

LTE-Advanced 주요 표준화 동향

윤영우

LG 전자

요약

본 고에서는 현재 3GPP 무선 접속 표준화에 대한 기술 논의의 중심에 서 있는 LTE-Advanced 기술에 대한 주요 표준화 동향에 대하여 살펴본다. LTE-Advanced 표준 기술은 3GPP에서 LTE 표준 기술의 후속 기술로 개발 중인 표준 기술이며, 차세대 이동통신 시스템의 국제 표준인 IMT-Advanced 표준 가운데 하나가 될 것이 확실한 표준 기술이다. ITU-R에서는 IMT-Advanced 표준 제정을 위한 일정 및 표준 요구 사항 등을 정의하였으며, 3GPP에서는 이러한 ITU-R의 표준 일정에 맞추면서 IMT-Advanced 표준을 위한 요구 사항을 충족시키기 위한 기술 논의를 진행하고 있다. 본 고에서는 IMT-Advanced 표준에 대한 표준 일정 및 요구 사항에 대하여 알아보고, 이에 대응하여 3GPP에서 진행 중인 LTE-Advanced 표준화 진행 동향에 대하여 살펴본다.

1. 서론

이동통신 기술 표준은 1세대 AMPS 방식에서 시작하여, GSM과 IS-95 표준 등 음성 위주의 2세대 디지털 이동통신 기술을 거쳐 HSPA (High Speed Packet Access)와 1xEV-DO Rev.A 등의 패킷 통신에 보다 적합한 3세대 표준으로 빠른 속도로 눈부시게 발전해왔다.

특히 '04년 중순부터 IEEE에서는 기존의 CDMA(Code Division Multiple Access)를 근간으로 한 이동 통신 시스템

이 아닌 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기법의 결합이라는 새로운 패러다임의 도입을 통하여 데이터 전송 속도와 평균 셀 스펙트럼 효율 등을 증가시키려는 시도를 하였으며, 이 결과로 Mobile WiMAX라고 불리는 802.16e 기술 표준이 완성되었다. Mobile WiMAX 표준 기술은 3GPP와 3GPP2에서의 새로운 이동통신 기술 논의에 대한 도화선이 되었으며, 이에 따라 등장한 표준이 LTE (Long Term Evolution)와 UMB (Ultra Mobile Broadband) 표준이다. 이중 3GPP2의 UMB 표준은 냉혹한 시장 논리에 의해 사장되었으며, 현재 전 세계적으로 LTE와 Mobile WiMAX 사이에 치열한 시장 선점 경쟁이 벌어지고 있는 상황이다.

기존의 3세대 이동통신 기술인 HSPA와 1xEV-DO Rev.A 방식이 CDMA 기술의 진화에 기초를 둔 기술이라면, LTE와 Mobile WiMAX 기술은 OFDM과 MIMO의 결합에 기초하여 만들어진 이동통신 기술이므로, 시장에서는 이 기술들을 4세대 기술이라고 부르기도 한다. 그렇지만, LTE와 Mobile WiMAX 기술은 ITU-R의 기술 분류에 의하면 HSPA, 1xEV-DO 기술과 마찬가지로 여전히 IMT-2000 family 표준으로 구분된다.

하지만, IMT-2000이라는 용어는 통신 시장에 도입된 지 10년 가까이 지난 구시대의 용어로 새로운 시장 수요를 일으키는데 한계를 지니고 있다는 시각이 팽배해지기 시작하였으며, 이에 따라 Mobile WiMAX에 대한 상용화가 시작되고, LTE 표준에 대한 마무리 작업이 본격화되던 '07년 말경부터 새로운 시장 기회를 일으킬 수 있는 마케팅 용어로서 IMT-Advanced라는 새로운 표준 기술에 대한 요구와 논의가

ITU-R을 중심으로 하여 본격적으로 시작되었다. 먼저 '07년 말 WRC' 07 (World Radio communication Conference)을 통해 추가적인 IMT 주파수 스펙트럼이 할당되었으며, 또한 ITU-R의 WP5D를 중심으로 한 논의를 통하여 '08년 중순에는 IMT-Advanced 기술을 위한 주요 작업 일정과 요구 조건 등을 확정하였다.

이러한 움직임에 발맞추어 IEEE와 3GPP 진영에서는 각각 Mobile WiMAX 기술과 LTE 기술을 더욱 발전시켜 IMT-Advanced 표준으로 채택시키려는 노력이 시작되었다. IEEE 진영에서는 802.16m으로 불리는 표준 기술에 대한 논의가 본격화되었으며, 3GPP에서는 '08년 3월 LTE-Advanced study item을 생성하여 이에 대한 연구를 본격적으로 진행하고 있다. 하지만, 3GPP2 진영에서는 UMB가 시장에서 사장된 연유로 인하여 IMT-Advanced 표준에 대응한 특별한 움직임을 보이지 않고 있다. IEEE와 3GPP 양 진영에서는 IMT-Advanced 표준 진행 일정과 요구 조건 등에 상응하여 '09년 10월 ITU-R로의 최종 제안 제출을 완료하였으며, 이 기술들은 향후 ITU-R 내에서의 평가 및 합의 과정을 거쳐, '11년 2월경에 IMT-Advanced 표준 기술로 제정될 것이 확실시된다.

