

# 펄토셀 기지국 동기 획득을 위한 AGNSS-Packet Timing 하이브리드 표준화

정희원 김 정 훈\*, 이 지 훈\*, 신 준 효\*, 정 석 중\*

## A standardization of AGNSS-Packet Timing Hybrid for a Synchronization of Femtocell

*Regular Members*

요 약

동기 획득은 펄토셀 기지국의 안정적인 동작을 위해 가져야 할 주요 기술적 과제 중 하나이다. 특히 펄토셀 기지국의 경우는 설치되는 환경적 특수성에 의해 제약을 받는다. 첫째, 펄토셀 기지국이 위치하는 실내 환경에서의 전파 감쇄와 상호 간섭등의 제약 요인이다. 둘째, 펄토셀 기지국이 연결되는 백홀 네트워크에 따른 제약이 있다. 이 밖에도, 무선 연결성을 제공하는 다른 기술의 AP와 같이 기술 구성에 있어서 저 비용이 요구되는 기술이어야 한다. 본 논문에서는 실내에서 위치 측위와 타이밍 획득을 위한 기술들을 살펴보고 AGNSS-Packet Timing 하이브리드 기술의 필요성 및 진행 중인 관련 표준화와 연관된 내용을 다루도록 한다.

**Key Words** : Femtocell, Synchronization, AGNSS, PTP, NTP

ABSTRACT

The synchronization is one of the important issues for successful operation of femtocell. The synchronization of femtocell is distinctly different from that of larger wireless base stations in a number of important respects such as 1) The femtocell is located in indoor environment which may make it difficult to receive the adequate GNSS signals. 2) The backhaul of femtocell is connected to the public network which may have more PDV than private network. 3) The entire cost of femtocell needs to be very low. In our thesis, we investigate the candidate solutions including AGNSS (Assisted GNSS), NTP (Network Time Protocol), PTP (Precision Timing Protocol) and Cellular Network Listen for indoor timing solution. We propose the AGNSS-PTP Hybrid scheme which can improve time and frequency quality by selecting the better reference between AGNSS and PTP, and cover the standard status which are under discussion from IEEE, ITU-T, and IETF.

### I. 서 론

최근 이동통신 시스템에서 동기 획득은 기지국의 RF(Radio Frequency) 요구사항을 만족해야 하는 기능 외에도 기지국간의 핸드오버(Handover)를 위한 이동성을 제공하는 측면에서 필수적인 기능이다. 기지국

이 단말과 연결성을 확보, 유지하기 위해서 표준에서 요구하는 정확도를 갖는 주파수를 제공해야 할 뿐 아니라 경우에 따라 정확한 시각을 유지하기 위하여 GNSS(Global Navigation Satellite System) 등에 동기된 정확한 위상제어가 필요하다. CDMA, 와이브로 등과 같은 이동통신 기술에서는 동기 획득을 위하여

\* LG-Ericsson CN\_R&D Access Network팀 ({paul.kim, jihoon.lee, junhyo.shin, seokjong.jeong}@lgericsson.com), (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2011-07-290, 접수일자 : 2011년 7월 13일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 2일

GNSS를 동기원(Reference Source)으로 사용해 온 반면, WCDMA 기술은 SDH/PDH 등으로 동기된 망에서 정확한 주파수를 추출하여 동기원으로 활용해 왔다. 이동통신의 매크로 셀 기지국과 다르게 xDSL, Ethernet 등 동기되지 않은 네트워크를 백홀(backhaul)로 사용하는 펠토셀 기지국은 실내 환경에 설치된다는 특수성을 감안할 때 동기 획득 방법에 있어서 중요한 이슈를 제기한다. 이에 대한 방안으로 AGNSS(Assisted GNSS), Packet Timing (NTP : Network Time Protocol 또는 PTP : Precision Time Protocol) 또는 Cellular Network Listen(CNL)에 대한 연구가 이루어지고 있으나 펠토셀 기지국이 놓이는 실내 환경, 펠토셀 기지국이 연결되는 네트워크의 특성 및 주변 매크로셀 기지국과의 관계에 따라 각각의 기술들이 고유의 장, 단점을 가지고 있어서 그 중 어느 기술도 분명한 대안으로 충분하지 않으며 아래와 같은 문제점들을 안고 있다. 첫째, 펠토셀 기지국이 설치 운용되는 공간은 일반적으로 실내 환경이라는 점이다. 실내 환경이라는 특수성은 GNSS 신호를 이용한 동기 획득이 어려운 원인이 된다. 특히, GNSS 신호가 건물 내로 들어올 때 감쇄 및 반사로 인한 다중경로(multi-path)가 발생할 뿐 아니라, 실내에 있는 각종 전자기기로부터 발생하는 노이즈는 GNSS 수신기가 신호를 수신하는데 방해요인으로 작용한다. 둘째, 펠토셀 기지국은 다양한 네트워크에 연결되며 주로 동기 되지 않은 네트워크를 사용한다. 가정 및 사무실 에서 주로 사용하는 네트워크는 Ethernet 등과 같이 동기 되지 않은 네트워크이므로 망 자체에서 주파수와 타이밍을 추출할 수 없다. Ethernet에서 동기 획득을 위한 방안으로 제안된 PTP 또는 NTP와 같은 Packet Timing 프로토콜을 고려할 경우, 패킷의 지연(Delay) 및 지연 변동(Packet Delay Variation:PDV)이 네트워크의 부하, 패킷 손실, 네트워크의 대칭성 등에 영향을 받아 네트워크를 특성화하는 것이 어려울 뿐 아니라, 다양한 형태의 공중망(Public Network)을 고려한다면 그 어려움이 크게 증가하게 된다. 셋째, 펠토셀 기지국 설치시 동기 획득의 관점에서 확장성에 제한이 있다. 즉, 매크로셀 기지국에 비해 매우 많은 수의 펠토셀 기지국이 설치 운용된다는 가정 하에서 동기 획득 방안이 고려되어야 하는데 Packet Timing을 사용하는 경우 서버의 용량을 확대하거나 많은 수의 서버를 설치 운용하기 위하여 CAPEX, OPEX 비용이 펠토셀 기지국의 수에 비례하여 증가한다. 넷째, 펠토셀 기지국의 운용 목적으로 서비스 범위(Coverage) 확대 및 서비스 용량(Capacity) 확대 측

면을 모두 고려해야 하는 문제가 제기된다. 특히, CNL을 동기 획득 방안으로 사용하는 경우 서비스 범위 확대 목적으로 펠토셀 기지국을 활용하는 경우에 있어서 주변 매크로셀 기지국으로부터 동기 신호를 획득할 수 없는 제약조건이 발생할 수 있는 문제점이 있다.

결과적으로, 본 논문에서는 펠토셀의 동기 획득에 있어서 AGNSS의 장,단점 및 IEEE, IETF 및 ITU-T에서 논의되고 있는 PTP와 NTP관련 표준화 진행상황을 살펴보고 Femto Forum에서 제안 및 논의 중인 동기 획득 기술들의 장, 단점을 고찰하고자 한다. 또한, 펠토셀 기지국에서의 보다 우수한 동기 획득 방안으로서 제안하고자 하는 AGNSS와 Packet Timing 하이브리드 기술의 개념과 이점을 설명 하고 다른 기술과의 비교 및 우수성을 살펴보고자 한다. 마지막으로, LTE와 같이 펠토셀 기지국의 요구가 증대되고 있는 분야에 해당 기술 확대를 위하여 표준에서 다루어야 하는 내용에 대하여 기술하고자 한다.

