

# 5G 망에서 Data Call Setup E2E Latency 분석

## Analysis of E2E Latency for Data Setup in 5G Network

이 홍 우<sup>1</sup>                      이 석 필<sup>2\*</sup>  
Hong-Woo Lee                Seok-Pil Lee

### 요 약

최근 상용화된 5G 이동통신의 주요한 특징은 High Data Rate와 Connection Density 그리고 Low Latency로 대표할 수 있는데, 이 중 기존 4G와 가장 차별되는 특징은 Low Latency로 다양한 새로운 서비스 제공의 기반이 될 것이다. 이러한 특징을 활용한 서비스로는 AR, 자율주행 등이 검토되고 있으며 관련표준에서도 5G Network Latency 논의를 진행하고 있다. 그러나 서비스 관점의 E2E Latency 논의는 많이 부족한 것이 사실이다. 5G에서 Low Latency를 달성을 위한 최종목표는 RTD 기준 Air Interface 1ms 달성으로 이는 '20년 초 Rel-16을 통한 URLLC(Ultra-reliable Low Latency Communications)를 통해 가능하며, 추가적으로 MEC(Mobile Edge Computing)를 통한 Network latency 감소도 연구 중이다. 전체 5G E2E Latency는 5G Network 관련 외에도 다양한 요인이 존재하는데, 주요 요인으로는 5G Network과 서비스 제공을 위한 IDC Server 사이의 경로에 놓인 선로/장비 Latency, 단말 App과 Server 내 서비스 처리를 위한 Processing Latency 등이 존재한다. 한편, 서비스 초기 Setup을 위한 Latency와 서비스가 지속 중인 경우의 Latency를 구분하여 세부 서비스 요구사항에 대하여 연구하는것도 필요한데, 이를 위해 본 논문에서는 서비스 초기 Setup과 관련하여 다음과 같은 세가지 요인에 대하여 검토를 진행하였다. 첫째로 ① Data호 Setup시에 발생 가능한 Latency, 둘째 전력 효율화를 위한 ② CRDX On/Off에 따른 영향, 마지막으로 ③H/O가 발생하는 경우에 Latency에 대하여 Latency에 미치는 영향을 실험과 분석을 제시했다. 이를 통해 우리는 Low Latency가 필요한 서비스의 초기 Setup시에 Latency와 관련된 서비스 요구사항 및 기획에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

☞ 주제어 : Latency, 5G, CRDX(Connected mode Discontinuous Reception), RTD(Round Trip Delay)

### ABSTRACT

The key features of 5G mobile communications recently commercialized can be represented by High Data Rate, Connection Density and Low Latency, of which the features most distinct from the existing 4G will be low Latency, which will be the foundation for various new service offerings. AR and self-driving technologies are being considered as services that utilize these features, and 5G Network Latency is also being discussed in related standards. However, it is true that the discussion of E2E Latency from a service perspective is much lacking. The final goal to achieve low Latency at 5G is to achieve 1ms of air interface based on RTD, which can be done through Ultra-reliable Low Latency Communications (URLLC) through Rel-16 in early 20 years, and further network parity through Mobile Edge Computing (MEC) is also being studied. In addition to 5G network-related factors, the overall 5G E2E Latency also includes link/equipment Latency on the path between the 5G network and the IDC server for service delivery, and the Processing Latency for service processing within the mobile app and server. Meanwhile, it is also necessary to study detailed service requirements by separating Latency for initial setup of service and Latency for continuous service. In this paper, the following three factors were reviewed for initial setup of service. First, the experiment and analysis presented the impact on Latency on the Latency in the case of 1 Data Lake Setup, 2 CRDX On/Off for efficient power, and finally 3H/O on Latency. Through this, we expect Low Latency to contribute to the service requirements and planning associated with Latency in the initial setup of the required services.