본 고에서는 IMT-Advanced 표준 가운데 하나가 될 것이 확실하며 또한 향후 전 세계 이동통신 시장에서 주도권을 가질 것이 유력시 되는 LTE-Advanced 기술에 대한 표준화 동향에 대하여 살펴본다.

우선적으로 IMT-Advanced 표준과 LTE-Advanced 표준의 주요 작업 일정에 대하여 알아보고, LTE-Advanced 표준 기술이 어떤 과정을 거쳐 ITU-R로 제출되었는지에 대하여 자세하게 설명한다.

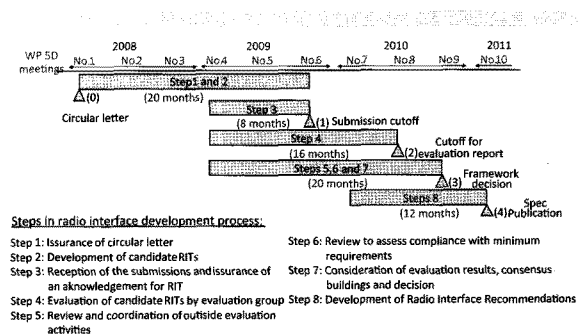
다음으로, IMT-Advanced 표준에 대한 주요 요구 사항과 LTE-Advanced 표준에 대한 주요 요구 사항을 살펴보고, LTE-Advanced 표준 기술 제출에 있어서 가장 중요한 활동이었던 ITU-R의 요구 사항들에 대한 3GPP의 자체 평가 (self-evaluation) 과정에 대하여 자세하게 기술한다.

마지막으로, IMT-Advanced 의 성능 요구사항을 만족시키기 위하여 3GPP에서 어떤 기술들을 연구하고 있는지에 대하여 간략하게 기술한다.

II. IMT-Advanced 표준 작업 일정과 LTE-Advanced 기술에 대한 3GPP 작업 일정

이 절에서는 LTE-Advanced 표준 기술에 대한 작업 일정과 ITU-R에서의 IMT-Advanced 표준에 대한 작업 일정을 함께 기술한다[1][2].

(그림 1)에는 ITU-R에서 정의하고 있는 IMT-Advanced 표준 작업 일정을 나타내고 있다.



(그림 1) IMT-Advanced에 대한 표준 작업 일정

그림에서 나타난 바와 같이 전체 일정을 총 8 단계로 구분할 수 있다. Step 1과 Step 2에서는 회람 (circular letter)을 각 표준 단체로 보내는 작업과 각 표준 단체에서 후보 무선 접속 기술 (RIT: Radio Interface Technologies)을 개발하는 단계이다. 이때 회람의 목적은 RIT에 대한 제안과 제안된 기술에 대한 성능 평가 결과에 대한 제출을 invite하기 위한 것이다. ITU-R에서는 '08년 10월 WP5D 3차 회의 기간 동안 IMT-Advanced 표준에 대한 최종 요구 사항과 평가 방식을 포함한 회람에 대한 작성을 완료하여 이를 외부 표준화 단체에 송부하였으며[3]-[6], 이에 맞추어 IEEE 진영과 3GPP 진영에서는 RIT 기술 개발을 진행하였다. Step 3는 개발된 RIT를 ITU-R로 제출하는 단계이다. ITU-R로부터의 회람에 따르면 IMT-Advanced 표준에 대한 후보 기술 제안은 '08년 10월부터 가능하며, '09년 10월 WP5D 6차 회의 기간까지는 ITU-R에서 요구하는 모든 필수 사항들을 첨부한 최종 제안을 제출할 것을 요구하였다. 이때, IMT-Advanced 후보 기술 제출의 필수 요구 사항들은 다음과 같다.

먼저 IMT-Advanced 표준 기술로 제안되는 기술을 요약하는 기술 설명 템플릿 (TDT: Technology Description Template), 그리고 링크 budget에 대한 템플릿, 다음으로 제안하는 기술이 IMT-Advanced 표준에서 정의하고 있는 요구 사항을 만족시키는지를 알아보기 위한 적합성 템플릿 (compliance template)이 포함되어야 한다[4]. Step 4는 제출된 RIT에 대한 성능 평가를 수행하는 단계이며, Step 5는 외부 성능 평가 단체들의 결과들을 검토하고 취합하는 단계이다. 성능 평가 작업은 ITU-R에 평가 그룹 (evaluation group)으로 등록되어 있는 단체들에 의해 이루어지게 된다. 우리나라의 경우, TTA 산하의 PG 707이라는 작업반이 IMT-Advanced 후보 기술들에 대한 평가 그룹으로 등록되어 있는 상태이다. 평가 작업은 '10년 6월까지 진행될 예정이며, 각 평가 그룹들은 평가 결과를 정리하여 '10년 7월 WP5D 8차 미팅에 평가 보고서를 제출하도록 되어 있다. Step 6에서는 평가 그룹들의 보고서를 바탕으로 하여 ITU-R에서 요구하고 있는 최소 요구 사항에 대해 제출된 RIT가 만족을 하는지를 검토하고 평가하는 단계이며, Step 7에서는 평가 결과를 고려하여 consensus 도출에 의하여 최종적으로 IMT-Advanced 기술에 대한 표준 인준 여부를 결정하게 된다. 이 작업은 '10년 10월까지 이루어질 예정이며, 최종적으로 consensus가 도출된 RIT에 대해서 표준 제정을 하는 단계가 마지막 Step 8 단계이다. IMT-Advanced에 대한 표준은 '11년 2월 WP5D 10차 회의 기간 동안 완성하는 것을 목표로 하고 있다.