## II. 표준화 동향

### 2.1 이동통신 기술에서의 요구사항

이동통신 시스템에서 동기화는 사용자에게 우수한 성능 및 고품질의 서비스를 제공하기 위해 필요한 요소 중의 하나이다. 이러한 동기화는 다음 두 가지 관점에서 그 중요성을 갖는다. 첫째, 정확한 무선 주파수를 제공함으로써 제한된 무선 자원을 가능한 효율적으로 사용할 수 있게 한다. 예를 들어 인접 기지국과는 상호 간섭이 발생하지 않도록 각 기지국마다 주파수 대역을 할당하게 된다. 이 때, 공급되는 주파수의 정확도가 낮으면 간섭을 최소화하기 위하여 인접 기지국과의 주파수 간격을 크게 설계할 수 밖에 없으며, 이는 심각한 자원 낭비를 초래할 수 있다. 둘째, 이동 단말이 이동 중 인접 셀(Cell)로의 유연하고 신뢰성 있는 핸드오버가 가능하게 한다. 각 기지국이 인접한 기지국과 동기가 이루어지지 않음으로써 발생하는 오프셋(Offset)에 의한 핸드오버 실패에 따른 Throughput 저하 혹은 Call Drop 등의 통화 품질의 저하 및 핸드오버에 관여하는 인접 기지국들의 핸드오버 과정 처리 시간 동안 동시에 자원을 할당함으로써 발생하는 자원낭비를 초래할 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 이동통신 시스템에서는 주파수 및 위상에 대한 요구사항을 관련 표준으로 명시하고 있으며, 이는 표 1과 표 2에 도시되어 있다.

표 1. 이동통신 기술별 주파수 정확도 요구사항

Application/ Technology	Frequency Accuracy
CDMA2000 <sup>[1]</sup>	± 50 ppb
WCDMA-FDD <sup>[2]</sup>	± 50 ppb (Wide Area BS) ± 100 ppb (Medium range BS) ± 100 ppb (Local Area BS) ± 250 ppb (Home BS)
LTE-TDD <sup>[3]</sup>	± 50 ppb (Wide Area BS) ± 100 ppb (Local Area BS) ± 250 ppb (Home BS)

표 2. 이동통신 기술별 위상 정확도 요구사항

Application/ Technology	Phase Accuracy
CDMA2000	<3us (Normal Status) <10us (Holdover Status, 8hr)
WCDMA-TDD (Macro) <sup>[4]</sup>	± 2.5us
WCDMA-TDD (HNB) <sup>[5]</sup>	Microsecond level accuracy (no hard requirement listed)
LTE-TDD <sup>[6]</sup> (Macro)	<3us(<3km radius, small cell) <10us(>3km radius, large cell)
LTE-TDD (HNB)	<3us(<500m radius, small cell) <1.33+Tpropagation us (>500m radius, large cell)

## 2.2 이동통신 동기화 표준 동향

### 2.2.1 IEEE - IEEE1588

IEEE Std 1588™-2002 (version 1)은 Ethernet 등의 네트워크에 연결된 타이밍 서버와 클라이언트들 간 연동 구조에서 각 클라이언트들의 원격지에서의 측정 및 제어를 위하여 정확한 주파수 및 위상 동기를 제공하는 것을 목적으로 정의되었다. 이는 일부 정확한 계측을 통해 자동화를 필요로 하는 분야의 장비 제조사들이 채택한 타임 동기화 표준으로서 주요 내용은 아래와 같다.

(1) 디바이스가 네트워크상에서 정밀하고 정확한 클럭을 활용할 수 있도록 하는 프로토콜 (PTP)을 정의한다

(2) 멀티캐스트 (Multicast)가 가능한 건물 및 공장의 LAN (Local Area Network)상에서 사용하도록 구현하는 것을 범위로 한다

(3) 산업자동화, 측정 및 제어 시스템에 응용하는

것을 대상으로 구현한다,

(4) 수 마이크로 초의 정확도를 갖는 것을 특징으로 2002년 11월에 발표되었다.

IEEE Std 1588™-2008 (version 2)는 이동통신 (telecom)에서 사용 가능하도록 응용범위의 확대 및 적합성 향상을 도모하였다. IEEE 1588 버전 1의 문제점 해결을 위해 2005년 3월에 PAR (Project Authorization Request)을 제출하고 Precise Networked Clock Synchronization Working Group을 조직하여 활동한 결과로 관련 표준이 제정되었다. IEEE 1588 버전 2는 다음과 같은 내용을 포함한다.

(1) PTP 프로토콜의 수정 (ex. Message format 변경, 멀티캐스트와 유니캐스트 (Unicast) 메시지 사용, Higher message rate 사용 등)

(2) Transparent Clock 개념 도입

(3) PTP profile 정의

(4) 나노 세컨드 정확도로의 개선

IEEE1588 버전 2는 위와 같은 주요 내용으로 하며 이동통신 (Telecom) 및 Residential ethernet (802.1AS)에서도 사용 가능하도록 2008년 7월에 발표되어 현재까지 사용범위가 확대되고 있다. <sup>[7]</sup>

### 2.2.2 ITU-T SG15 Q13(Q13 of Study Group 15)

네트워크 동기에 대한 성능 규격은 디지털 전송 네트워크 및 관련 스위칭 시스템의 성공적인 운영 및 통합을 위해 필수적이며, 네트워크를 통한 시간정보를 전달하기 위한 가장 효과적인 방법을 결정하기 위해 서도 필요하다. 이와 관련된 연구로 PDH/SDH에 관련된 네트워크상의 동기화 (1988 ~ 2000), OTN (Optical Transport Network)에서의 네트워크 동기화 (2001 ~ 2004)가 이미 진행되었고, 현재는 ITU-T SG15 Q13에서 패킷 네트워크 (Packet Network)상의 네트워크 동기화 이슈에 대한 연구 (2004 ~ )를 진행해 오고 있다. 현재까지 패킷 교환 네트워크 상에서의 CES-TDM 신호의 전달, Synchronous Ethernet, 패킷 교환 네트워크 상에서 주파수를 전달하기 위한 타이밍 프로토콜의 사용, 패킷 교환 네트워크 상에서의 메트릭의 특성에 대한 연구를 완료 하였으며, 패킷 교환 네트워크 상에서의 시간 및 주파수 정보의 전달에 대한 연구를 진행하고 있다.

### 2.2.3 TICTOC (Timing over IP Connection and Transfer of Clock)

TICTOC WG는 IETF내에서 IP PSN 또는 MPLS-

enabled PSN상에서의 정확한 시각 및 주파수의 전달을 위한 연구를 위하여 2008년 3월부터 시작된 WG이다. 현재 Packet Timing을 통한 주파수 전달 특성에 대한 연구를 진행 중이며, 이는 PDV metrics, Network Limit, Packet clock specification 등을 포함하고 있다. 또한 패킷 네트워크상에서의 시각 동기화를 위하여 Network Limit, clocks, Telecom profile에 대한 정의를 함께 진행 중이다. 현재까지의 다음의 3가지를 주요 이슈로 진행하고 있다.