☞ keyword : Latency, 5G, CRDX(Connected mode Discontinuous Reception), RTD(Round Trip Delay)

## 1. 개 요

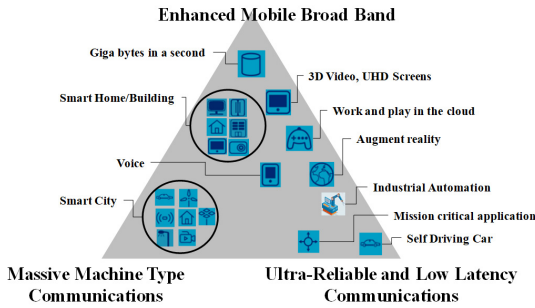
지난 수십 년간 이동통신은 음성, 영상통화, 고속데이터 등을 제공하면서 세대를 지속 발전해 왔다. 최근에는 5G가 등장하면서 새로운 전환점을 맞고 있다. 5G는 '18년 4월 영국 주파수 경매를 시작으로 전 세계적으로 사업화를 위해 노력하고 있는데 국내의 경우에도 '18년 6월 주파수 경매를 시행하고 마침내 '19년 4월 세계 최초 5G

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, 03016, Korea.

<sup>2</sup> Department of Electronics Engineering, Sangmyung University, Seoul, 03016, Korea

\* Corresponding author (esprit@smu.ac.kr)

[Received 29 August 2019, Reviewed 23 September 2019, Accepted 15 October 2019]



(그림 1) 5G서비스 시나리오  
(Figure 1) 5G service scenario

상용화를 진행하였다.

그러나 현재 상용 표준은 Rel-15 NSA(Non Stand Alone)로 '20년 표준화예정인 Rel-16를 통해 비로소 5G 망의 중요한 기술적 특징인 High Data Rate, Connection Density, Low Latency가 완성될 것으로 기대되며, 이러한 5G의 서비스 시나리오와 특징을 그림1에 나타냈다.[1]

그림 1의 3가지 특징 중 가장 큰 차별화된 특징은 URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency)로, 이를 구현하기 위해 5G에 적용된 주요 변화는 Air Interface에 다양한 기술의 반영과 MEC(Mobile Edge Computing)의 도입이라 할 수 있다.

이러한 5G Low Latency를 활용하여 새로운 서비스 제

공이 가능한 분야는 Smart Factory와 ITS(Intelligent Transportation Systems), Robot 및 Tele-presence, VR/AR, Health Care, Tactile Internet 등이며, 서비스 시나리오에 따른 Data Rate, Latency, Reliability 등 요구사항을 표 1에 나타내었다.[2]

표 1에서 정의된 Latency 요구사항은 서비스 측면을 고려하여 E2E Latency를 기술한 것으로 이는 실제 5G 표준에서 논의되는 Network Latency와는 차이가 존재한다. 왜냐하면 5G 표준화에서 다루는 Latency는 단말 App단에서부터 Core Gateway 까지만 정의할 수 있으며, 서비스 전체 E2E Latency는 단말/서버 내 Processing Latency, 외부 유선구간 Latency 등도 함께 고려해야 하며, 추가로 단방향이 아닌 양방향 Latency 형태를 고려해야 한다.

또한 Latency는 CP(Control Plane)과 UP(User Plane) 측면으로도 연구가 필요한데, CP Latency는 초기 서비스 시작하는 경우나 idle 모드 wakeup 등에 해당되며, UP Latency는 서비스가 지속되는 상황에 해당되며, 전체적인 Latency에 대한 연구를 위해서는 CP와 UP 측면으로 나누어 분석할 필요가 있다.