다음으로 IMT-Advanced 표준 일정을 반영한 3GPP의 LTE-Advanced 표준 작업 일정을 (그림 2)에 나타내었다.

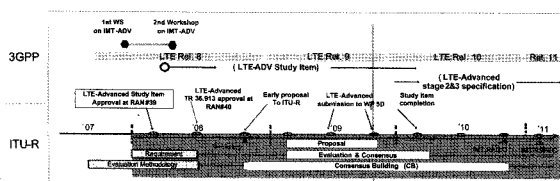
먼저 '07년 11월 말에 IMT-Advanced와 관련된 1차 workshop을 멕시코 Cancun에서 개최하였다. 1차 workshop을 통해 IMT-Advanced의 개요에 대한 소개 및

ITU-R의 조직 개편 등에 대한 내용이 소개되었다. 다음으로 '08년 3월 39차 RAN 총회를 통하여 LTE-Advanced study item을 공식적으로 승인하였다. 이후, '08년 4월 초, 중국의 Shenzhen에서 2차 workshop을 개최하여 주요 제조 업체 및 사업자들의 LTE-Advanced에 대한 요구 사항 및 논의할 기술 이슈 등에 대한 의견을 청취하는 시간을 가졌다. 이 후, '08년 5월 RAN1 작업반의 회의를 시작으로 하여 LTE-Advanced에 대한 본격적인 기술 논의를 진행하기 시작하였다. '08년 5월 말에는 LTE-Advanced에 대한 3차 workshop을 개최하였고, 이 workshop을 통하여 LTE-Advanced에 대한 자체 요구 사항을 논의하였다.

여기에서 논의된 결과를 취합 및 정리하여 기술 보고서인 TR 36.913을 작성하였으며 이를 40차 RAN 총회를 통하여 공식적으로 승인하였다[7]. 다음으로 '08년 10월 WP5D 3차 회의 기간 동안 3GPP내에서의 그 당시까지의 LTE-Advanced 표준에 대한 논의 진행 상황과 향후 계획 그리고 IMT-Advanced 표준에 대한 3GPP의 의향 등을 정리한 의향서를 WP5D 회의에 제출하였다. '09년 3월까지의 대부분의 주요한 기술 논의들은 물리 계층에 대한 논의를 진행하는 RAN1 작업반 위주로 진행되었으며, '09년 3월 회의를 시작으로 RAN2/3/4 작업반에서도 본격적으로 LTE-Advanced study item에 대한 연구를 시작한다. 이후, RAN1 작업 그룹을 중심으로 하여, ITU-R에서 요구하는 필수 제출물들을 작성하기 시작하였고, RAN2/3/4 그룹의 내용 추가 및 수정 작업을 거쳐 '09년 6월 5차 WP5D 회의 기간 동안 ITU-R로의 초기 제출 작업을 완료하였다.

초기 제출에서는 ITU-R에서 요구하는 제출 목록 가운데 자체 성능 평가에 관련된 사항들이 빠져 있었으며, 이후 자체 성능 평가와 관련된 작업들을 계속 진행하고, 또한 초기 제출되었던 기술 설명 템플릿의 내용들을 갱신하는 작업이 이루어졌다. 이러한 논의를 정리하여 LTE-Advanced 제안에 대한 최종 제출은 '09년 10월에 열린 6차 WP5D 회의 기간 동안 이루어졌다. 상기한 LTE-Advanced 표준 기술의 제출과 관련된 내용은 다음 절에서 따로 자세하게 정리하여 살펴보기로 한다.

3GPP의 LTE-Advanced study item 자체의 일정과 work item 일정에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 원래의 계획에 의하면 LTE-Advanced에 대한 study item은 '09년 9월 45차



(그림 2) 3GPP의 LTE-Advanced 표준 개발 일정

RAN 총회에서 공식적으로 종료하는 것을 목표로 하였으나, '09년 5월말에 열렸던 44차 RAN 총회의 논의를 통하여 이종망 (heterogeneous networks)과 관련된 문제에 대한 연구를 LTE-Advanced study item의 명확한 목표로 정해야 한다고 결정하였으며, 이에 따라 최종 study item의 종료 시점을 '10년 3월로 연기하였다. 하지만 LTE-Advanced 표준에 대한 work item들은 빠르면 '09년 12월 열리는 46차 RAN 총회부터 승인되어 본격적인 stage 3 표준화 작업이 수행될 예정이다. 여기서 LTE-Advanced 표준에 대한 work item 작업은 REL-8 LTE 표준에 대한 work item 작업과 다른 형태로 진행하기로 합의되었다.