첫째, MPLS 망에서 PTP 패킷의 전달 방법에 관한 것으로서, MPLS 망에서 시각 동기화를 위하여 TC (Transparent Clock)를 구현하기 위한 방법에 대한 논의가 진행되고 있다. 둘째, PTP Packet의 IPsec 적용 방법에 대한 연구로서, 일반적으로 랩토셀 기지국과 Core망 사이의 연결은 DSL과 같은 공중망(Public network)을 통하여 연결이 된다. 이러한 공중망은 보안이 보장되지 않는 망으로서, 3GPP TS 33.320에서는 IPsec을 적용하여 보안을 강화하도록 권고하고 있다. PTP 패킷에 대한 IPsec은 BC (Boundary Clock)와 같은 중간 노드(Intermediate node)가 타이밍 패킷(Timing packet)을 확인할 수 없게 함으로, 이러한 문제점을 해결하기 위해 수정된 ESP (Encapsulating Security Payload)를 적용하여 PTP 패킷에 대한 IPsec을 구현할 수 있는 방법에 대한 논의가 이루어지고 있다. 셋째, IEEE 1588 Clock의 관리 정보 베이스에 대한 정의를 진행 중인 상태이다. 이러한 관리 정보 베이스에는 클럭도메인의 종류, 클럭 아이덴티티, 메시지의 주기, 클럭 메커니즘 종류, 클럭 포트 상태, 클럭 품질 정확도, 클럭 품질 등급, 클럭 상태, 클럭 타이밍 소스 등을 포함하고 있으며, 이는 SNMP와 같은 네트워크 관리 프로토콜을 이용하여 각 IEEE 1588 클럭들을 모니터링 하고 성능을 측정하고 상태를 관리하기 위해 사용되어 지는 관리 객체에 대한 정의를 의미한다.

### III. 기술 동향

#### 3.1 AGNSS (Assisted GNSS)

AGNSS는 위치 획득 수신 레벨(Acquisition Sensitivity)과 초기 위치 획득 시간(Time-To-First-Fix, TTFF)을 향상시킨 GNSS 위성 기반의 위치 확인 시스템이다. 기존 GNSS는 위성들로부터 오는 신호만을 이용하는 반면에, AGNSS는 위성들의 Almanac 정보와 Ephemeris 정보를 Aiding 정보를 이용하여 실내와 같이 GNSS 신호가 좋지 않은 환경에서도 빠

르게 위성들의 정보를 계산하여 위치와 동기신호(IPPS)를 획득한다. 밀집한 도심 내에서는 GNSS 신호들이 건물 등에 의해 반사됨에 따른 다중 경로 전송에 의해 신호의 결점률이 크게 증가하기도 하며, 벽, 지붕, 창문 등에 의해서 신호감쇄가 매우 크게 발생하기도 한다. 이러한 환경에서, 기존의 GNSS 수신기들은 다중 경로에 의한 감쇄 및 각종 구조물에 의한 신호 크기의 감쇄로 인해 GNSS가 위치와 동기신호를 획득하기가 어려워지는 경우가 있다.

AGNSS는 모든 가능한 위성들의 LOS (Line of Sight) 신호를 수집하여 각 위성들의 Almanac, Ephemeris를 AGNSS 서버에 저장하게 된다. AGNSS 서버는 수신기로부터 초기 위치 정보를 받고, 수신기에게 시간 정보와 계산된 위성정보를 제공한다. 이 때, 수신기는 서버로부터 받은 시간정보 및 위성정보를 이용하여, 수신기에서 현재 수신 가능한 위성의 수를 줄이고 그 위성들의 Correlation 계산에 집중함으로써 초기 위치 획득 시간을 줄이게 된다. 동시에 기존 GNSS가 수신하지 못하던 실내에서 신호세기가 낮은 위성 신호들을 검출함으로써 수신감도의 향상을 가능하게 한다.

#### 3.2 Packet-Based Timing

##### 3.2.1 NTP (Network Time Protocol)

패킷을 이용한 동기방식은 GNSS등에 동기된 정확한 동기시간을 가지고 있는 서버 (또는 마스터)로부터 전송되는, 타임스탬프 정보를 가지고 있는 패킷들을 클라이언트 (또는 슬레이브)가 수신하여 동기를 획득하는 방법이다. NTP는 패킷을 이용한 동기 방법의 하나이며, 그림 1과 같이 원격지의 서버와 NTP 클라이언트를 동기시키기 위하여 라운드 트립 지연시간 및 오프셋을 측정해야 한다.  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ 를 각각 클라이언트가 시간 정보 요청을 보낸 시간, 서버가 이를 수신한 시간, 서버가 요청에 대한 응답을 보낸 시간, 클라이언트가 응답을 받은 시간이라고 하면, 라운드 트립 지연시간 =  $(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$ , 오프셋 =  $[(t_2 - t_1) + (t_3 - t_4)]/2$  으로 계산되어 진다. 이를 계산함으로써 클라이언트는 원격지의 서버와 시각 및 주파수 동기를 맞출 수 있게 된다.

NTP는 인터넷을 이용하여 PC를 국제 표준시에 맞추는데 광범위하게 이용되고 있다. 2010년말 현재, 대부분의 나라들이 수천 개의 NTP 서버를 이용하여 인터넷을 통하여 대략 2천5백만대의 PC에 NTP 동기를 제공하고 있다. NTP 동기는 WAN 환경에서 약 수십

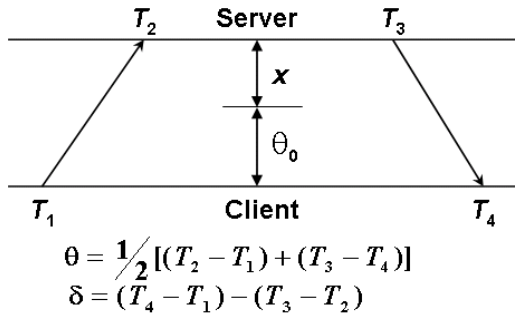


그림 1. Basic Synchronization message Exchange

ms의 정확도를 제공하고, LAN 환경에서는 수 ms의 정확도를 제공하며, GNSS 수신기 또는 세슘 등과 같이 정확한 레퍼런스를 이용하는 경우는 수 us의 정확도까지 제공 가능하다. NTP 프로토콜은 기본적으로 서버로부터 공중망 또는 사설망을 사용하는 네트워크에서 시간 정보를 전송하도록 설계가 되었지만, 정확한 동기를 사용하는 통신 시스템에서는 정확도를 더 증대시켜야 하는 문제점이 있다.

### 3.2.2 PTP (Precision Timing Protocol)

PTP는 NTP와 비슷하게 정확한 동기시간을 가지고 있는 서버 (또는 마스터) 로부터 전송되는 타임스탬프 정보를 가지고 있는 패킷들을 클라이언트 (또는 슬레이브)가 수신하여 동기를 획득하는 방법이다. PTP는 수 ns의 해상도를 가지는 타임스탬프를 이용하여, 통신 시스템에서 기지국 주파수와 핸드오버를 보장하는 매우 높은 정확도의 동기 제공을 가능하게 한다. PTP의 가장 큰 어플리케이션 중 하나가 사설 기지국에 동기를 제공하는 것이다. 최근에 이동통신 시스템의 피코셀 기지국과 펌토셀 기지국에 대한 PTP 적용에 대한 연구가 활발하게 진행 되고 있다<sup>[8]</sup>.