CP Latency는 특정한 서비스호가 처음 Setup 되거나 중간에 단말이 idle 상태로 천이/복귀하거나 단말 배터리 절약을 위하여 CDRX(Connected mode Discontinuous Reception)를 사용하는 경우, 그리고 H/O 발생하는 경우 등 일정부분 무선 자원을 풀어주었다가 다시 Setup 하는

(표 1) 낮은 Latency 서비스 예시 및 요구사항  
(Table 1) Examples and requirements for low latency service

사용 예시	Latency (ms)	Data Rate (Mbps)	비고
공장 자동화	0.25 ~ 10	1	원격 조정/동작을 위해 낮은 Data rate 가짐 정밀한 기계장치 조정 0.25ms Latency 필요
지능형 교통시스템	10 ~ 100	10 ~ 700	안전을 위해 ITS는 10ms 수준 Latency 필요 가상 거울 App은 700Mbps 까지 속도 필요
로봇, Telepresence	1	100	물체를 터치하는 것에 1ms 지연 요구 VR 촉각 감지/동작을 위해 100Mbps 필요
VR	1	1,000	고감도 360 VR 1ms Latency와 1Gbps가 필요
Health Care	1 ~ 10	100	원격 진단/수술은 100Mbps, 1ms Latency 필요
게임	1	1,000	고감도 시각화 및 인간 상호작용을 위해서 1ms와 1Gbps가 필요
Smart Grid	1 ~ 20	0.01 ~ 1.5	Smart Grid 동작은 1ms 수준의 Latency 필요 넓은 영역 상황인지를 위해서 1500kbps 필요
교육, 문화	5 ~ 10	1,000	촉각인터넷은 5ms 지연 필요 고밀도 360 촉각 VR은 1Gbps 속도 필요

경우 발생된다.

UP Latency는 서비스가 Setup된 이후, 서비스가 지속되는 상태에서 발생하는 Latency로 일반적인 서비스 Latency를 대표하는 특성으로, 일부 서비스 제공업체는 서비스에 따라 E2E Latency 요구기준을 제시하는 경우도 존재한다. 이러한 이유로 UP Latency에 대한 연구는 비교적 활발하나, 아직 CP Latency에 대한 연구는 부족한 것이 사실이다.

다만, 3GPP TS23.501 [3]에는 전체적으로 CP Latency에 대한 간략한 권고를 제시하고 있는데, 이는 Data호 Setup Time, CDRX 등이 발생하는 경우 1st Packet의 추가 Delay는 320ms 이내에 전송되어야 한다는 내용으로 구체적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 CP Latency 분석에 중점을 두고, 실험을 통해 ① 초기 Data 호 Setup ② CDRX ③ H/O가 발생하는 경우에 대한 Latency를 수치적으로 검증하였다.

이를 통해 향후 5G를 활용한 낮은 Latency 서비스의 초기 Setup 요구사항 등을 도출하는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 관련 연구

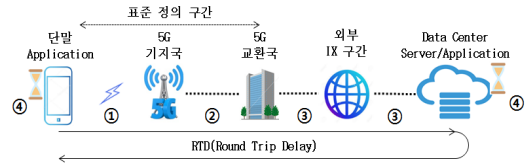
### 2.1 5G 표준화 동향

그림 2는 5G 서비스를 위해서는 전체 E2E Latency를 보여주고 있다. 실제 서비스는 단말에서 메시지를 전송하면 이를 받아 서버에서 응답을 하는 형태로 진행하게 되는데, 이러한 전반의 과정을 고려한 Latency가 바로 E2E Latency 이다.

따라서 E2E Latency는 단방향이 아닌 App과 Server의 Processing Latency를 포함한 RTD(Round Trip Delay)를 의미한다.

그림 2에서는 E2E Latency가 발생하는 요인/영역에 따라 ① 단말부터 기지국까지 Air Interface 영역, ② 기지국에서 교환국까지 영역, ③ 외부 망 전송 영역, ④ 단말 Application과 Server의 처리 영역으로 구분하였다. 5G 표준에서 기준을 제시할 수 있는 영역은 ①, ② 영역이다.

