WiBro 시스템에서 상향링크와 하향링크 간 시간 동기 장치 구현

A Realization of the Synchronization Module between the Up-Link and the Down-Link for the WiBro System

박 형 록[1], 김 재 형[2], 홍 인 기[3]
Hyong-rock Park[1], Jae-hyung Kim[2], Een-kee Hong[3]
Dept. of Radio Engineering, Kyung Hee University[1,3]
R&D Center, SK Telesys[2]

Abstract

In this paper, we propose the time synchronization module on fiber optic repeater to use optic line delay for obtaining time synchronization between up-link and down-link, in the 2.3 GHz WiBro network using TDD/OFDM (Time Division Duplex/Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Generally, when we use fiber optic repeater to remove the shade area, it occurs transmission delay which is caused by optic transmission between RAS (Radio Access Station) and fiber optic repeater and inner delay of fiber optic repeater.

Because the WiBro system is adopting a TDD method and there exists the difference of switching time which is caused by these delay between up-link and down-link, it occurs ISI (Inter Symbol Interference), ICI (Inter Carrier Interference). These interference results in the reduction of the coverage. And the inconsistency between Up-Link and Down-Link switching time maybe gives rise to the interruption of communication.

In order to prevent these cases, we propose synchronization module using analog optic line delay as the one of synchronizing up-link and down-link. And we propose the consideration factor for the designing time synchronization module and the feature of optic line of analog method.

The measurement result of optic line time synchronization module of structure proposed is as follows, the delay error of 0.5μs and the insertion loss value below maximum 4.5dB in range of 0 ~ 40 μs. These results fully meet the specification of WiBro System.

Keywords:

WiBro, TDD, OFDM, RAS, ISI, ICI, Optic Repeater, Synchronization, Delay

I. 서 론

최근 무선 데이터의 이동성에 대한 요구가 계속되고 있으며, 유선통신에 비하여 설치의 용이성, 유지보수의 편리성 등의 측면에서 무선을 이용한 고속의 무선 데이터 전송 및 영상정보 전송기술의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한, 언제 어디서나 높은 전송속도로 인터넷에 접속하여 정보를 얻고자 하는 수요가 증가함에 따라 이동성이 보장되며 이동전화보다 저렴한 무선 인터넷 서비스 도입이 필요하게 되었다. 이러한 요구에 따라 2.3 GHz WiBro 서비스에 대한 관련 표준화 작업이 진행되고 관심이 집중되고 있으며, 최근 TTA를 통하여 Phase 1 규격이 배포됨에 따라 본격적인 사업의 진행과 기지국 시스템 및 중계기의 개발이 이루어질 수 있는 토대가 마련되었고, 각급 연구기관과 기업에서 많은 분야에서 연구와 장비의 개발이 이루어지고 있다.

WiBro 서비스는 셀룰라나 PCS와 같은 FDD/CDMA

서비스 망과는 달리 TDD/OFDM방식을 사용하여 이를 지원하는 WiBro 중계기 시스템은 하향링크와 상향링크 신호를 시간상으로 구분하기 때문에 같은 TDD 망 안에 존재하는 모든 Radio Access 장비는 정해진 시간에 송수신을 해야 한다. Radio Access 장비들의 송신 시퀀스가 Guard Time을 넘게 되면 ISI, ICI 가 발생되게 되며, 송, 수신 시퀀스가 맞지 않는다면 통신이 불능이 될 수 있다. TDD 시스템에서 장비의 오 동작은 망 전체의 성능에 큰 문제를 발생시키기 때문에 모든 장비의 동기화는 매우 중요하다. 이를 위해 WiBro 중계기 시스템 에서는 Analog 방식의 광 선로 시간 동기 장치를 이용하였으며, 이 장 치는 0~ 40 μs까지 딜레이를 조절할 수 있다. 본 논문에서는 이 광선로 시간 딜레이 장치의 구현방식과 구설방법에 대한 솔루션을 제시하였다.