즉 REL-8 LTE 표준에 있어서는 LTE라는 하나의 커다란 building block work item 형태로 표준 작업이 진행되었던 것에 반하여, LTE-Advanced에 대한 표준 작업은 개별 기능별 work item을 생성하여 수행하는 것으로 합의되었다. 이러한 합의 사항에 따라 각 작업반 (working group)에서의 기술 논의의 성숙도를 고려하여 기능별 work item의 생성 시점을 달리 할 것이며, 현재의 기술 논의 현황을 고려해보면 '09년 12월 몇 건의 work item이 생성될 것이다.

생성된 LTE-Advanced work item들에 대하여 stage 3 표준 작업을 거쳐, '10년 12월 50차 RAN 총회 기간 동안 LTE-Advanced 기술에 대한 초기 기술 표준들을 v10.0.0으로 승인할 계획이다. 이는 '11년 2월로 예정되어 있는 ITU-R의 IMT-Advanced 표준 제정 일정에 맞추어진 일정이다. 초기 버전이 v10.0.0이 된다는 것은 3GPP의 표준 발간 시기 상에서 LTE-Advanced는 REL-10 시간 구간 상에서 발간된다는 것을 의미한다.

이때, '10년 12월 초기 승인되는 LTE-Advanced 규격의 완성도에 대하여 주의를 할 필요가 있다. 일반적으로 예측되었던 바에 의하면, '10년 12월에 초기 승인되는 LTE-Advanced 규격의 완성도는 '07년 9월에 초기 승인되었던 REL-8 LTE 규격의 완성도와 비슷할 것이라고 예측되었다. REL-8 LTE의 표준화 과정을 기억해보면, '07년 9월 초기 승인된 LTE 표준들의 완성도는 그리 높지 않아서 최종적으로 ASN.1 freezing이 된 것은 '09년 3월의 일이었다. ASN.1 freezing이라고 하는 것은 3GPP의 규격 종료를 위해 정의되어 있는 freezing의 최종 단계로서 RRC 규격, SI/X2-AP 규격에 적용되는 단계이며, 이 freezing이 완료되고 나면, 오직

backward compatible한 ASN.1 수정 작업만이 가능하다. 바로 전 단계의 freezing은 functional freezing이라고 불리며, 이 단계에서는 규격의 완성도는 100%라고 볼 수 있으며, 더 이상 미해결 이슈들이 존재하지 않는 단계이다. 이 단계에서는 오직 필수불가결한 규격에 대한 수정 (correction) 작업만이 가능하고 새로운 기능에 대한 추가는 허용되지 않는다. '09년 9월에 열렸던 45차 RAN 총회의 합의 사항에 따른 LTE-Advanced의 표준 작업 일정에 의하면 '10년 12월 규격에 대한 초기 승인과 더불어 functional freezing이 함께 이루어질 계획이다.

그리고 최종적인 ASN.1 freezing은 '11년 3월 혹은 6월에 완료하는 것을 목표로 하고 있다. 이는 앞에서 기술되었던 일반적인 일정 예측과 다른 것으로, LTE-Advanced 표준에 대한 규격 작업 일정이 매우 촉박하게 이루어져야 함을 의미한다. 또한 동시에 REL-10 시간 구간 동안 규격화될 기능들이 한정적일 가능성이 매우 높음을 의미한다. 즉, 현재 LTE-Advanced study item에서 연구하고 있는 여러 진보된 기능들 가운데, 높은 우선 순위를 가지는 일부 기능들만을 REL-10 LTE-Advanced 규격에 포함시키고 나머지 기능들은 향후 REL-11 규격 등에서 다루게 될 가능성이 매우 높다. 이에 따라 향후 REL-10 LTE-Advanced 규격 작업을 위하여 어떤 work item들을 보다 높은 우선 순위를 가지고 생성해야 할지에 대한 논의가 일어날 것이다.

III. LTE-Advanced 기술의 IMT-Advanced 후보 기술 제출

이 절에서는 LTE-Advanced 표준 기술을 ITU-R의 IMT-Advanced 표준으로 인정받기 위하여 3GPP 내에서 어떤 논의와 움직임이 있었는지에 대하여 알아본다. 전술한 바와 같이 LTE-Advanced 기술은 총 3번에 걸쳐서 ITU-R WP5D 회의에 제출된다.

(1) 의향서 제출 : '08년 10월

첫 번째 제출은 '08년 10월 3차 WP5D 회의 기간 동안 이루어졌던 의향서 제출이었다[8]. 이 의향서는 '08년 10월 당

시까지 3GPP 내에서 일어났던 LTE-Advanced에 대한 기술 논의를 정리한 것으로, 특정 제출 양식과 상관없이 정보용으로 제출되었으며 3GPP 내에서는 이를 early proposal이라고 부르기도 한다. 의향서의 목적은 3GPP가 IMT-Advanced 표준화 과정에 대하여 많은 관심을 가지고 있으며, 현재 논의를 시작한 LTE-Advanced 표준 기술을 IMT-Advanced 규격으로 제출하겠다는 의지를 명확하게 하기 위한 것이었다. 또한 그 당시까지의 LTE-Advanced에 대한 기술 논의를 정리함으로써, 외부 평가 그룹의 평가 준비에 도움을 준다는 목적도 가지고 있었다. 물론, 이면에는 IEEE의 802.16m에 대한 견제를 위한 목적도 있었다고 판단된다.