또한 E2E Latency 중 차지하는 비중을 영역별로 보면 해외에 Server가 위치하는 경우 ③ 영역이 가장 많은 비중을 차지하게 된다. 실제로 ③ 영역은 Server의 위치 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 예를 들어 LTE에서 Server가 미국에 있는 경우에는 RTD 기준으로 ③ 영역에서 발생



(그림 2) E2E Latency  
(Figure 2) E2E Latency

되는 Latency가 200ms 이상이 되기도 한다.

④ 영역은 서비스 제공 사업자의 영역으로 App과 Server를 얼마나 효과적으로 설계하였는지에 따라 달라져 서비스 별 차이가 크다. 따라서 이 영역은 표준에서 다루기에는 적합하지 않으며, 이와 관련하여 일부 서비스 예시에 대한 제시된 기준을 본 장의 마지막 절에 소개하였다. 실제 서비스 별 허용되는 ④ 영역 Latency는 다양하나 전체 E2E Latency를 감안한 비중을 검토하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

실제로 5G 표준에서 다루고 있는 Latency는 ①, ② 영역이 주요한 관심사이다. LTE의 경우 ① 영역 Latency는 RTD기준 30ms 이상으로, 5G에서는 URLLC 도입을 통해 최종적으로 최대 1ms까지 획기적으로 줄이는 것을 목표로 하고 있다. [4]

② 영역은 통신 사업자의 망 구조와 물리적 전송거리에 따라 Latency가 달라지는 영역으로, 5G에서는 외부 영역인 ③과 연계하여 Latency를 획기적으로 단축시켰다.

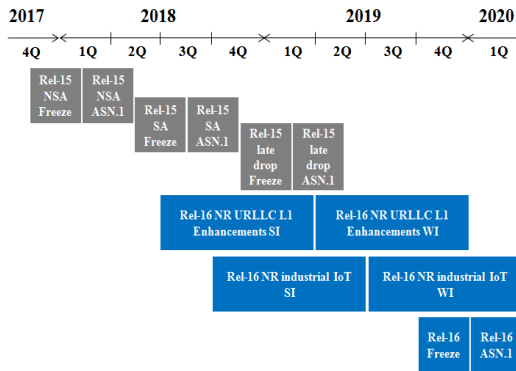
이는 Server의 위치를 사업자 망 내부 Edge까지 이동시켜 ②, ③ 영역의 Latency 불확실성을 제거하고 최소화시킨 것으로 이러한 개선된 망 구조를 MEC(Mobile Edge Computing)라고 부르며 URLLC와 함께 Rel-16에서 표준화 될 예정이다.

### 2.2 URLLC

앞장 표 1에서 살펴본 5G서비스는 Air Interface에서 20ms 이상 Latency가 발생하는 LTE에서는 서비스 제공이 어렵다. 5G는 이러한 부분을 해결하기 위해 Air Interface에 다양한 기술을 적용하였다.[2]

이를 통해 5G Air Interface Latency는 Rel-15(eMBB)에서 RTD 기준으로 8ms, Rel-16(URLLC 적용)에서는 최종적으로 1ms 달성을 목표로 하고 있다.

URLLC는 3GPP SA1에서 Rel.15 TS22.261 [4]를 통해 최초 서비스 시나리오와 성능요구사항을 정의하였으며, 현재는 Rel-16 표준화 작업을 위해 사례 개선 및 엄격한



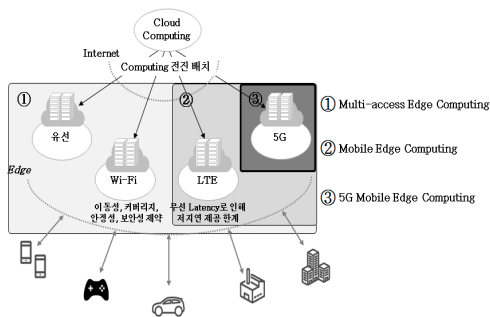
(그림 3) URLLC 표준 일정  
(Figure 3) URLLC standards schedule

Latency 요구사항을 가진 응용에 대한 Study/Work Item이 진행 중이다. 이와 관련한 Rel-16 표준화 일정은 그림 3과 같다.[5]

### 2.3 MEC

5G가 상용화 되면서 표준화를 통한 5G Air Interface Latency를 줄이고자하는 많은 노력이 있었으나, 실제 전체 E2E Latency 측면을 고려하면 망 구조 변화를 통한 Latency 감소효과가 상대적으로 큰 것이 사실이다.