II. 기지국의 딜레이

WiBro 광중계기는 TDD/OFDM 방식을 사용한다. 그런데 TDD 방식은 FDD방식과는 달리 하향링크와 상향링크를 신호 시간대에 따라 스위칭하는 방식이다. 하향링크 신호 시간대에는 하향링크의 회로가 연결되어 하향 링크 신호 처리가 이뤄지고 동시에 상향링크 회로는 신호가 인입되지 않도록 하여 하향링크 신호가 상향링크에 영향을 주지 않도록 해야 한다. 상향링크 신호 시간대에는 이와 반대의 동작을 수행한다.

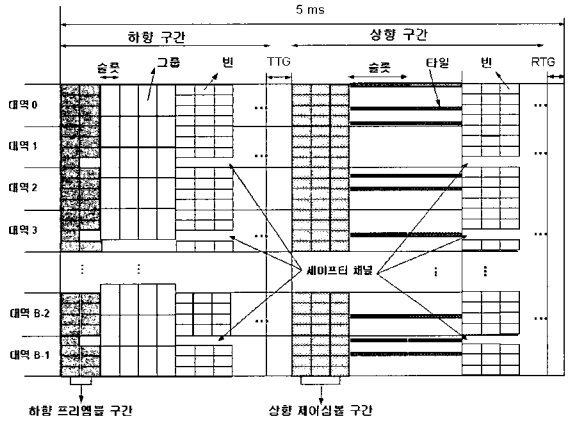


그림 1. WiBro 프레임 구조

TDD 방식은 FDD 방식과 달리 동일 주파수를 시분할하여 송수신하기 때문에 스위칭의 오동작시 시스템에 심각한 현상을 발생시킬 수 있다.

그림 1은 WiBro에서 사용되는 신호의 프레임 구조를 도식화한 것이다. 그림에 나타나듯이 한 프레임은 하향링크 구간과 상향링크 구간으로 나뉘며, 하향링크가 끝나는 시점과 상향링크가 시작되는 시점 사이에는 보호시간인 TTG(Transmit to receive Transition Gap)가 상향링크가 끝나는 시점과 하향링크가 시작되는 시점 사이에는 보호시간인 RTG(Receive to transmit Transition Gap)가 존재한다. 하향링크와 상향링크 간의 스위칭을 위한 회로 변경은 TTG와 RTG 구간 내에서 이루어져야 하며, TTG와 RTG의 길이는 각각 121.2μs 와 40.4μs로, 이 구간 동안에는 어떠한 신호도 송신 또는 수신되지 않는다 [1][2].

하향링크 전송은 그림 1에서 보듯이 두 개의 프리앰블 심볼, 다수의 데이터 심볼 순서로 시작되며, 프리앰블은 두 번째 프리앰블 심볼을 관찰함으로써 세이프티 채널의 위치를 검출할 수 있다. 상향링크는 세 개의 연속된 제어 심볼로 시작되며 세 개의 인접한 부반송파를 모아 한 개의 타일을 구성한다. 이 타일이 다이버시티 부채널을 구성하기 위한 기본 할당 단위이다.

다음으로 OFDM을 이용하는 중요한 이유 가운데 하나는 OFDM이 다중경로 확산을 효율적으로 다룰 수 있기 때문이다. OFDM의 기본원리는 고속 전송률을 갖는 데이터 열을 낮은 전송률을 가지는 다수의 데이터 열로 나누고 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다. 낮은 전송률을 갖는 부반송파의 심볼 구간은 증가하게 되므로 다중경로 지연확산에 의해 발생하는 상대적인 신호분산은 감소한다. 또한 보호구간(Guard Interval)과 CP(Cyclic Prefix)를 삽입하여 ISI와 ICI를 제거할 수 있다.

다중경로 전파상황에서 지연확산(Delay Spread)이 발생되며 지연확산이 CP보다 클 경우 ISI, ICI가 발생하게 된다. CP의 길이를 고려하면 공기 중에서 다중경로의 차이가 3Km 이상을 넘어서는 안된다. 다중경로 상에서 시간 지연의 예는 다음 그림 2와 같다.