(2) 첫 번째 공식 제출 : '09년 6월

다음으로 '09년 6월 5차 WP5D 회의 기간 동안 공식적인 첫 번째 제출 과정을 수행한다[9]. 공식적인 제출 과정이라고 함은 이전 절에서 살펴보았던 ITU-R의 WP5D에서 요구하는 제출물의 양식을 갖춘 기술 제출을 의미한다. 하지만 1차 공식 기술 제출시에는 요구 제출 양식들 가운데 자체 성능 평가 결과에 관련된 내용들은 제출되지 않았으며, 이는 최종 제출에 포함하기로 한다.

첫 번째 공식 제출 과정에 있어서 특이할 만한 사항은 FDD와 TDD에 대하여 각각 독립된 RIT 형태로 기술을 제출했다는 점이다. 즉, LTE-Advanced 기술 제안은 SRIT (Set of Radio Interface Technologies)로 FDD와 TDD에 대한 독립적인 RIT들을 포함하는 형태가 되며, 이에 따라 기술 설명 템플릿, 링크 버짓 템플릿 그리고 적합성 평가 템플릿 각각에 대해 FDD와 TDD에 대하여 독립적인 템플릿을 제출하기로 합의하였다.

이러한 합의의 이면에는 중국 정부의 TDD 표준에 대한 강력한 독자 지원의 의미가 숨어 있다. 하지만 이러한 합의 사항이 LTE-Advanced 표준 규격이 FDD 규격과 TDD 규격으로 나누어짐을 의미하는 것은 아니다. 기존의 LTE 규격과 마찬가지로 LTE-Advanced 규격 또한 FDD와 TDD를 동일 규격 내에서 기술하게 될 것이다.

(3) 최종 제출 : '09년 10월

LTE-Advanced 기술에 대한 1차 ITU-R 제출을 완료한 이후, 3GPP는 주로 RAN1을 중심으로 하여 자체 성능 평가와

관련된 작업을 진행하였다. 자체 성능 평가 결과는 IMT-Advanced 기술 제출을 위해 반드시 필요한 항목이며, 제출되는 기술이 IMT-Advanced의 요구 사항을 만족하는지를 확인하기 위한 외부 성능 평가 단체의 성능 평가 시에 기준 값으로 사용될 것이기 때문에 매우 중요한 의미를 가진다고 하겠다. 이 자체 성능 평가와 관련된 3GPP 내에서의 논의 및 활동에 대해서는 별도의 절을 통하여 자세하게 기술한다. 최종 제출 과정에서 주목할 만한 사항은 3GPP의 RAN 차원의 LTE-Advanced에 대한 기술 보고서 (TR 36.912 v9.0.0)를 승인하여 이를 최종 제출에 포함시키기로 결정하였다는 점이다[10].

이 기술 보고서는 RAN1/2/3/4를 망라하여 모든 작업반에서 진행되었던 LTE-Advanced와 관련된 주요 합의 사항을 정리하고 있는 종합 정리 보고서의 의미를 가진다. 3GPP에서는 TR 36.912의 중요도를 고려하여, 이 기술 보고서 내에 Annex 형태로 기술 설명 템플릿, 링크 버짓 템플릿, 그리고 적합성 템플릿 그리고 참고 자료로써 구체적인 자체 성능 평가 결과를 모두 포함시키도록 결정하였으며, 이에 따라 TR 36.912 문서 하나만으로도 ITU-R에서 요구하는 모든 정보와 함께 실제적인 LTE-Advanced 기술에 대한 설명을 포함할 수 있도록 기술 보고서를 작성하였다. 물론 실제로 ITU-R에 제출되는 패키지는 각각의 요구되는 템플릿들과 TR 36.912를 함께 압축하여 구성하였다[11]~[15].

또 한가지 주목할 만한 사항은 ITU-R로의 제출 형태와 관련된 사항들이다. 3GPP는 법적인 단체가 아니므로 ITU-R의 WP5D 회의 상에 자체 기고를 제출할 권리를 가지지 못하며, 따라서 3GPP에서 준비한 기고는 3GPP의 이름이 아니라 3GPP의 회원사이면서 동시에 ITU-R의 sector 회원사로 가입되어 있는 개별 회사들의 이름으로 제출되어야 한다. 이를 위하여 3GPP 표준에 참여하고 있는 여러 개별 회사들이 공동 기고 형태로 ITU-R에 LTE-Advanced 기술을 제출하였다. 또한 몇몇 국가들의 경우, SDO (Standard Developing Organization) 및 정부 차원의 지지 서신 혹은 인준서를 ITU-R에 제출하였다.

국내의 경우, TTA의 기술 인준서와 함께 한국 정부 차원의 기술 지지 서신을 ITU-R에 제출하였다. 물론 한국 정부는 LTE-Advanced 기술뿐만이 아니라 802.16m 기술도 함께 지지한다는 내용을 제출하였다.

