Hong Bae Lee  
C&S Microwave Co. Ltd.

**Abstract** - 이동통신 무선망 설계 시에는 전파강도가 부족하여 발생하는 부분적인 음영지역을 해결하기 위해 서 기지국 신호를 재증폭하는 중계기를 이용하게 된다. 이러한 중계기는 입출력 안테나 사이에 충분한 격리도를 확보하지 않으면 증폭된 출력신호가 입력단으로 유입되어 시스템 발진현상이 발생하게 된다. 격리도에 따라 신호의 신호대잡음비를 저하시키는 수준의 미세발진이 발생하거나 출력증폭기의 한계점에 도달시키는 완전발진이 발생된다.

기지국에 입력된 신호를 복조하여 신호의 상태에 따라 단말기 출력을 증가시키도록 제어하는 상황에서 이러한 중계기의 발진현상은 시스템 성능의 현저한 저하를 가져오게 된다.

본 논문에서는 실험적으로 발견된 중계기 발진현상을 수학적 모델링을 통하여 중계기의 특성 및 입출력 안테나 사이의 격리도와 미세발진현상과의 관계를 규명한다. 아울러 실험결과와의 비교분석을 통하여 본 논문에서 제시한 모델링의 타당성을 증명한다.

### 1. 서 론

다양한 무선통신 및 이동통신서비스의 발달은 급변하는 정보화 시대의 도래를 이끌었다. 고속정보화서비스에 부응한 새로운 가치 창출이라는 21세기의 패러다임에 대응하기 위해서 사회 구성원들, 즉 무선통신 및 이동통신서비스 소비자의 다양하고 양질의 정보 수급에 대한 욕구가 점점 증대하고 있다.

이러한 이동통신 사용자들의 요구 수준은 언제 어디서나 편리하게 서비스를 받는 것이다. 서비스 공급자는 이러한 요구를 충족하기 위해 지속적으로 서비스 영역을 넓히고자 한다.

중계기 시스템은 기지국의 영향권 내에서 자연적 혹은 인공적 장애물로 인하여 전파의 세기가 미약해져 서비스가 불가능한 지역에 양질의 서비스를 제공하는 이동통신 무선망 설계의 경제적인 한 요소이다.

중계기는 사용 주파수의 방식에 따라 마이크로웨이브 중계기, 주파수 변환중계기, 레이저 중계기, 광중계기, RF중계기 등으로 분류할 수 있으며 현재 한국의 CDMA망에 주로 사용되는 중계기는 광중계기와 RF중계기이다.

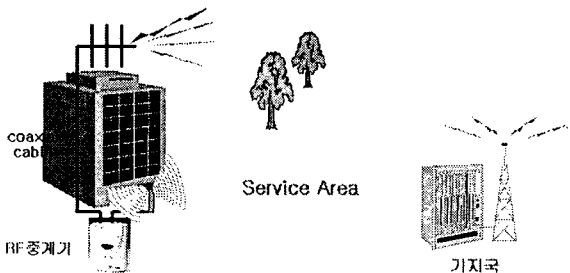


그림 1 중계기를 포함한 이동전화 시스템망 구성도

RF중계기는 광중계기에 비하여 비교적 적은 가격으로 구현할 수 있고 다양한 모델을 구현하기에 장점이 있다. 그러나 기타의 다른 중계기에 비교하여 입력 주파수 대역과 출력 주파수 대역이 같기 때문에 출력 안테나에서 발산된 신호가 입력 안테나로 궤환(feedback)되는 신호로 인해 발진 현상이 발생되는 문제점을 안고 있다.

이러한 발진현상은 궤환되는 신호가 클 때는 출력 증폭기의 포화로 인해 쉽게 발견할 수 있어 장비 설치시 설치자에게 조치를 취하도록 할 수 있다. 그러나 궤환신호가 미약할 때 발생하는 미세발진(weak oscillation)은 신호대잡음비를 떨어뜨려 신호의 복조를 저해하는 등 문제점을 일으키게 되지만 발진 진행정도가 일정수준 이상으로 커지기 전까지는 측정이 용이하지 않다.