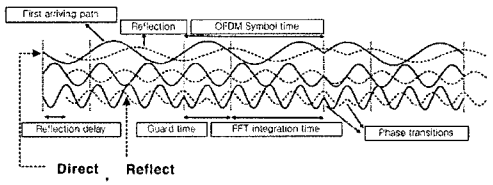


그림 2. 다중경로 채널의 OFDM 신호

OFDM 심볼은 ICI를 제거하기 위해 보호구간에서 순위적으로 연장되어야 한다. 이것은 OFDM 심볼이 지연되어 수신되었을 때에도 항상 FFT 구간 내에서는 싸이클 수가 정수가 되도록 한다. 만약 지연확산이 보호구간이 작다면 그 결과 보호 구간보다 작은 지연을 갖는 다중경로 신호는 ICI를 발생시키지 않는 다중경로가 OFDM 미치는 영향을 나타낸 것인데, 2경로 채널에 대한 수신신호를 보여주며 점선은 실선의 지연된 복사성분을 나타낸다 [3].

일반적으로 자유공간에서 전파의 지연은 3.3 ㎲/km인데 비하여 광 선로에서 전파의 지연은 5 ㎲/km이다. WiBro 망에서 광중계기를 이용하게 될 경우 PSS가 기지국과 WiBro 광중계기로부터 동시에 신호를 수신할 경우 기지국으로부터 수신된 신호와 WiBro 광중계기에서 수신된 신호는 광 선로의 딜레이 차이에 의해 지연확산된 신호처럼 보이게 된다. 때문에 광중계기에 적용할 때 광중계기는 Donor부와 Remote부로 구성되는데 광선로 구간을 거쳐 Donor부에서 Remote부로 전달되는 과정에서 필연적으로 신호의 지연이 발생된다. 그렇기 때문에 기지국에는 디지털부에 지연을 고려한 설계가 필요하다. 또한, WiBro 광중계기를 위한 별도의 RF Path가 필요하다. WiBro 기지국 시스템은 효율적인 망 운용을 위해 지연시간을 가변 할 수 있는 기능을 가져야 한다.

그림 3은 광중계기 지연 문제를 해결하기 위한 기지국의 설계 예를 보여준다.

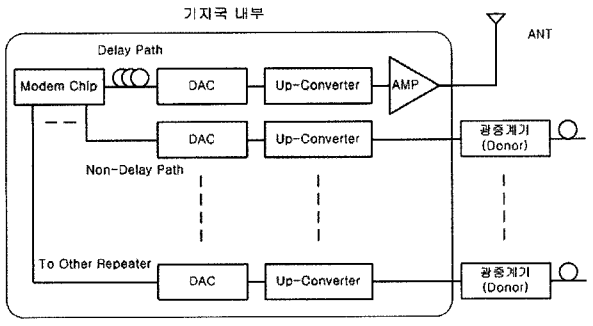


그림 3. 광중계기 지연문제를 해결 위한 기지국 설계 예

예를 들어, 기지국으로부터 8km 떨어진 지역에 광중계기가 있고, 광중계기 시스템 자체 지연 시간이 1 ㎲일 경우, 그림 3에서 Delay Path는 다음과 같이 주어진다.

Delay Path= 광 선로지연+중계기 자체 지연
= {8 km * (5 ㎲/km)}+ 1 ㎲
= 41 ㎲

즉, 41㎲의 Delay Path가 기지국 내부에 있어야 한다.

III. 광중계기의 딜레이 구현

앞 절에서 기지국과 WiBro 광중계기의 동기를 위해 기지국에 딜레이 조정이 필요함을 살펴보았다. 본 장에서는 WiBro 광중계기 내에서의 시간 동기 장치 구현에 대해 살펴보도록 한다.

통신사업자는 같은 망 안에 있는 모든 장비들은 같은 딜레이를 가지고 같은 시간에 동작을 하도록 기지국과 중계기 망을 설계한다.

WiBro 광중계기의 광 선로에 의한 지연시간이 다른 두 광중계기의 경우 같은 망 안에 있는 모든 광중계기가 동일 시간에 송수신 하기 위해서는 기지국과 광중계기 간의 시간 지연이 일정해야 한다. 하지만 광중계기가 설치되는 환경에 따라 광 선로의 길이는 다를 수 밖에 없기 때문에 WiBro 광중계기는 딜레이 측정과 딜레이 조정을 위한 별도의 장비가 필요하다.