IV. IMT-Advanced 표준과 LTE-Advanced 표준에 대한 요구 사항 정리

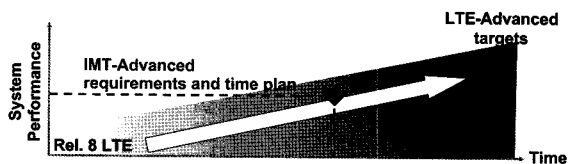
전술한 바와 같이 IMT-Advanced를 위한 주요 요구 사항들은 WP5D 3차 회의 기간 동안 최종 합의되어 M.2134 문서에 정리되어 있다. 이에 반해, LTE-Advanced 표준을 위한 요구 사항들은 '08년 5월 말 40차 RAN 총회의 합의를 거쳐 TR 36.913 문서에 정리되어 있다[16].

TR 36.913에 정리되어 있는 일반적인 LTE-Advanced 표준에 대한 요구 사항은 다음과 같다.

- LTE-Advanced is an evolution of LTE
- LTE-Advanced shall meet or exceed IMT-Advanced requirements within the ITU-R time plan
- Extended LTE-Advanced targets are adopted

첫 번째 요구 사항은 LTE-Advanced를 LTE의 진화된 기술로 정의하는 것이다. 즉, LTE-Advanced 기술은 새로운 획기적인 시스템 설계에 기반한 시스템이 아니라 LTE 기술로부터 점진적인 성능 향상 기법을 통하여 정의되는 시스템이라는 의미이다. 두 번째 요구 사항은 IMT-Advanced 표준 일정 이내에 IMT-Advanced 표준 요구 사항을 만족시키거나 혹은 초과하는 것이다. 세 번째로 LTE-Advanced 표준은 target이라고 불리는 지향해 갈 자체적인 목표 값을 설정하고 있다. 이 값은 필수 불가결한 요구 사항이 아니고 달성하기 위해 노력해야 할 목표 값으로 자리매김 하고 있다는 점에 주의할 필요가 있다.

IMT-Advanced에 대한 요구 사항과, LTE-Advanced의 요구 사항 그리고 LTE-Advanced의 목표 값들 사이의 관계를 (그림 3)에 나타내었다[17].



(그림 3) IMT-Advanced 표준 요구 사항과 LTE-Advanced 표준 요구 사항 그리고 LTE-Advanced 목표 값 사이의 관계

〈표 1〉에는 ITU-R의 IMT-Advanced에 대한 시스템 capability 요구 사항의 일부를 포함하고 있다.

〈표 1〉 IMT-Advanced 표준에 대한 시스템 capability 요구 사항

항 목		요구사항 수치
최대 데이터 전송 속도		1Gbps
최대전송효율 (bps/Hz)	하향 링크 (4x4)	15
	상향 링크 (2x4)	6.75
채널 대역폭 (MHz)		Scalable로 40MHz 최대 대역폭 (Multi-carrier 허용)
전송 지연 (ms)	제어 영역	100
	데이터 영역	10
핸드오버 지연* (ms)	동일 주파수	27.5
	다른 주파수/ 동일 밴드	40
	다른 주파수/ 다른 밴드	60

〈표 2〉는 3GPP 내에서 자체적으로 정의하고 있는 LTE-Advanced 표준에 대한 시스템 capability 요구 사항들을 정리하고 있다.

〈표 2〉 LTE-Advanced 표준에 대한 시스템 capability 요구 사항

항 목		요구사항 수치
최대 데이터 전송 속도	하향 링크	1Gbps
	상향 링크	500Mbps
최대전송효율 (bps/Hz)	하향 링크 (8x8)	30
	상향 링크 (4x4)	15
채널 대역폭 (MHz)		최대 100MHz
전송 지연 (ms)	제어 영역	Active ↔ Active dormant (<10ms) Camped ↔ Active (<50ms)
	데이터 영역	Improved compared to LTE
Mobility		· support up to 350km/h · System performance shall be enhanced for 0 to 10km/h · At least equal mobility support as LTE

〈표 1〉과 〈표 2〉의 비교에서 알 수 있는 바와 같이 〈표 1〉의 일부 요구 사항 항목들에 대항하는 LTE-Advanced의 요구 사항 항목이 존재하지 않는다. 하지만 LTE-Advanced 표준에 대한 두 번째 일반 요구 항목에 기술되어 있는 바와 같

이 LTE-Advanced 기술은 IMT-Advanced 표준에 대한 요구 사항을 모두 만족해야 한다. 즉, <표 1>과 <표 2>의 모든 항목을 만족해야 한다.