이러한 미세발진은 중계기의 이득과 안테나 격리도의 함수이고 중계기에 따라 그 양상이 달라지는 것으로 관측되었으나 이에 대한 세심한 연구가 거의 없었다.

본 논문에서는 중계기 미세발진에 대한 수학적 모델링을 제시하여 중계기 특성과 안테나 격리도에 따른 미세발진의 관계를 분석하고 실험결과와 비교하여 타당성을 증명한다.

### 2. 발진현상의 모델링

#### 2.1 모델링

중계기를 설치한 상태를 그림 2에 나타내었다. 기지국으로부터 전송된 신호를 받는 Donor측 안테나와 전송된 신호를 증폭하여 단말기로 송신해주는 Service측 안테나가 존재 하고 이들 간의 격리도(isolation)를 표시하였다.

중계기에는 기지국으로부터 전송된 신호를 단말기 쪽으로 전송하는 순방향 채널과 단말기로부터의 신호를 기지국 쪽으로 전송하는 역방향 채널로 구성된다. 또한 time diversity구현을 위해 한 채널이 여러 개의 경로로 나뉘어 질 수도 있다.

이러한 중계기의 한 경로, 예를 들어 순방향 경로에 대해 중계기의 이득과 전파지연시간을 고려하고 안테나 간 격리도를 그림 3과 같은 블록 다이어그램으로 모델링하였다. 두개의 diversity path의 개방회로 전달함수

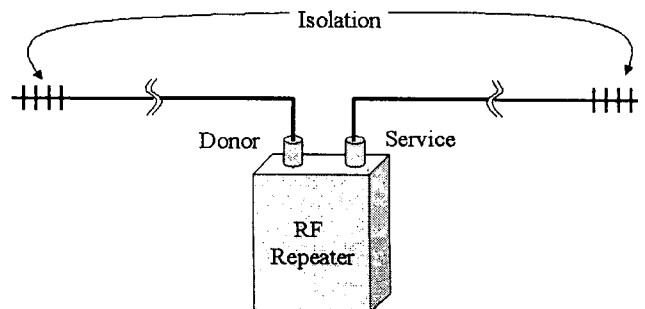


그림 2 RF 중계기 설치 개념도

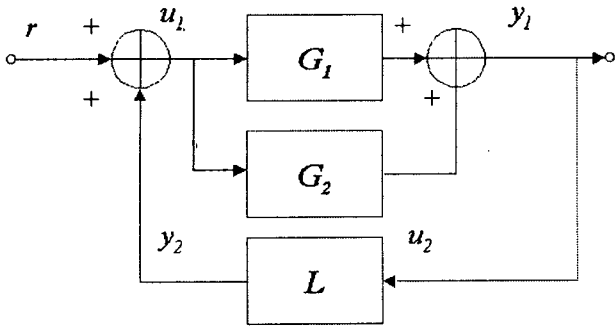


그림 3 Diversity 경로를 포함한 중계기의 발전모델링을 위한 블록도

(transfer function)를  $G_1, G_2$ 로 나타내었고,  $L$

$$U_1(s) = R(s) + Y_2(s) \quad (1)$$

$$Y_2(s) = (G_1 + G_2)L(s) + Y_1(s) \quad (2)$$

$$Y_1(s) = (G_1 + G_2)U_1(s) \quad (3)$$

의 관계로부터 정리하면 다음과 같이 시스템의 전달함수를 구할 수 있다.

$$Y(s) = \frac{G_1 + G_2}{1 - (G_1 + G_2)L}R(s) \quad (4)$$

여기에서 중계기의 두 채널의 이득과 전파지연시간을 각각  $G_1, G_2, \tau_1, \tau_2$ 라 하고, 안테나간의 폐회로 손실과 전파지연을  $L, \tau_L$ 이라 하면

$$G_1 = G_1 e^{j\omega\tau_1} \quad (5)$$

$$G_2 = G_2 e^{j\omega\tau_2} \quad (6)$$

$$L = L e^{j\omega\tau_L} \quad (7)$$

전달함수  $H(w)$ 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$H(w) = \frac{G_1 \cos w\tau_1 + G_2 \cos w\tau_2 + j(G_1 \sin w\tau_1 + G_2 \sin w\tau_2)}{1 - G_1 L \cos w(\tau_1 + \tau_L) - G_2 L \cos w(\tau_2 + \tau_L) - j(G_1 L \sin w(\tau_1 + \tau_L) + G_2 L \sin w(\tau_2 + \tau_L))} \quad (8)$$

이러한 전달함수 식으로부터 중계기 미세발진 현상을 분석할 수 있다. 물론 이 식은 중계기 이득에 비해 폐회로 손실이 클 때에만 성립하는 식이다.