TDD 방식의 시스템에서 신호의 지연이 Guard Time을 초과할 경우 통신이 불가능하기 때문에 광중계기를 사용할 때는 신호의 지연 보상 기능이 필요하게 되는데 광중계기에서 발생되는 지연을 보상하기 위해서는 광중계기의 Donor부와 Remote부 사이에서 발생되는 정확한 지연 시간 측정이 필요하고, 광중계기에서는 Donor부에서 일정 처리 속도 이상의 CPU와 Tone 신호를 가지고 Remote부로 신호를 보내 Loop Back 시간을 측정하여 딜레이를 측정할 수 있는 알고리즘과 기능을 가지고 있어야 한다. 그리고 측정의 정확도를 높이기 위해 측정 횟수를 일정횟수 이상 반복하며 개발 시 시스템 고유의 지연과 CPU처리를 위한 지연에 대한 정확한 데이터를 확보하여 정확도를 높여야 한다. 이를 위하여 Analog 방식의 광 선로 시간 동기 장치를 사용하여 지연을 조정하게 되는데 기지국의 하향링크와 상향링크의 스위칭 시간에 영향을 주지 않아야 한다.

광 선로 시간 동기 장치를 구현하기 위해 광섬유를 실시간 지연 선로의 구현 방법에는 광 스위치를 이용하는 방법, 브래그 격자를 이용하는 방법, 분산효과를 이용하는 방법 등이 사용이 되는데 아래의 그림 4와 같이

광 스위치를 사용한 방법을 분석하였다.

광 선로 시간 동기 장치에는 서로 다른 길이를 가지는 광 케이블을 사용하였으며 광 스위치를 사용하여 스위칭 함으로써 케이블들의 조합으로 지연시간을 0 ~ 40 ㎲ 까지 수동 및 자동으로 광선로의 지연시간을 설정할 수 있다.

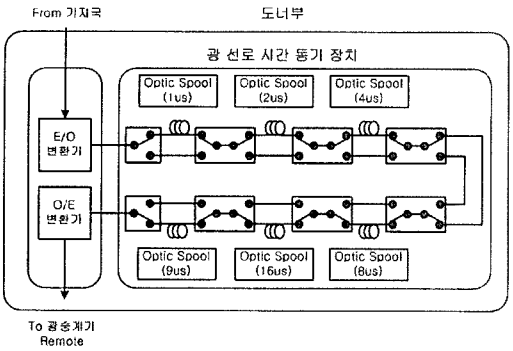


그림 4. 광 선로 시간 동기 장치 구성도

각각의 광 케이블은 1 ㎲, 2 ㎲, 4 ㎲, 8 ㎲, 16 ㎲, 9 ㎲의 Absolute Delay를 가지며 케이블들의 조합으로 지연시간을 조절할 수 있다. 이때, 광 선로의 손실은 광 스위치에 비해 매우 미미하기 때문에 이 장치의 손실 특성은 광 스위치의 특성에 좌우된다. 만약 1 ~ 40 ㎲의 광 딜레이를 1 ㎲ 단위로 제어하기 위해서는 매 Section에 연결되는 광 선로의 길이는 표 1과 같다 [4].[

표 1. 광 Delay를 위한 선로 길이

Section	1	2	3	4	5	6
선로길이(km)	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	1.8
딜레이(㎲)	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	9.0

그림 5는 광 스위치와 광케이블을 이용하여 제작된 광 선로 시간 동기 장치의 실물을 보여준다. 시간 동기 장치는 기지국과 동기를 맞추기 위하여 딜레이를 측정하고 조정하는 기능을 가져야 하며, 이에 사용되는 알고리즘은 하나의 루틴으로 자동 측정 및 설정이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

WiBro 망에서 광중계기를 적용할 경우에 생길 수 있는 딜레이 요소는 4가지 정도로 구분할 수 있다.

첫째, 시스템 딜레이로 시스템의 전송구간을 제외한 순수한 하드웨어 상에서 발생하는 것으로 송·수신 필터, 시스템 내부의 각종 케이블류, 전력증폭기 등과 같은 경로를 거치며 생기는 것으로 지연 시간이 많이 걸리는 SAW필터를 사용하지 않는 경우 일반적으로 0.25 ~ 0.35 ㎲ 정도의 딜레이가 생긴다. 실제로 이러한 값은 오차범위 1 ㎲ 이내에 존재하기 때문에 이후의 CPU 처리시간에 포함되어 무시할 수 있다.