PTP를 이용한 동기 획득은 마스터와 슬레이브간의 시간정보의 전송에 대한 방법이며, 그림 2에 도시하였다. 마스터는 절대시각에 동기된 정확한 클럭을 바탕으로 슬레이브에게 주기적으로 ‘Sync’ 메시지를 전송하며, 동시에 ‘Follow-up’ 메시지를 슬레이브에게 전송을 한다. 슬레이브는 모든 ‘Sync’ 메시지의 도착시간을 이용하여, ‘Follow-up’ 메시지에서 제공하는 출발시간을 비교함으로써, 동작되는 시스템 딜레이 정보를 알 수 있으며, 그것을 이용하여 슬레이브의 클럭을 조정 가능하게 된다. 슬레이브는 ‘Delay-Request’ 메시지를 마스터에게 주기적으로 보내고, ‘Delay-Response’ 메시지를 마스터로부터 받게 된다. 이 두 메시지를 이용한 라운드 트립 딜레이 시간을 계산하여 마스터와

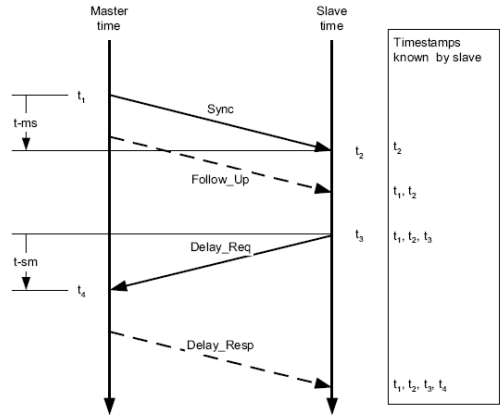


그림 2. Basic Synchronization message Exchange

슬레이브 간에 네트워크에서 비롯되는 반응시간을 보상할 수 있다. 이러한 메시지를 반복적으로 이용하여, 마스터와 슬레이브 간에 주파수 및 위상 동기를 비교적 높은 정확도로 맞출 수가 있다.

PTP는 IEEE 1588-2002 V1이 공장 자동화, 패킷망의 시간 지연 계측 등의 활용을 목적으로 표준화된 이후, 텔레콤에 확대 응용하기 위해 IEEE 1588-2008 V2 (이후 IEEE1588V2)로 개정이 이루어졌으며, 현재 관련 표준화가 활발하게 진행 되고 있다.

### 3.2.3 NTP와 PTP 비교

단위 시간당 타이밍패킷 수는 PTP의 경우 1~128PPS를 NTP는 최소 131,072초당 1 패킷에서 최대 16초당 1패킷으로 PTP가 상대적으로 높은 단위 시간당 패킷수를 허용한다. 단위 시간당 타이밍 패킷의 수가 클수록 클라이언트에서 획득하는 동기 품질은 우수하다.

NTP와 PTP 프로토콜 상의 패킷수 측면의 효율은 차이가 거의 없다고 할 수 있다. 즉, 다른 성능에 영향을 미치는 인자가 동일하다고 가정할 경우 단위 시간당 동일 패킷 수는 동일한 동기 획득 성능을 갖는다. 펌토셀 기지국에서 타이밍 획득을 하는데 있어서 NTP는 기존에 설치 운영 중인 서버를 활용할 수 있는데 이점이 있으며 운용 경험을 살려 서버를 증설함으로써 쉽게 대응할 수 있다는 점이다. 그러나, 현재 운용 중인 NTP서버가 ‘Carrier grade’가 아닐 경우 낮은 품질이 예상되며 단위 시간당 패킷 수를 1/16초 이상 높일 수 없는 것은 더 높은 품질의 오실레이터 사용 등에 의한 비용 증가 외에, 위상(Phase) 정확도를 요구하는 TD-SCDMA, WCDMA-TDD 및 LTE-TDD 기술들의 요구 성능을 만족하기 위해서는 NTP

에서 허용하는 단위 시간당 패킷수보다 더 많은 수의 타이밍 패킷을 필요로 할 것이며 하드웨어 타임 스템 평이 필수적으로 요구되고 있는 게 현실이다.

3.3 Cellular Network Listen

CNL (Cellular Network Listen)은 그림 3에서 도시한 것과 같이 펠토셀 기지국에서 사용할 수 있는 또 다른 동기 획득 방법으로, 절대 동기 시각을 가지고 있는 매크로셀 기지국 및 인접한 기지국으로부터 동기 신호를 획득한다. 통상적으로, 펠토셀 기지국과 동기된 매크로셀 기지국의 경우 단일 홉으로 구성되어 동기를 맞출 수 있으며, 동기된 매크로셀 기지국으로부터 직접 동기 신호를 받을 수 없는 경우 그림 3에서와 같이 인접 펠토셀 기지국을 이용하여 동기 획득도 가능하다.

매크로셀 기지국은 50ppb 이상의 정확도를 가지고 있기 때문에, 매크로셀 기지국 동기신호 전송으로 펠토셀 기지국에서 요구되는 250ppb의 정확도를 만족시키는 것이 가능하다. 펠토셀 기지국에서는 아웃 밴드 대역을 모니터링하기 위한 독립적인 프론트 엔드 필터가 필요하지만, 같은 기술을 사용할 경우 추가적인 오버헤드는 필요하지 않다. GSM과 UMTS는 위상 동기에 대한 요구가 없지만, CDMA2000, WCDMA-TDD 또는 LTE-TDD 시스템에서는 대부분의 장비들이 실제로 위상 동기를 요구한다. 하지만, Network listening을 통한 동기 방법은 RTD(Round Trip Delay)를 측정할 상향 링크가 없기 때문에, 펠토셀 기지국과 매크로셀 기지국의 위치를 수백 미터 오차로 알고 있는 경우라고 하더라도 산악지역이나, 아주 복잡한 매크로셀 기지국이 있는 도심 등에서 수 us 내의 위상 동기를 얻기는 어렵다. 즉, 매크로셀 기지국의 동기신호를 이용하여 주파수 동기는 가능하나, 위상 동기는 매크로셀 기지국들과 펠토셀 기지국들의 설치 환경에 따라서 동기 획득 가능 여부가 결정된다 [9].

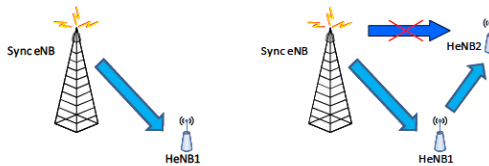


그림 3. Synchronization using Network Listening

3.4 동기신호 방식 간 비교

펠토셀 동기를 제공하는 각 방식들은 각각의 장, 단점을 가지고 있다. 첫째, AGNSS는 기존 GNSS에 비

해서 향상된 실내 측위 성능을 보여준다. 예를 들어 -145dBm보다 낮은 신호등의 수신을 가능하게 한다. 하지만, AGNSS는 아주 밀집된 도심 또는 건물 깊숙한 곳에서는 각 건물의 벽, 지붕, 창문 등에 의한 신호 감쇄에 의해서 완벽하게 동기를 제공하지는 못한다. 동기화를 위한 GNSS 신호가 집안 깊숙한 곳에서는 안정하게 잡히지 못하기 때문에, AGNSS는 수신 환경에 제약을 받는다.

둘째, NTP와 PTP와 같은 패킷 동기 방법은 마스터와 슬레이브 간에 xDSL, 케이블, xPON, 그리고 Ethernet망과 같은 네트워크를 통해 시간정보 패킷을 주고받음으로써 동기를 맞춘다. 이 때 패킷 동기는 PDV에 영향을 많이 받게 되며, 망의 비대칭성, 네트워크 트래픽, 그리고 망의 종류에 따라 다른 성능으로 나타난다. 이러한 인자들은 패킷을 이용한 동기 품질을 떨어뜨리는 원인을 제공하게 된다. 따라서, PDV가 크게 발생하는 네트워크에서는 네트워크를 구성하는 스위치와 라우터에 BC (Boundary Clock)와 TC (Transparent Clock) 개념을 필요로 하게 되며, 이를 통해 슬레이브 단의 동기 품질을 확보할 수 있다. 그러나, 이러한 구성은 스위치와 라우터를 교체해야 하는 문제로 인해 높은 망구성 비용을 야기시킬 뿐 아니라 가까운 미래에 이를 기대하기는 어려운 것이 현실이다.