그림 4는 5G를 포함한 데이터 통신의 중단에서 Computing을 제공하는 다양한 형태의 MEC(Multi-Access Edge Computing)의 개념에 대하여 설명하고 있다.



(그림 4) MEC 개념  
(Figure 4) MEC concept

MEC는 고객 단말과 가까운 위치(Edge)에 Computing 환경을 구축하여, 초 실시간, 위치/보안 등 Low Latency 서비스를 제공하기 위한 기술이다.

그림 4에 나타난 바와 같이 MEC는 다양한 의미로 사용되고 있는데, 최근에는 Multi-Access Computing이라는 넓은 개념이 널리 사용되고 있다. 다만 본 논문에서는 5G에 국한하여 MEC를 검토하므로 MEC의 정의를 ③ 5G Mobile Edge Computing으로 범위를 제한하였다.

5G에서는 MEC 도입을 통하여 Server를 통신사업자 망 Edge로 가져와 분산형 실시간 컴퓨팅 환경을 구성하고, 전송거리를 단축하여 Latency와 Jitter나 Loss를 감소시키도록 하였다.

또한 이러한 특성을 활용하여 보안을 강화하고 통신 환경 정보 등을 API 형태로 제공하는 새로운 서비스를 가능하게 하였다.

이러한 변화는 기존 유선에서 IDC/Cloud와 같이 backhaul 자원의 감소라는 추가적인 장점도 얻게 된다.

### 2.4 E2E Latency

서비스를 제공받는 사용자 입장에서는 단말 App과 Server의 Processing Latency를 포함한 전체 E2E Latency가 중요하다.

App과 Server의 Processing Latency를 줄이고자 하는 노력은 주로 서비스 제공자에 의하여 이루어지는데, 현재 까지 대부분의 서비스는 기존 LTE 망 구조와 Latency를 기반으로 서비스를 만들어 왔기 때문에 낮은 Latency에 대한 구체적인 요구가 많지 않은 것이 사실이다

이를 위해 일부 서비스 제공자는 이를 위한 E2E Latency 기준도 제시하고 있는데, 향후 점차 고도화 되는 다양한 서비스를 감안하면 점차 이와 관련한 연구가 많아질 것으로 기대된다.

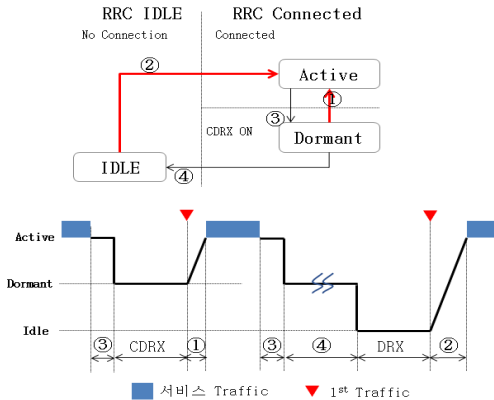
### 3. 실험 결과 및 분석

최초 Setup시에 발생하는 CP Latency를 이해하기 위해서는 단말 전력소모를 줄이고 무선자원을 아끼기 위하여 만들어진 3가지 단말 모드에 대한 이해가 필요하다.

그림 5에 나타난 바와 같이 단말은 무선자원을 할당 여부에 따라 크게 Active, IDLE 그리고 Dormant 모드로 구분된다.