### 2.2 중계기의 특성에 따른 미세발진 분석

식(8)의 전달함수의 특성을 중계기의 이득, 전파지연 및 안테나 간 격리도에 따른 변화를 분석한다.  $G_1, G_2$ 가 주파수에 의존하지 않고 일정하다고 문제를 간략화하여 분석한다.

#### 2.2.1 안테나 격리도에 따른 미세발진 특성

국내 cellular대역의 중계기를 모델링하였다. 식(8)은 time diversity를 위해 두개의 채널이 있을 때를 고려한 식이다. 여기에서 한 채널이 없이 단일 채널인 경우 중계기의 특성과 격리도에 따른 미세발진 특성을 주파수 영역에서 살펴본다. 먼저 중계기의 이득이 75[dB]이고 전파지연시간이 5[μs]일 때, 격리도를 90[dB]에서 77[dB]까지 변화시키면서 즉, 폐회로량을 -90°

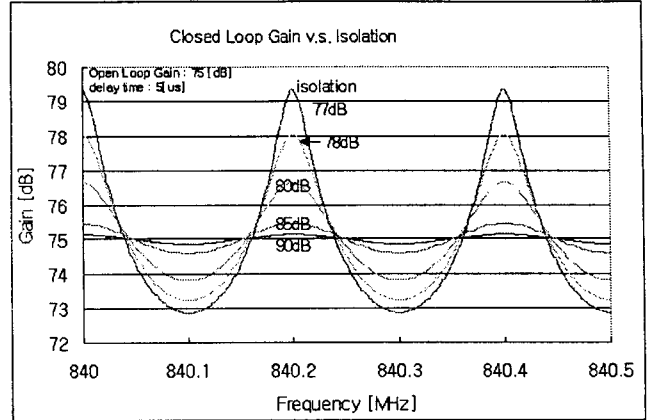


그림 4 단일채널 중계기의 격리도에 따른 미세발진 파형

-77[dB]까지 변화시키면서 전달함수의 크기를 살펴 보았다. 폐회로되는 경로의 전파지연시간  $\tau_L$ 은 공기중에서의 전파지연시간을 의미하고 설치상황에서 수십[ns] 수준이 된다. 이 전파지연 시간은 전체 특성에 큰 영향이 없다.

그림 4에서와 같이 주파수 영역에서 주기적인 양상을 띠며 격리도가 작아짐에 따라 전달함수의 크기의 변화량이 커지는 것을 알 수 있다. 중계기의 이득에 비해 격리도가 15[dB] 차이가 날 때 이득의 리플(ripple)은 약 0.5dB정도이고, 5[dB]차이가 날 때 리플은 3[dB]가량 발생한다. 이러한 해석은 잘 알려진 대로 RF중계기에서 중계기의 이득에 비해서 안테나 간 격리도를 15dB이상 확보해야 한다는 경험치와도 부합하고 격리도가 작아졌을 때 발진의 크기가 커지는 현상을 설명할 수 있다.

#### 2.2.2 중계기 전파지연시간에 따른 미세발진 분석

다음으로 단일채널 중계기의 전파지연 시간에 따른 미세발진의 변화를 살펴보았다. 중계기 이득을 75[dB]로, 격리도를 77[dB]로 고정한 상태에서 전파지연 시간을 4μs, 5μs으로 변화시켰을 때의 미세발진 파형을 그림 5에 나타내었다.

그림에 나타난 바와 같이 주파수 영역에서의 전달함수 크기 리플의 주기는 전파지연 시간에 반비례한다. 그리고 그 주기는 전파지연 시간의 역수임을 알 수 있다. 즉, 전파지연시간이 5μs인 경우 주파수영역의 리플의 주기는 0.2[MHz], 4μs인 경우 0.25[MHz]가 된다.