셋째, CNL은 인접한 매크로셀 기지국 또는 펠토셀 기지국으로부터 동기화 신호를 이용하여 주파수 동기를 맞춘다. 이 방법은 대상 펠토셀 근처에 기지국이 반드시 있어야 하는 제약 사항이 있으며, 인접 기지국과 펠토셀 간의 거리와 설치환경에 따라서 성능이 달라지는 문제가 있다. 이러한 방법들의 장단점 비교는 표 3에 요약하였다.

표 3. 이동통신 기술별 위상 정확도 요구사항

	Advantage	Disadvantage
AGNSS	Available in most locations	May not be available in all buildings(may need external antenna)
NTP/PTP	1.Low Cost 2.Use Femtocell's backhaul interface	1. Low accuracy on public network (dependent on the network) 2. NTP : Hard to recover phase 3. PTP : High Total time cost
CNL	Low cost	Femtocell must be within a coverage area of macro cell

#### IV. AGNSS-Packet Timing

##### 4.1 AGNSS-Packet Timing Hybrid의 필요성

펌토셀의 동기 획득 방안을 위한 고려사항으로 동기 품질의 기본적인 사항 이외에 실내 환경 의존성, 네트워크 의존성, 확장성 및 위치기반 서비스의 필요성 등이 중요한 고려사항이며 상세한 내용은 다음과 같다.

첫째, 동기 품질은 주파수와 위상의 정확도와 안정도에 의해 결정된다. 끊임 없는 통화품질을 유지하기 위해서는 이동통신 시스템이 요구하는 규격내의 주파수 정확도와 더불어 경우에 따라 위상 정확도를 확보해야 한다. 또한, 안정적인 품질을 유지하기 위해 안정적인 동기원을 사용해야 하며 예기치 않은 경우에 대비하여 동기원을 이중화하는 방안이 고려되어야 한다.

둘째, 실내 환경 의존성이다. PTP / NTP의 경우, AGNSS와 비교 시 최대 장점 중 하나는 실내 또는 실외의 환경적 요인에 영향을 받지 않는다는 점이다. AGNSS는 반드시 GNSS수신기가 GNSS위성으로부터의 전파 수신 가능한 범위 내에 위치해 있어야 한다. GNSS신호의 감쇄는 실내인 경우 아래 표 4와 5에서 보는 바와 같이 건물의 재질에 따라 감쇄의 정도가 다르며 TV나 셀룰러에서 사용하는 주파수보다 높은 주파수를 사용함에 따라 상대적으로 큰 감쇄량을 보인다.

실내 환경의 경우 수신가능 정도를 모델링하기는 매우 어렵거나 불가능하다. 이는 건물의 층수, 창문의 크기, 창문의 코팅 재료, 인접건물의 높이, 나무 등 모든 전파수신에 영향을 줄 수 있는 인자들을 고려해야

표 4. 건물 층과 외벽에 의한 신호감쇄량

	Residential		Apartment	
	Wall	Floor	Wall	Floor
500 Hz UHF TV	8 dB	16 dB	20 dB	22 dB
900 Hz Cellular	11 dB	22 dB	22 dB	27 dB
1.6GHz GNSS	10 dB	20 dB	26 dB	29 dB

표 5 건물의 재질에 따른 주파수 대역별 수신전파 감쇄량<sup>10)</sup>

	Brick	Lumber	Concrete
500 Hz UHF TV	3 dB	8 dB	20 dB
900 Hz Cellular	5 dB	11 dB	22 dB
1.6GHz GNSS	7 dB	10 dB	26 dB

한다. 더욱이, 실내 내벽 등 전파 감쇄를 발생하는 방해물이나, 다중경로 및 전자제품으로부터 발생하는 전파수신방해 (interference) 등을 고려 시 복잡도가 매우 증가하게 되며, 위와 같은 이유로 실내 음영지역이 발생하는 원인이 된다. 반면, Packet Timing 의 경우 네트워크상의 타이밍 패킷을 이용하므로 위와 같은 제한 요인들로부터 자유롭다.

셋째, 네트워크 의존성을 들 수 있다. Packet Timing이 동기 획득 방안으로서 문제가 제기되는 부분은 네트워크 의존성이다. 특히, 사무실 등 LAN규모의 소규모 네트워크나 QoS가 보장되는 사설망의 경우에는 동기 품질 획득에 있어서 유리하나 네트워크의 정확한 모델링이 어려운 공중망에서는 동기 품질을 확보하기가 어렵다. 그 이유는 타이밍 패킷을 이용하는데 있어서 패킷 전송과정에서 발생하는 시간지연 변동(PDV : Packet Delay Variation)이 주요 원인이 된다. 이 때, PDV가 네트워크의 부하 조건에 따라 상이한 확률분포함수를 갖게 될 뿐 아니라 시간에 따라 트래픽 부하 량이나 라우팅 경로가 변하는 등의 원인으로 PDV가 시간에 따라 변하는 함수가 된다. 이는 동기 획득 품질의 불확실성으로 이어지게 된다.

넷째, Packet Timing의 확장성을 고려해야 한다. BC(Boundary Clock)은 PTP를 사용하는데 있어서 향상된 품질과 확장성을 제공한다. 이는 NTP와 비교 시 차별화된 매우 유용한 개념이다. 한편으로, BC가 적용되지 않은 스위치나 라우터를 통과하는 경우 PDV 특성이 크게 저하되나 BC가 지원되는 네트워크에서는 슬레이브에서 보다 안정적인 동기된 클럭 복원이 가능하다. 다른 한편으로는, PTP서버와 슬레이브의 비율에 있어서 BC를 적용함에 따라 그 비율을 크게 확장할 수 있다. 매크로셀의 경우 서버와 클라이언트의 비율이 크게 문제되지 않는데 이는 서버의 용량 대비 이와 연결되는 매크로셀의 수가 많지 않기 때문이다. 그러나 펌토셀의 경우 그 수가 매크로셀에 비해 수십 ~수백 배 이상 예상할 수 있으므로 서버와 클라이언트 비율을 고려한 확장성이 고려되어야 한다. 반면, Public Network에서 스위치 및 라우터가 PTP를 지원하는 장치로 모두 교체되는 것은 가까운 기간 내에 기대할 수 없다. BC를 사용하지 않고 확장성을 개선할 수 있는 방안으로 단위 시간당 타이밍 패킷 수를 줄이는 방안이 있을 수 있다. 그러나 이는 동기 획득 품질의 저하를 발생시킬 것이며 오실레이터 등 비용 증가의 원인이 되기도 할 뿐만 아니라 경우에 따라 원하는 동기 품질을 획득할 수 없게 된다.

다섯째, 위치기반 서비스의 필요성이다. 펌토셀의

위치기반 서비스를 위해 AGNSS는 매우 유용한 방안이다. 특히 빠른 TTFF (Time To First Fix) 특성 및 높은 수신감도(Acquisition sensitivity) 성능을 가져 실내에서 측위의 이점을 가질 뿐 아니라, 사용자의 해 펠토셀의 위치가 이동하게 되는 경우 자동으로 변경된 실제 측위를 반영할 수 있다. 이는 PTP 또는 NTP와 같은 Packet Timing이 위치 획득을 할 수 없는 문제를 보완할 수 있다. 펠토셀이 정확한 위치를 제공하는 경우 위치기반 서비스로 이에 따른 수익 모델 창출이 가능할 것이다.