먼저 최대 데이터 전송 속도는 IMT-Advanced 기술의 가장 상징적인 특징으로서의 의미를 가지고 있었던 값으로 저속에서 1Gbps의 최대 데이터 전송 속도를 지원하고 고속에서는 100Mbps의 최대 데이터 전송 속도를 지원해야 한다는 요구 사항을 회람에서 특징적으로 명시하고 있다. 1Gbps라는 최대 데이터 전송 속도는 상징적인 의미를 가지는 시스템 선전용 요구 사항이라고 볼 수도 있지만, LTE-Advanced 요구 사항에서도 1Gbps의 최대 데이터 전송 속도에 대한 요구 사항을 그대로 정의하고 있다. 이 요구 사항은 4×4 MIMO를 사용하고 대역폭을 약 70MHz 정도 할당하면 어렵지 않게 달성할 수 있는 값이다. 최대 스펙트럼 효율은 최대 데이터 전송 속도를 대역폭으로 나누어 준 값이며, IMT-Advanced에 비해 LTE-Advanced에서는 하향 링크와 상향 링크 모두에서 약 2배의 최대 스펙트럼 효율을 요구하고 있다. IMT-Advanced의 요구 사항인 하향 링크의 15bps/Hz의 값은 REL-8 LTE의 하향 링크에서 이미 달성한 값이며, 상향 링크에 대한 요구 사항은 상향 링크에 MIMO 전송 기법을 적용하여 쉽게 달성할 수 있는 값이다. LTE-Advanced에 대한 최대 스펙트럼 효율 목표값을 달성하기 위해서는 하향 링크에 8×8 MIMO를 사용하고 상향 링크에서는 4×4 MIMO를 사용하는 것을 가정한다.

대역폭에 있어서는 IMT-Advanced의 경우 scalable하게 다중 반송파 (Multi-carrier) 형태로 40MHz까지의 대역폭을 지원할 것을 요구 하고 있으며, LTE-Advanced는 최대 100MHz의 대역폭 지원을 요구하고 있다. 물론 이 값은 하향 링크의 최대 대역폭이며, 상향 링크 대역폭과 관련해서는 구체적인 요구 사항이 존재하지 않지만 일반적으로 UE capability에 따라 다른 값이 될 것으로 생각된다. 또한 일반적인 트래픽의 양태를 고려하면, 상향 링크 최대 대역폭은 하향 링크의 최대 대역폭에 비하여 작은 값을 가질 가능성이 높다.

사용자 평면 지연 (User-Plane Latency)에 대해서는 LTE의 성능 요구 사항 (10ms 이하) 보다 개선 된 소요 시간을 목표로 하고 있다. 제어 평면 지연 (Control-Plane Latency) 측면에서는 IP 주소를 할당 받은 Idle Mode에서 Connected Mode로 전환하는데 50ms 이하, Dormant Mode (예를 들어

LTE의 Connected Mode에서의 DRX substate)에서 Connected Mode로 전환하는데 10ms 이하의 소요 시간을 목표로 명시하고 있다.

지금까지 언급했던 요구 사항들은 시스템의 capability에 관련된 요구 사항들이며 이에 대한 만족 여부는 실제적인 시뮬레이션 없이도 시스템 설계 방식에 따라 정량적 계산 혹은 정성적으로 판단할 수 있는 사항들이다. 하지만 이러한 요구 사항들 이외에도 시스템의 성능과 관련된 요구 사항들이 존재한다. 즉, 위에서 언급한 최대 데이터 전송 속도 혹은 최대 스펙트럼 효율 등의 값은 선전용 요구 사항으로써 의미를 가질 수 있지만, 실제로 시스템의 성능을 결정짓는 요구 사항으로 보기는 어렵다. 실제 시스템의 성능은 한 셀에서 1Hz 당 평균 어느 정도의 비트들을 처리할 수 있는지를 나타내는 평균 스펙트럼 효율 값, 그리고 셀 가장자리 사용자들에 대해 어느 정도의 효율을 가지는지를 나타내는 셀 가장자리 스펙트럼 효율 값, 그리고 셀 내에서 VoIP (Voice over IP) 사용자를 얼마나 지원할 수 있는지, 혹은 이동 속도에 따라 어느 정도의 전송 효율을 달성하는지 등을 평가하여 측정할 수 있다. 이러한 시스템 성능과 관련된 요구 사항들은 실제 채널 환경에 대한 모델링을 한 후, 시스템 레벨과 링크 레벨 시뮬레이션을 통해 실험적으로 값을 구해야 한다. 이때, 시스템 성능 값은 채널 모델과 셀 배치 시나리오 등에 따라 많은 차이가 날 것이고, 또한 기지국과 단말이 사용할 송신 및 수신 안테나의 개수 구성에 따라서도 많은 차이가 날 것이다. 따라서 IMT-Advanced 요구 사항에서는 특정한 채널 환경과 셀 배치 시나리오 상에서 특정 안테나 개수의 구성을 가정했을 경우의 시스템 성능 값을 요구 사항으로 명시하고 있다. 보다 구체적으로는 Indoor Hotspot (InH), base coverage urban (UMa: Urban Macro), micro cellular (UMi: Urban Micro), rural/high speed (RMa: Rural Macro)의 4가지의 서로 다른 셀 배치 시나리오를 실험 환경으로 선정하였다. 각각의 시나리오에 대한 자세한 기술은 참고문헌 [6]을 참조하기 바란다. 또한 안테나 개수와 관련해서는 실제로 IMT-Advanced 표준이 시장에서 본격적으로 사용될 미래의 기술 성숙도와 시장 수요 등을 고려하여 가장 일반적으로 사용될 것으로 예측되는 송신 및 수신 안테나 개수의 구성에 기반한 시스템 성능을 요구하고 있다. 즉, 하향 링크에서는 기지국에 4개의 송신 안테나를 사용하

고 단말기에 2개의 수신 안테나를 사용하는 경우의 성능 요구 사항을 정의하고 있으며 상향 링크에서는 반대로 단말기의 송신 안테나 2개, 기지국의 수신 안테나 4개의 안테나 구성에 대한 성능 지표를 정의하고 있다. 각 시나리오 하에서 요구되는 시스템 성능들을 <표 3>에 정리하여 놓았다.