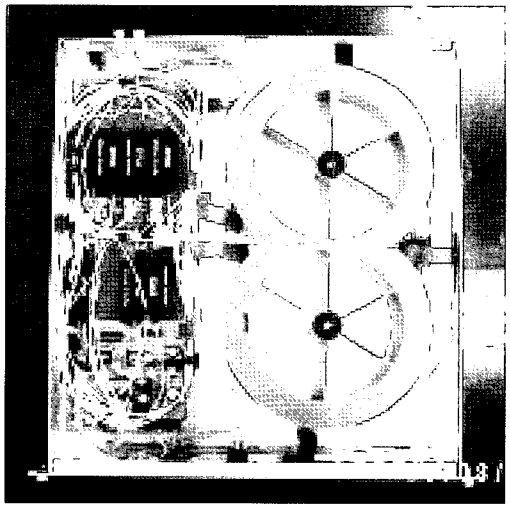


그림 5. 광 선로 시간 동기 장치 실물

둘째, Donor부와 Remote부 간의 광구간 전송 거리에 의한 딜레이로 설치시 설치 조건과 Donor부와 Remote부 간의 이격 거리등으로 인하여 변수가 되며 광중계기에서 사용되는 CPU에서 측정하고자 하는 목표가 된다.

셋째, 광중계기의 Donor부에 있는 CPU의 처리시간에 의한 딜레이로 CPU에서 측정모드 명령을 전송하기 위해 FSK 모뎀을 사용하게 되는데, 이 경우 CPU와 FSK 모뎀구간에서 딜레이 측정시 소요되는 처리 시간으로 그 시간은 항상 일정하며, 조건에 따라 오차가 생길 수 있지만 일반적으로 12 ~ 13 ㎲ 정도의 시간 지연이 생긴다.

넷째, 광 선로 시간 동기 장치에서 설정된 딜레이로 시스템에 이미 설정된 딜레이로써 광 딜레이 장치가 운용자에 의해서 또는 자동적으로 보상 할 수 있도록 설정된 딜레이를 말한다. 이 범위는 앞에서 언급하였듯이 0 ~ 40 ㎲ 범위에 있을 것이며, 그 값은 CPU에서 설정값을 알고 있으므로 상수로 처리 할 수 있다 [5].

Donor부와 Remote부 간의 광 구간을 포함 한 시스템 전체 딜레이에서 시스템 딜레이와 CPU 처리 시간은 일정하므로 광 선로 시간 동기 장치에 적절한 딜레이 값

을 설정하기 위해 Donor부와 Remote부 간의 광구간의 전송 딜레이 측정을 수행하면 알 수 있다.