이상의 논의로부터 SAW필터와 같이 전파지연시간이 큰 소자를 사용한 중계기의 경우 미세발진의 주파수영역 주기가 짧아지게 된다는 것을 알 수 있다.

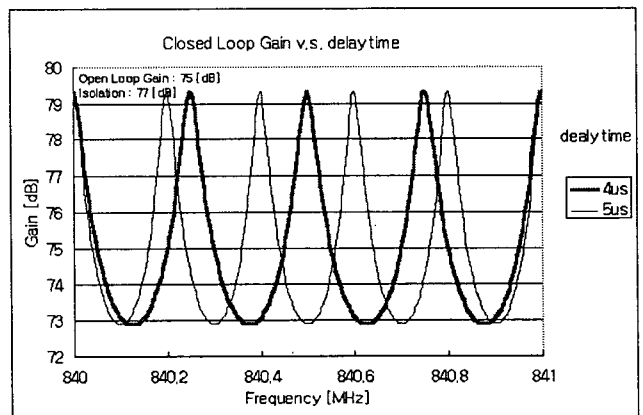


그림 5 단일채널 중계기의 전파지연 시간에 따른 미세발진 파형

**2.2.3 Time Diversity 채널이 있는 중계기의 미세발진 특성**

국내 PCS대역용 중계기를 모델링하였다. 역방향 이득이 65[dB]이고, 2 $\mu$ s 정도의 time delay를 추가한 diversity 채널을 가진 중계기의 모델을 해석하였다. 두 채널간 이득차이가 1[dB]가 있다고 가정하였다.

그림 6에 각 격리도에 따른 전달함수의 크기를 나타내었다. diversity 채널을 포함하게 되면 주파수 영역에서 주기적으로 이득이 매우 작아지는 주파수가 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 주기는 메인채널과 diversity 채널의 전파지연시간의 차이에 해당하는 주파수 주기라는 것을 알 수 있다.

이러한 이득의 주기적인 감소현상 때문에 diversity 경로가 있는 중계기의 경우 미세발진 현상은 그림 6에서 볼 수 있듯이 다소 복잡한 양상을 띠게 된다. 그러나 메인채널과 diversity 채널의 전파지연시간을 정확히 알고 있다면 그로부터 미세발진상황과 격리도가 충분히 확보되어 안정적인 상황을 판별해 내는 것이 가능하다.

**3. 실험결과**

국내 cellular 대역용 중계기를 대상으로 격리도에 따른 미세발진 파형을 측정하였다. 역방향 이득이 65[dB], 전파지연시간이 4[ $\mu$ s]인 중계기를 이용하였고 그림 7과 같이 장비를 구성하여 실험하였다. 그림에서 가변감쇄기를 조절함으로써 안테나 간 격리도를 조절하면서 그에 따른 주파수 분석기에서의 출력파형을 측정하였다.

그림 8에 그 측정된 파형을 나타내었다. 가변감쇄기를 조절하여 격리도를 88dB에서부터 68dB까지로 조절하면서 주파수 분석기의 출력파형을 span 1MHz로 하여 표시하였다.

앞서 수치적 모델에서 예측된 바와 같이 전파지연시간의 역수인 0.25[MHz]주기로 미세발진 파형이 관측되는 것을 알 수 있다. 또한 격리도가 작아질수록 발진파형의 진폭이 커지는 것을 알 수 있다. 다만 진폭은 수치적으로 계산된 량에 비해 좀더 크게 측정되었다.

**3. 결 론**

본 논문에서는 입출력 주파수대역이 같은 RF중계기에서 입출력 안테나 사이의 격리도의 미확보로 인한 미세발진현상을 수치적으로 모델링하는 방법에 대하여 기술하였다. RF중계기에서 미세발진에 따른 출력파형은 중계기의 이득 및 전파지연시간과 안테나 사이의 격리도의 함수이며 전파지연시간의 역수의 주기를 가지고 격리도