단말이 배터리 소모 감소를 위하여 CDRX(Connected Mode Discontinuous Reception) 기능을 ON한 경우는 그림 5와 같이 ③ 일정기간(CDRX Inactivity Timer) Traffic이 발생되지 않으면 Dormant 모드로 전환되는데, LTE의 경우에도 이수치가 200 ms 수준이다. Dormant Mode로 전

환 후 단말은 Traffic이 발생되거나 주기적으로 깨어나 Packet 처리를 하게 되는데 ① 번 구간이 이에 따른 Latency로 에 해당되며, CDRX 동작에 따른 Latency가 실제적으로 발생하는 부분이다.



(그림 5) 단말 상태 천이 및 Latency  
(Figure 5) Client state transition and latency

또한 단말은 ④ Inactivity Timer 경과 시 Idle 상태로 전환되게 되는데, 이런 상황에서 Data 호를 시도하게 되면 무선자원을 할당을 받기 위한 Data Call Setup이 새롭게 진행되는 ②이 구간이 Data Call Setup에 의한 발생하는 Latency이다.

추가적으로 H/O가 발생하는 경우도 무선자원을 새로 할당 받아 초기 Data call setup과 유사하나, 현재 상용화된 5G는 NSA(Non Stand Alone) 방식으로 LTE Core Network를 사용하게 되고, 초기 5G 커버리지가 넓지 않은 경우에 단말은 H/O 발생 시, 5G NR의 Add/Remove 하는 추가 동작이 발생되어 LTE 대비하여 추가 H/O

Latency를 야기한다.

즉 5G/LTE Coverage에 따라 단말은 5G 망이 없는 지역에서는 LTE로 H/O를 수행하게 되는데 이때 단말 5G 지원여부 확인 및 5G 망 Add/Remove 현상이 발생되고 이러한 동작이 추가적인 Latency 발생의 원인이 된다.

다음 절에서 우리는 CP Latency 영역의 주요 Latency 발생 원인인 ① Data Call Setup Latency, ② CDRX Latency, 그리고 ③ NSA H/O에 대해 대하여 세부적으로 소개할 것이다.

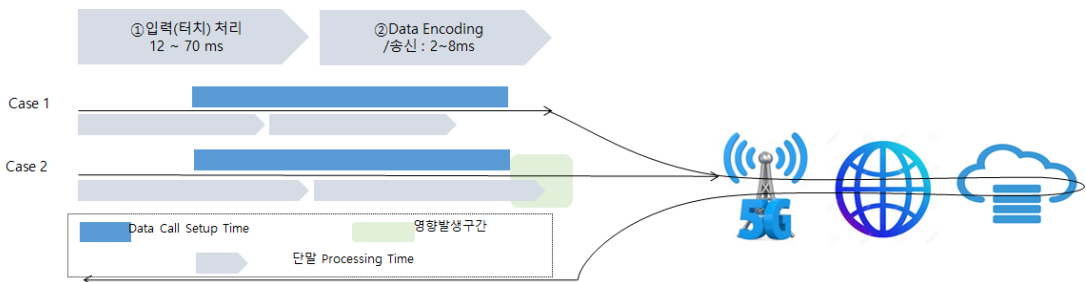
### 3.1 Data Call Setup Latency

실험을 통해 현재 5G 망(NSA Rel-15)과 단말에서 Data Call Setup Latency는 평균 50ms 수준이며, 단말 App Processing Latency에 따라 Data Call Setup Latency가 서비스에 영향을 줄 수 있는 것을 확인하였으며, 이를 그림 6에서 설명하였다.

그림 6는 단말 내에서 관련내용을 도식화 한 것으로 단말 App에서 Processing에 50ms(Data Call Setup Latency) 이상이 소요되는 Case 1은 서비스영향이 없게 되나, 사용되는 App이 매우 빠르게 동작하는 Case 2와 같은 경우는 영향을 받게 됨을 알 수 있다.