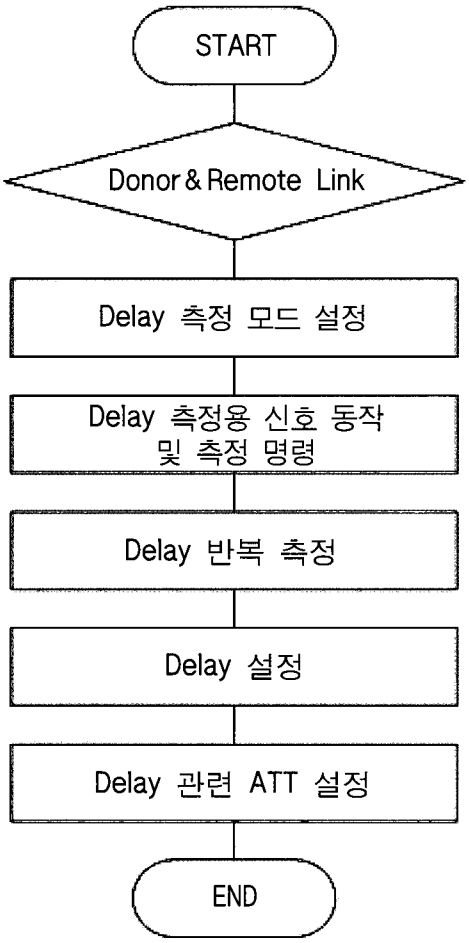


그림 6. 광 선로 시간 동기를 위한 딜레이 측정 순서도

딜레이를 측정하기 위한 절차를 살펴보면, 그림 6과 같다. Donor부와 Remote부로 구성된 광중계기의 딜레이를 측정하기 위해서는 광중계기 Donor부의 콘트롤러가 Remote부와 연결되어 있는지 확인한다. 연결이 되어 있으면 FSK 모뎀을 통하여 Delay 측정모드 명령을 전송하고 Remote부의 제어부에서는 딜레이 측정용 신호를 동작시키고 Donor부에서는 측정용 신호를 수신한 후 그 신호를 다시 Remote부에 보내는데 정확도를 높이기 위해 반복 측정하여 딜레이를 설정한다. 이때 설정된 값은 전원의 On/Off시에도 기존의 설정값을 그대로 유지해야 한다.

IV. 실험 및 결과

광 선로 시간 동기 장치의 성능을 좌우하는 딜레이 측정 및 설정 알고리즘은 하나의 루틴으로 자동 측정하고 설정할 수 있어야 한다. 이것은 시스템 딜레이를 측정하고 기지국과 동기를 맞추어 ISI, ICI 를 최소화하며 효과적인 커버리지의 확보를 위하여 기지국과 중계기의 신호 딜레이를 효율적으로 관리할 수 있도록 하였다.

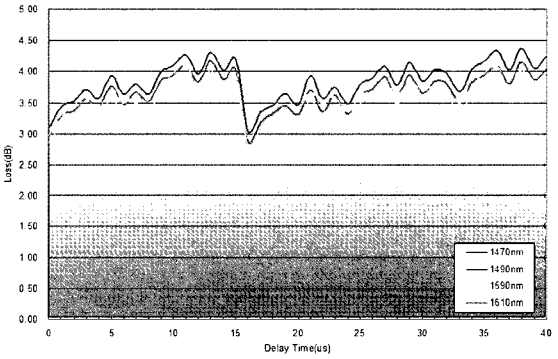


그림 7. Delay Time, 파장별 손실

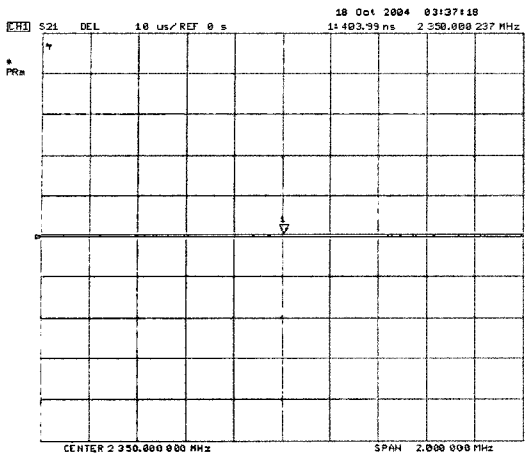
그림 7은 딜레이 시간, 파장별 손실값을 나타내고 있다. 측정된 중심파장은 1470 nm, 1490 nm, 1590 nm, 1610 nm을 사용하여 -5℃ ~ 70℃의 온도 조건으로 0 ~ 40 μs 범위에서 1 μs 씩 가변하면서 삽입손실과 실제 딜레이값을 측정하여, 삽입손실은 최대 4.5 dB 이하의 손실값과 딜레이 허용오차는 ± 0.5 μs 이내로 만족 할만한 특성을 얻었다.

그림 8에 실제 제작된 Analog 광선로 Delay 장치를 각각 0 μs, 20 μs, 40 μs에서 측정하여 결과를 나타내었다.

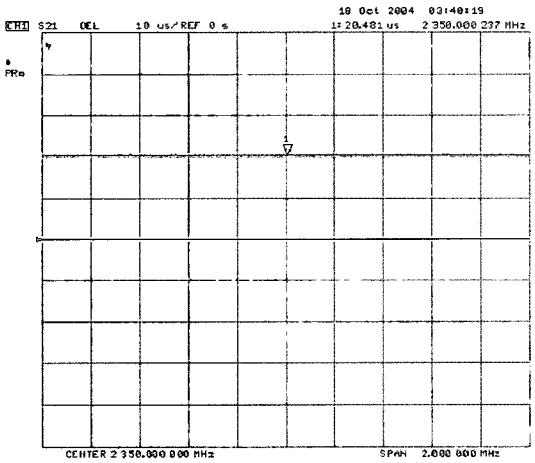
V. 결론

본 논문에서는 2.3 GHz WiBro 시스템에서 광중중계기를 적용할 경우의 시간지연에 대해 분석하고, TDD/OFDM 방식인 WiBro 시스템에서 기지국과 중계기들 간에 동기를 맞추는 광선로 시간 동기 장치를 구현하였다.