## 4.2 AGNSS-Packet Timing Hybrid Architecture

### 4.2.1 Hybrid 동작원리

AGNSS-Packet Timing 하이브리드는 AGNSS와 Packet Timing 각각이 갖는 장점을 최대한 활용할 뿐만 아니라 각 기술 고유의 단점을 상호 보완함에 따라 그 효과가 증대된다. 따라서, AGNSS 또는 PTP/NTP 중 가장 좋은 동기원을 선택함으로써 보다 우수한 주파수와 위상 정확도를 만들어 낼 수 있다. GNSS 수신 이 원활한 지역에서 AGNSS는 주파수와 위상 정확도 측면에서 PTP/NTP보다 나은 주파수와 위상 정확도를 갖는다. 그러나, 실내 환경을 고려할 때 GNSS신호는 수신되는 위성 수가 부족하거나 감쇄가 심하게 되는 경우 수신 이 원활하지 않거나 경우에 따라 수신 이 불가능한 상황이 발생할 수 있다. 이때 Packet Timing으로 전환하여 인접 마스터, 즉 GNSS 신호 수신 이 가능한 다른 펠토셀 기지국으로부터의 타이밍 패킷으로 동기를 전환함으로써 동기를 유지하는 것이 가능하다. GNSS 수신 이 가능한 펠토셀 기지국은 Packet Timing에 의한 동기방식 보다 Packet Timing으로 인한 네트워크의 부하를 전체적으로 낮추는 효과가 증대 된다 Packet Timing 방안으로 PTP와 NTP를 비교할 때 PTP의 상대적 우수성을 감안하여 PTP를 중심으로 이하 설명을 기술하고자 한다.

### 4.2.2 Hybrid 네트워크의 구성

AGNSS-PTP 하이브리드 네트워크의 구성은 그림 4와 같이 하이브리드 서버, 마스터, 클라이언트로 구성된다. AGNSS-PTP 하이브리드 서버는 클러스터링, AGNSS Aiding 데이터 제공 및 하이브리드 타이밍 네트워크 관리 기능을 갖는 것을 특징으로 한다. 모든 펠토셀 기지국은 AGNSS 수신 이 가능한 경우 PTP 마스터로, AGNSS수신 이 불가능할 경우 PTP 슬레이브로 동작하는 것을 특징으로 한다.

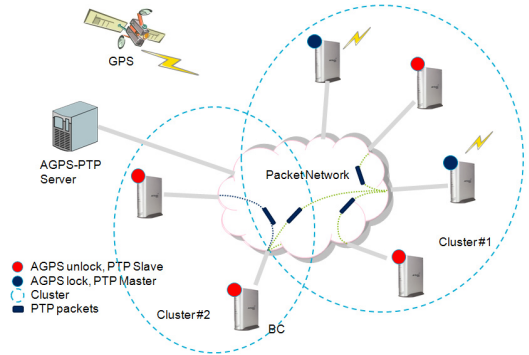


그림 4. AGNSS-PTP Hybrid Network

### 4.2.3 Hybrid 네트워크의 특징

#### (1) 분산형 네트워크 (Distributed Network)

AGNSS-PTP는 기본적으로 펠토셀 기지국과 펠토셀 기지국 간의 타이밍 솔루션이다. 따라서, 종래의 그랜드 마스터(Grandmaster)로 집중화된 네트워크가 아닌 분산 네트워크 구조를 갖는다. 이는 PDV측면에서 양질의 동기성능을 확보하며 그랜드마스터의 부하를 경감하는데 있어서 중요한 개념으로 작용한다.

#### (2) 네이버 리스트 (Neighbor List)

이 구조에서 모든 펠토셀 기지국은 네이버 리스트를 가지고 있어야 하는데 AGNSS-PTP 서버로부터 이 정보를 얻는다. 하나의 펠토셀 기지국이 네트워크에 추가(Add)되는 경우 하이브리드 서버는 잠재적 마스터 (Potential master)정보가 포함된 네이버리스트를 제공한다. 펠토셀 기지국은 AGNSS가 유효하지 않은 조건에서의 Packet Timing 마스터와 연결성을 유지함으로써 끊임없는 동기를 유지할 수 있도록 하여 신뢰성을 높일 수 있다.

#### (3) 근거리 네트워크 (Short Network Distance)

그림 4와 같이, 하이브리드 구조에서는 그랜드마스터가 PTP 마스터일 수 있을 뿐 아니라 인접 펠토셀 기지국도 PTP 마스터가 될 수 있다. 여기서 인접 펠토셀 기지국은 네트워크 측면에서 인접하다는 것을 의미하므로 마스터와 슬레이브의 네트워크 거리가 가깝다는 것을 뜻한다. 즉 네트워크가 가깝기 때문에 PDV특성에 있어서 유리한 환경에서 우수한 품질의 주파수 및 위상 복원이 가능하다.

### 4.2.4 클러스터링

클러스터는 PTP 마스터와 슬레이브의 관계가 형성된 독립된 네트워크라고 할 수 있다. 클러스터의 구성은 하나의 마스터와 복수의 클라이언트로 구성된다.



기본적으로 AGNSS-PTP 하이브리드 서버의 도움을 받으나 (네이버 리스트) 이후 독립적으로 클러스터 내에서 타이밍을 유지한다. 그러나 마스터가 더 이상 마스터로서 타이밍 패킷을 제공할 수 없을 때 클러스터는 해체되며 변경된다. 펌토셀 기지국은 보유한 네이버 리스트 내의 다른 PTP마스터로의 동기원 전환을 하게 된다. 클러스터의 개념이 짧은 네트워크 거리를 기준으로 형성되는 독립된 소규모 네트워크로서 낮은 패킷 지터 성분과 적은 수의 타이밍 패킷으로 인한 네트워크 부하 감소 그리고 분산화를 통한 트래픽 집중화를 피할 수 있는 장점을 가진다.

하이브리드 서버는 네트워크 상에 모든 GNSS에 동기된 마스터에 대한 정보를 수집한다. 이후 네트워크 상에 클라이언트로부터 요구를 받는 경우 이를 가공하여 네이버리스트를 생성하여 제공하게 된다. 각각의 하이브리드 클라이언트는 동시에 복수의 마스터와 복수의 슬레이브를 가질 수 있으며 다중화 (redundancy) 구조를 통해 끊임 없는 동기 품질을 제공할 수 있다.

4.2.5 클러스터링을 통한 네트워크 확장성

AGNSS-PTP 하이브리드의 성능은 AGNSS와 PTP 각각의 특성을 그대로 수용하며, 기존 PTP를 이용하였을 때 필요한 서버의 수에 비하여 하이브리드 구조에 의해서 얼마나 많은 서버의 수를 줄일 수 있는지에 대해서 알아보기 위해 아래와 같은 조건으로 시뮬레이션을 진행 하였다.