이는 개별 App의 Processing Time이 초기 Setup Time 미만인 경우에는 서비스에 영향을 미칠 수 있다는 것을 나타내며, 일반적인 경우 복잡한 서비스일수록 영향의 가능성은 적다는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 현재 제공되는 서비스는 초기 Setup 시에 Processing Time이 상당히 큰 경우가 많아 문제가 되지 않지만, 향후 Low Latency가 필요한 Mission Critical한 서비스의 초기 Data Call Setup 시에는 이에 대한 고려가 필요하다.



(그림 6) Data Call Setup Latency 영향  
(Figure 6) Data Call Setup Latency effect

### 3.2 CDRX Latency

CDRX Latency는 단말 배터리 사용 감소를 위해 사용되는 CDRX 기능을 사용하는 경우 Dormant 모드에서 Active Mode로 전환 시 발생하는 Latency이다.

측정결과 CDRX Latency는 0~11ms 수준임이 확인 되었으며, 이러한 수치는 다른 Latency 수치에 비해 비교적 적은 수치로 판단된다.

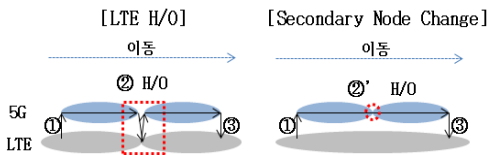
다만 상용망에서 CDRX 기능을 OFF 하는 것은 망 사업자 입장에서는 고려되기 어려운 환경으로 Latency Critical 서비스를 위해서는 선별적으로 기능을 OFF 하는 방안을 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 H/O Latency

현재 상용화된 5G NSA 시스템은 LTE Core Network을 사용하는 구조를 가지고 있다. 이러한 구조는 LTE에서 5G로의 매끄러운 변화와 경제성 그리고 초기 완벽하지 않은 5G 커버리지 보안을 위해 적합한 구조이다.

다만, 그림 7에서 보는 바와 같이, 5G 단말은 5G가 존재하지 않는 지역에서 LTE를 사용하다가 5G 망이 존재하는 지역에 진입하는 경우에는 5G로 천이(구간①)되고, 다시 5G가 존재하지 않는 지역에서는 LTE로 천이(구간③) 되게 된다.

이 때 H/O가 필요한데 5G 기지국을 바로 연결할 수 없으면 직접적인 5G H/O(구간②)를 수행할 수 없게 되어 LTE로 변경하였다가 다시 5G로 접속되는 현상(구간②)이 발생되게 된다.



(그림 7) H/O에 따른 단말 천이

(Figure 7) Mobile state transition according to H/O

표 2에서 보는 바와 같이 H/O가 ②와 같이 Secondary Node change되는 경우와 달리 ②' 처럼 LTE로 변경이 발생하는 경우 실제 Traffic이 사라지는 구간이 존재한다. 이러한 구간은 측정결과 100ms 이상으로 상당히 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

(표 2) 5G NR Add/Remove Latency  
(Table 2) 5G NR Add/Remove Latency

구분	구간 ①	구간 ②, ②'	구간 ③
NW	LTE → 5G	② 5G→LTE→5G ②' 5G→5G	5G → LTE
동작	5G NR Add	② H/O+5G NR Add ②' 5G NR Add	5G NR Remove
	5G NR Add/Remove로 Traffic zero 구간 발생		

## 4. 결 론

본 논문에서는 5G Latency 중 CP와 관련된 Latency를 실측하고 이를 바탕으로 전체 E2E Latency에 미치는 영향을 분석하였다.

CP Latency 분석을 위한 시나리오는 ① Data Call Setup Latency와 ② CDRX Latency 그리고 ③ NSA H/O의 3가지를 가정하여 실험 및 분석을 진행하였다.

최초 ① Data Call Setup Latency는 사용하는 단말 App의 Processing Time이 큰 경우에는 영향이 없으나, 50ms 미만의 가벼운 App의 경우는 영향을 받게 됨을 알 수 있었으며, ② CDRX Latency는 11ms 이내로 상대적으로 영향은 적으나 특정 단말에 대한 Off 기능 구현이 필요함을 알 수 있었다. 마지막으로 ③ H/O에 따른 Latency는 수백 ms 이상으로 큰 영향을 줄 수 있으나 5G 망 Coverage가 확대될수록 그 효과는 점차 줄어들 것으로 예상된다.