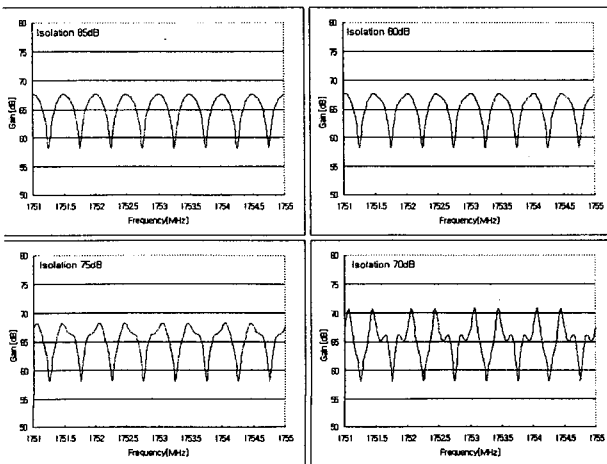


그림 6 Diversity채널을 포함하는 중계기의 미세발진 파형

에 따라 그 진폭이 변화하는 특성을 가진다.

시간 diversity채널을 포함하는 중계기의 경우 diversity 채널의 전파지연으로 인해 보다 복잡한 양상을 보이지만 전파지연과 격리도의 함수로 표현할 수 있었다.

실제 중계기를 통한 실험에서 수치적 해석의 결과와 부합하는 파형을 측정할 수 있었다. 이러한 수치적 해석 결과를 바탕으로 중계기에서 미세발진의 크기를 측정하는 시스템의 구현에 기초가 될 수 있다.[2]

**[참 고 문 헌]**

- [1] G. F. Franklin, *Feedback Control of Dynamic Systems*, Addison Wesley, 1991
- [2] 송성준, (주)씨앤에스 마이크로 웨이브, "양방향 통신 시스템에서의 발진 검출 장치 및 방법", 한국특허 10-2001-0034748, 2001년 6월

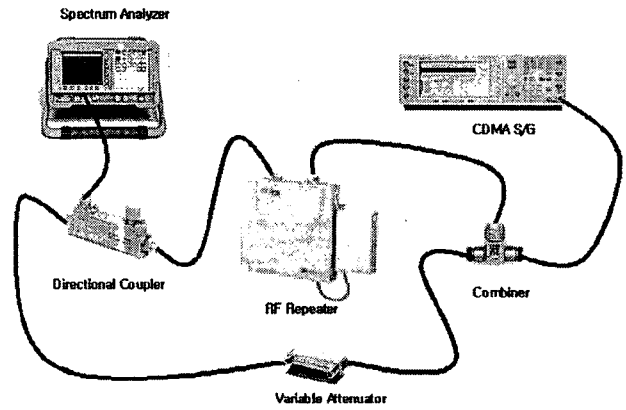


그림 7 미세발진 측정 실험 장비 구성도

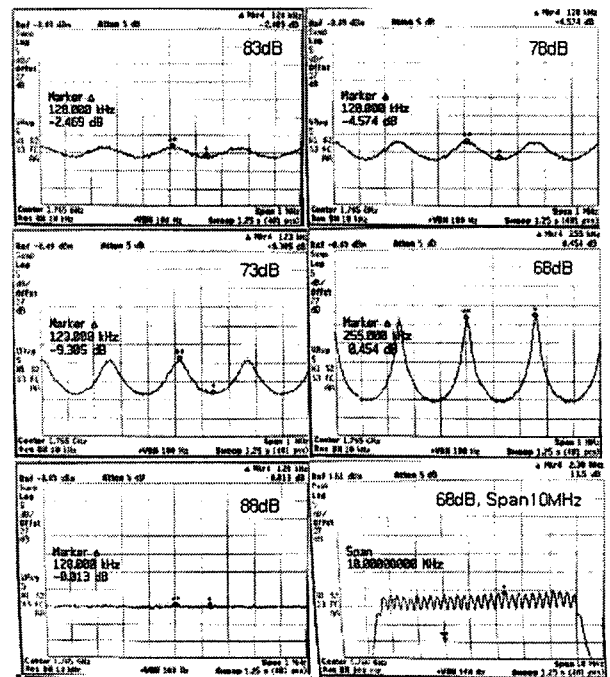


그림 8 이득 65dB, 전파지연시간 4 $\mu$ s인 중계기의 안테나 간 격리도에 따른 미세발진 파형