[조건]

- (1) AGNSS 수신기의 수신 가능 레벨은 일반 사무실 환경에서 -148 dBm으로 정의
- (2) 펌토셀 기지국 수 : 100,000
- (3) 클러스터 사이즈 :  $S_c = 2, 3, 4, 5, 6, 7$  or  $8$
- (4) 서버 수 (Estimated) :  $N_s$
- (5) Blanket 클러스터가 될 확률 :  $P = (1 - P_f / 100) S_c$  (한 클러스터 내에 있는 모든 펌토셀 기지국이 AGNSS에 의해 측위에 실패할 확률)
- (6) 서버 용량 : 500 클라이언트

동일한 클러스터 내 모든 펌토셀 기지국은 네트워크 거리 (Hops) 측면에서 서로 인접하였다고 가정하고, 동적 클러스터링은 적용하지 않는다. 그림 5는 클러스터 사이즈별 AGNSS의 시나리오 조건에 따라서 필요한 서버의 수를 표시하였다. 필요한 서버의 수는 AGNSS의 측위 확률에 따라 크게 변동한다. 아주 복잡한 도심의 콘크리트 오피스 또는 금속성분이 포함

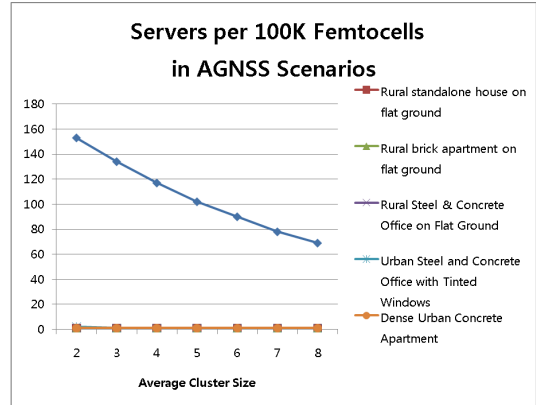


그림 5. Servers for 100k Femtocells in AGNSS scenarios

된 도료가 칠해진 창문에 의한 높은 신호 감쇄의 경우를 제외하고 대부분의 도심이나 외곽에서 AGNSS-PTP 하이브리드는 필요한 서버의 수를 줄이는데 좋은 성능을 보여준다. 대략 100K의 펌토셀 기지국에 주파수 및 위상 동기까지 제공하기 위해서는 약 200개의 PTP 서버 (그랜드마스터) 가 필요하다. 이 때, PTP 서버는 500개의 클라이언트에게 시간정보를 제공 가능하다. 클러스터 내부에 있는 모든 펌토셀 기지국간에 독립적으로 동기화가 되어 있다면, PTP 서버 (그랜드마스터)는 필요하지 않다. 그러나, 특정 지역에서 아주 약한 GNSS의 신호들만 존재하는 경우 낮은 측위 확률로 인해 이 지역에 타이밍 정보를 제공할 외부 서버가 필요할 수도 있다. 그림 5는 GNSS 신호 수신 확률에 따라서 필요한 서버 수에 대한 시뮬레이션이다. 이 결과는 아주 복잡한 도심의 콘크리트 오피스 또는 도료가 칠해진 창문에 의한 높은 신호 감쇄의 경우를 제외하고 나머지 경우에 대해서 클러스터링의 유효성을

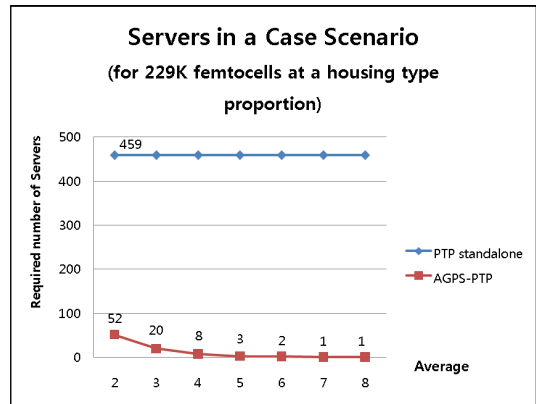


그림 6. Required number of Servers Compared to PTP standalone

표 6. Housing in Seoul, KOSIS

	Rural Standalone house	Dense Urban Apartment	Rural Brick Apartment	Total
# of Households	455,877 (20%)	1,258,658 (55%)	577,379 (25%)	2,291,894
Assumed Fix probability	90%	60%	70%	

확인할 수 있게 해 준다

그림 6의 경우 PTP를 사용할 때 필요한 서버의 수와 AGNSS-PTP 하이브리드를 사용하였을 때 필요한 서버의 수를 비교하였다. 이 시뮬레이션은 2005년에 발표된 서울의 집 구조에 대한 조사를 바탕으로 이루어졌다. 서울에 있는 인구 중 10%(약 230K)의 사용자가 펠토셀 기지국을 집에 설치한 것으로 가정하였다. (외곽 단독주택 : 20%, 도심 콘크리트 아파트 : 55%, 외곽 벽돌 아파트: 25%). 표 6에서 가옥의 구조 및 AGNSS 신호를 수신할 확률을 정의하였다. PTP를 사용할 경우 필요한 서버의 수는 459개이지만, AGNSS-PTP 하이브리드에 필요한 서버의 수는 클러스터의 수에 따라서 1 ~ 52개이다.

### 4.3 Hybrid 기술의 이점 및 기대효과

AGNSS-PTP 하이브리드 타이밍이 갖는 이점은 다음과 같다.

1. AGNSS-PTP 하이브리드 타이밍은 각각의 AGNSS와 PTP가 갖는 단점을 보완한다. PTP는 GNSS가 갖는 RF환경에 대한 의존성을 보완한다. 다른 한편으로 GNSS는 PTP가 갖는 네트워크에 대한 의존성을 보완함으로써 상호 보완하는 구조를 갖는다.
2. 하이브리드 구조는 그 자체로 redundancy 개념을 가지고 있으며, PTP 마스터가 다중화 구조를 가지기 때문에 이를 통해 동기 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다.
3. 클러스터링을 통한 분산화 된 네트워크 구조는 기본적으로 마스터와 슬레이브 간의 네트워크 거리를 줄여준다. 이는 PTP서버의 위치에 대한 자유도를 향상시키는 결과를 얻을 수 있다
4. PTP서버의 용량 증대에 대한 필요성을 감소시킨다.
5. 클러스터링을 통한 마스터와 슬레이브 간 네트워크 거리가 줄어들어 따라 PDV에 대한 영향도가 줄어들어 전체적으로 PTP를 통한 동기 성능이 향상되는 효과를 얻을 수 있다.

6. PDV영향이 줄어들어 따라 단위시간당 타이밍 패킷을 줄여 네트워크 부하를 줄일 수 있을 뿐 아니라 오실레이터의 비용을 낮출 수 있는 가능성을 제공한다.
7. 분산화된 네트워크는 또한 서버로 트래픽이 집중화되는 것을 회피하는 효과를 얻게 된다.
8. 분산화된 네트워크는 이상적인 경우 클라이언트가 서버와 연결성을 형성하지 않는다. 서버는 GNSS의 수신이 불가능하고 클러스터링에 실패한 소수의 펠토셀 기지국에 대한 보완 개념을 갖게 된다. 따라서 서버 설치 및 운용에 필요한 CAPEX와 OPEX 비용을 크게 줄일 수 있다.
9. PTP는 네트워크의 종류 및 특성에 민감하나 이는 네트워크에 따라 PDV영향이 다르게 나타나기 때문이다. 그러나 분산화된 네트워크는 PDV영향을 개선함으로써 네트워크의 종류와 특성에 따른 민감도를 완화시켜주는 장점이 있다.