본 논문은 결과를 바탕으로 서비스 제공자들은 CP와 관련된 Latency 고려에 도움이 될 것으로 생각되며, 이를 통해 새로운 향후 낮은 Latency를 활용하는 새로운 서비스 발굴에 기여할 것을 기대한다.

## 참고문헌(Reference)

- [1] ITU-R M.2083-0, "IMT Vision- Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, 11~12, 2015.  
<https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083-0-201509-I/en>
- [2] Intiaz Parvez and Ismail Guvenc, "A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 4, 3098~3130, 2018.



- <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2018.2841349>
- [3] 3GPP TS 23.501, "5G; System Architecture for the 5G System," Vol.15.2.0, 2018.  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/123500\\_123599/123501/15.02.00\\_60/](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/15.02.00_60/)
- [4] 3GPP TS 22.261, "5G; Service requirements for next generation new services and markets," Vol.15.5.0, 2018.  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/122200\\_122299/122261/15.05.00\\_60/](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122200_122299/122261/15.05.00_60/)
- [5] H.Lee, D.S. Kwon, "Research Trends of Ultra-reliable and Low-latency Machine Learning-based Wireless Communication Technology," ERTI Electronics and Communications Trends, Vol.34, No.3, 93~105, 2019.  
<http://dx.doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340310>
- [6] SKTelecom, SKtelecom 5G Whitepaper, SKtelecom, 2014.  
[https://www.sktelecom.com/img/pds/press/SKT\\_5G%20White%20Paper\\_V1.0\\_Eng.pdf](https://www.sktelecom.com/img/pds/press/SKT_5G%20White%20Paper_V1.0_Eng.pdf)
- [7] NGNM alliance, "NGMN 5G White Paper," 2015.  
<https://www.ngmn.org/work-programme/5g-white-paper.html>
- [8] Agyapong, P. K., M. Iwamura, D. Staehle, W. Kiess, and A. Benjebbour, "Design Considerations for a 5G Network Architecture," IEEE Communications Magazine, Vol.52, No.11, 65~75, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2014.6957145>
- [9] Cristina G.G., Dan A.S., Radu D., "Latency requirement for 5G mobile communications," ECAI2018, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1109/ECAI.2018.8679058>
- [10] Fettweis G., T. Dresden and S. Alamouti, "5G: Personal Mobile Internet beyond What Cellular Did to Telephony," IEEE Communications Magazine, Vol.52, No.2, 140~145, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736754>
- [11] Zhang S., X. Xu, Y. Wu and L. Lu., "5G: Towards Energy-Efficient, Low-Latency and High-Reliable Communications Networks," Proceedings of the 2014 IEEE ICCS, 197~201, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1109/ICCS.2014.7024793>

## ◎ 저 자 소 개 ◎



### 이 흥 우(Hong Woo Lee)

1990년 고려대학교 전자전산공학과(공학사)  
1994년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
2016년 상명대학교 대학원 컴퓨터공학과 수료  
1994년~현재 SK텔레콤 부장  
관심분야 : 5G Architecture, Latency, MEC, AI  
E-mail : crimson0610@gmail.com



### 이 석 필(Seok-Pil Lee)

1990년 연세대학교 전기공학과(공학사)  
1992년 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)  
1997년 연세대학교 대학원 전기공학과(이학박사)  
1997년~2002년 대우전자 영상연구소 선임연구원  
2002년~2012년 KETI 디지털미디어 연구센터 센터장  
2010년~2011년 미국 Georgia Tech 방문연구원  
2012년~현재 상명대학교 융합전자공학과 교수  
관심분야 : 멀티미디어 검색, 방송통신시스템, 인공지능  
E-mail : esprit@smu.ac.kr