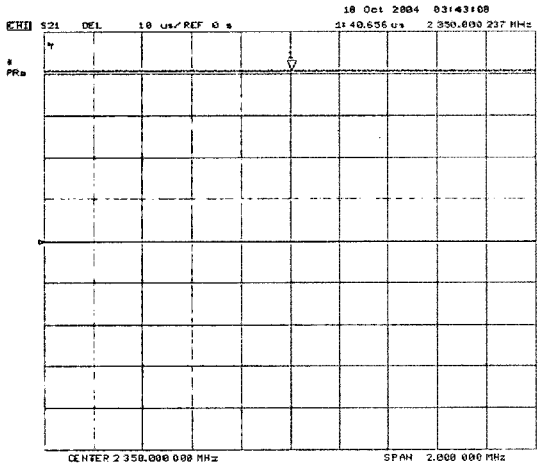
시간 동기를 맞추지 못할 경우 나타나는 ISI, ICI는 WiBro 시스템의 Coverage를 줄이거나, 심할 경우 통신 불능 상태에 빠지기 때문에 광선로 장치는 꼭 필요한 장치이다.



(a) 딜레이 = 0 ㎲



(b) 딜레이 = 20 ㎲



(c) 딜레이 = 40 ㎲

그림 8. 시간 동기 장치 측정결과

광선로 시간 동기 장치를 구현하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나, 가격과 성능을 고려하여 광스위치와 Optic Spool을 조합하여 구현하는 방법을 채택하였다.

제작 실험 결과 지연시간과 삽입손실에서 만족할 만한 결과를 얻었다. 이 결과는 향후 기존의 제품보다 성능 면에서 유사 상용 모델과 유시한 시스템에 유용하게 응용될 것으로 판단된다. 향후 연구과제로는 광선로 시간 동기 장치 내의 광 선로의 길이를 축소시켜 크기를 축소시키거나, RF적인 방법으로 딜레이를 구현하는 방법을 연구 중에 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 권동승, 유병한, 황승구, "휴대인터넷 무선 접속 기술," 한국전파진흥협회논문지, 14권 4호, pp. 37, 2004
[2] 조용수, "휴대인터넷 무선접속 표준기술," 한국정보통신기술협회논문지, 93호, pp. 44, 2004.
[3] 조용수, "무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초," pp. 63-65, 대영사, 2000.
[4] SK텔레콤 & SK텔레시스, "휴대인터넷 광중계기 핵심기술에 관한 연구," pp. 105-112, 2004.
[5] SK텔레콤 & 쏠리테크, "WiBro 고출력 아날로그 광중계기 개발에 관한 연구," pp. 88-89, 2004.

Biography

박 형 록 (Hyong-Rock Park)

1985년 조선대학교 전자공학과 졸업
1994년 연세대학교 공학원 전자공학과 (공학석사)
2001년~현재 경희대학교 대학원 전파공학과(박사과정) 정보통신기술사

1990년~2002 SK텔레콤
2002~현재 SK텔레시스 첨단기술연구소장/상무
<주관심분야> 이동통신, 시스템 엔지니어링
<이메일> parkrock@nate.com

김 재 형 (Jae-Hyung Kim)

2000년 단국대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
2002년~현재 SK텔레시스 첨단기술연구소/과장

<주관심분야> 이동통신, 선형증폭기, 시스템 엔지니어링
<이메일> kjhyung@sktelesys.com

홍 인 기 (Een-Kee Hong)

1989년 연세대학교 전기공학과 졸업
1991년 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
1995년 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)

1999년~현재 경희대학교 전자정보대학 부교수
<주관심분야> 이동통신, 스펙트럼 엔지니어링
<이메일> ekhong@khu.ac.kr