### 4.4 표준화 고려사항

펠토셀 기지국은 실내에 설치되어 사용될 경우, 유, 무선 AP 기능을 담당하는 홈 게이트웨이와 함께 사용되거나, 홈 게이트웨이의 기능이 펠토셀 기지국에 통합된 형태로 사용될 수 있다. 홈 게이트웨이는 유·무선의 액세스 망과 실내 망을 연결하여 초고속 인터넷 서비스 또는 실시간 멀티미디어 서비스를 제공할 뿐 아니라 실내 자원의 공유 및 홈 시큐리티 기능의 편의성 및 보안성을 제공한다. 이를 위해 홈 게이트웨이는 기본적으로 인터넷 공유, NAT나 방화벽과 같은 보안 정책 및 프로토콜 변환 기능 등을 포함하고 있다. 이러한 NAT 및 방화벽 기능은 실내 망을 유·무선의 액세스 망으로부터 보호하는 기능을 제공하지만, PTP 관점에서는 펠토셀 기지국과 PTP서버와의 엔드 투 엔드 연결을 막는 역할을 하게 된다. 일반적으로 PTP Packet은 UDP/IPV4에 캡슐화되어 전송이 되며, 메시지의 종류에 따라서 319, 320의 UDP port number를 사용하게 된다. IEEE Std 1588TM-2008 표준의 Annex E에서는 PTP 서버로부터 각 클라이언트로 전송되는 PTP 메시지는 반드시 319, 320만을 UDP destination port number로 사용하도록 규정되어 있다. 이는 각 클라이언트가 보낸 PTP 메시지가 홈 게이트웨이의 NAPT (Network Address Port Translation)에 의해 UDP source port number가 변경이 되어 PTP 서버에 전달이 되더라도 (ex. 319 -> NAPT -> 321) PTP 서버는 항상 319, 320의 UDP destination port number로 PTP 메시지를 클라이언트로 보내게 된다. 이는 서

버가 보낸 PTP 메시지가 홈 게이트웨이의 NAPT/방화벽을 통과하지 못하도록 함으로써 통신이 불가능하게 할 수 있다. 따라서 펠토셀 기지국에서 PTP 메시지가 NAT를 통과하기 위해서 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다

#### 4.4.1 UDP Destination Port Number의 확장

RFC5905에 규정된 NTP의 경우, UDP destination port number는 일반적으로 123을 사용하지만, 또한 수신된 NTP 메시지의 UDP source port number를 사용할 수 있도록 정의되어 있다. 이를 통하여 NTP는 NAPT를 통과할 수 있으며, 현재 공중망에서 널리 사용되고 있다. PTP의 경우 UDP Destination Port number가 일반적으로 319, 320을 사용하도록 되어 있다. NTP와 마찬가지로, 수신된 PTP 메시지의 UDP source port number를 사용할 수 있도록 변경되도록 IEEE 1588 관련 표준에 제안이 요구된다.

#### 4.4.2 IPsec을 통한 NAT 통과

앞서 언급한 바와 같이, IPsec은 펠토셀 기지국과 같이 공중망을 백홀로 사용하는 이동통신 시스템에서 보안을 강화하기 위하여 사용하도록 규정되어 있다. 하지만, 현재 TICTOC에서 논의 중인 IPsec은 확장된 ESP 터널 모드를 사용하여 BC가 IPsec이 적용된 PTP 메시지를 인식 가능하도록 논의 중이다. 하지만, ESP 터널 모드의 경우 NAPT가 적용된 홈 게이트웨이를 통과하는 것이 불가능하므로 ‘UDP Encapsulation of IPsec ESP tunnel mode’를 사용할 것을 제안하며, 이는 동시에 UDP port 변환 없이 NAT 통과를 가능하게 할 수 있다.

#### 4.4.3 분산 형 네트워크

앞에서 설명한 분산 형 네트워크 구조의 동기 획득의 이점을 고려하여 AGNSS-Packet Timing이 가능하게 하기 위해서는 펠토셀 기지국은 PTP 마스터 또는 PTP 슬레이브로 전환이 가능한 것을 허용해야 한다. 즉, 마스터는 항상 마스터로 유지되어야 하며 슬레이브는 항상 슬레이브로 유지되어야 하는 것으로 명시하지 않아야 하며 IEEE1588에서 기술된 BMCA (Best Master Clock Algorithm)가 동적으로 이루어질 수 있도록 허용돼야 할 것이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 주로 논의되고 있는 펠토셀의 동기 획득 방안의 특징과 기술적 장, 단점을 비교하고 펠토

셀의 설치환경을 고려하여 실내 환경의 특수성과 펠토셀의 연결성을 제공하는 네트워크 측면에서 AGNSS-Packet Timing 하이브리드의 개념과 필요성을 설명하였다. 또한 AGNSS-Packet Timing을 구성하는 PTP와 NTP를 비교하고 이와 관련된 표준화 동향을 살펴 보았다. 마지막으로 제안된 AGNSS-Packet Timing 하이브리드를 통해 얻을 수 있는 효과 및 기대 이익을 설명함으로써 관련 표준화 추진 방안에 대한 타당성을 제시하였다. 앞에서 살펴본 내용처럼 AGNSS-Packet Timing 하이브리드는 실내 환경에서의 동기 획득이 우수하며 네트워크의 의존성을 줄이고 서버와 클라이언트의 비율을 크게 향상시킬 수 있는 매우 우수한 장점을 가진다. 또한 이 방안은 제안된 시나리오를 피코셀 기지국 및 매크로셀 기지국, MHR, 중계기 등에 적용함으로써 관련 제품 및 산업에 매우 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 이를 가능하게 하기 위해, 관련 표준 규격 틀에 AGNSS-Packet Timing 하이브리드가 가능하도록 분산 네트워크 구조와 텔레콤 프로파일에 해당 개념이 포함되도록 해야 할 것이다. 특히 NAT를 사용하는 ResNet (Residential Network)에서의 문제점과 펠토셀 기지국이 BC 노드로서 동작하는 것을 포함하도록 하는 구조에 대한 제안이 이루어져야 할 것이다. 본 연구를 통해 도출한 결과를 바탕으로 ResNet에서의 성능 및 효과를 검증하였으나 향후 보다 다양한 실내 환경 조건을 고려하고 보다 다양한 네트워크에서 시험을 확대하여 제안될 기술의 효과를 추가 검증할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 3GPP2 C.S0002-E v2.0, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum System, Sept, 2009
- [2] 3GPP TS25.104 Base Station(BS) radio transmission and reception (FDD), Jun, 2011
- [3] 3GPP TS36.104, Base Station(BS) radio transmission and reception, Jun, 2011
- [4] 3GPP TS25.402, Synchronization in UTRAN Stage2, Jun, 2011
- [5] 3GPP TR25.866, 1.28Mcps TDD Home NodeB (HNB) Study item technical report, Dec, 2009
- [6] 3GPP TS36.133, Requirements for support of radio resource management, Jun, 2011
- [7] “Standards update - IEEE 1588”, The 6th Time & Synchronization in Telecoms Conference,

Silvana Rodrigues, Nov, 2008

- [8] V.Chandrasekhar, J.G. Andrews, and A.Gatherer, "Femtocell networks: a survey," IEEE Commun. Mag., vol 46, no.9, pp.59-67, Sept. 2008
- [9] Femtocell Synchronization and Location - A femto forum white paper, Femto Forum
- [10] NIST Construction automation program Report No.3, Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials

**김 정 훈**



1991년 성균관대학교 전자공학  
학사  
1998년 한양대학교 공학석사  
2001년~현재 LG-ERICSSON  
CN R&D Center

**이 지 훈**



1999년 연세대학교 전기공학  
학사  
2001년 연세대학교 공학석사  
2001년~현재 LG-ERICSSON  
CN R&D Center

**신 준 효**



2001년 연세대학교 전자공학  
학사  
2001년~현재 LG-ERICSSON  
CN R&D Center

**정 석 중**



1989년 조선대학교 전자공학  
학사  
2007년 고려대학교 통신시스템  
기술 석사  
1989년~현재 LG-ERICSSON  
CN R&D Center