<표 3> IMT-Advanced 표준의 성능 요구사항

항 목	요구사항 수치				
	InH	UMi	UMa	RMa	
이동 시, 링크 기준 주파수 효율 (bps/Hz)**	1 (3km)	0.75 (30km)	0.55 (120km)	0.25 (350km)	
VoIP 사용자 (명/MHz/셀)	50	40	40	30	
평균전송효율 (bps/Hz/Cell)	하향 링크 (4x2)	3	2.6	2.2	1.1
	상향 링크 (2x4)	2.25	1.8	1.4	0.7
셀 경계 전송 효율 (bps/Hz)	하향 링크 (4x2)	0.1	0.075	0.06	0.04
	상향 링크 (2x4)	0.07	0.05	0.03	0.015

IMT-Advanced 표준을 위한 요구 사항에 따르면, IMT-Advanced 표준으로 인정받기 위해서는 4개의 시나리오 중에서 적어도 3개의 환경 하에서 요구 사항을 만족해야 하는 것으로 기술되어 있다. 하지만 LTE-Advanced의 요구 사항에 의하면 상기한 4개의 시나리오 상에서의 요구 사항들을 모두 만족하는 것으로 되어 있다. 또한 LTE-Advanced의 경우, IMT-Advanced에 대한 시스템 성능 요구 사항과 별개로 LTE-Advanced 표준 자체의 성능 요구 사항이 정의되어 있으며 이를 <표 4>에 정리하여 놓았다. 이는 3GPP에서 전통적으로 사용해왔던 case 1 테스트 시나리오 상에서의 성능 요구 사항이다.

VoIP 용량과 관련해서는 IMT-Advanced 요구 사항은 각 테스트 시나리오 별로 1 MHz 당 30명에서 50명의 사용자를 지원할 것을 요구하고 있으며, LTE-Advanced 요구 사항에서는 모든 안테나 수에 대해 LTE의 성능보다 증가된 사용자 수를 요구하고 있다.

이외에도, IMT-Advanced 표준 요구 사항에는 이동 시 링크 기준 스펙트럼 효율 값에 대한 요구 사항이 존재한다. 이 요구 사항은 각 채널 환경에서 고려할 수 있는 최대 속도로 단말이 이동 시에 얻을 수 있는 전송 효율 값을 나타낸다.

<표 4> LTE-Advanced 표준의 성능 요구사항

Case 1 환경 안테나 구성		Cell Avg. SE [bps/Hz/cell]	Cell Edge SE [bps/Hz/user]
UL	1x2	1.2	0.04
	2x4	2	0.07
DL	2x2	2.4	0.07
	4x2	2.6	0.09
	4x4	3.7	0.12
VoIP 성능		Improved compared to LTE	

지금까지 알아보았던 시스템 성능 요구 사항들에 대해서는 ITU-R로의 최종 제출 과정에서 자체 성능 평가 과정을 거쳐 실험 결과를 제출했으며, 다음 절에서는 이 자체 성능 평가 결과에 대하여 살펴보기로 한다.

시스템 성능에 대한 요구 사항과 더불어 LTE-Advanced는 다음과 같은 중요한 요구 사항을 가지고 있다.

- LTE-Advanced는 다양한 스펙트럼의 유연성을 보장해야 한다.
- LTE-Advanced는 LTE REL-8의 진화 기술로서 LTE REL-8의 주파수 대역에서 동작하거나 혹은 새로운 주파수 대역에서 동작해야 한다.
- LTE-Advanced는 LTE REL-8과의 하위 호환성을 다음과 같은 방식으로 보장해야 한다.
 - ✓ LTE REL-8 단말기가 LTE-Advanced 네트워크 상에서 동작 가능해야 한다.
 - ✓ LTE-Advanced 단말기가 REL-8 LTE 네트워크 상에서 동작 가능해야 한다.
- Increased deployment of indoor eNB and HNB

위의 요구 사항들 가운데, 스펙트럼 유연성에 대한 보장과 관련하여, 실제로 전 세계의 국가별 지역별 스펙트럼 할당 현황을 고려하고 있으며, RAN4 작업반을 중심으로 하여 12개의 서로 다른 스펙트럼 할당 시나리오를 선정하여 연구를 진행하고 있다. 선정된 12개의 시나리오는 연속 대역폭 결합 방식 (continuous carrier aggregation)과 비연속 대역폭 결합 방식 (non-continuous carrier aggregation)을 모두 포함하고 있다.

V. LTE-Advanced 기술에 대한 자체 성능 평가 (Self Evaluation) 결과

이 절에서는 ITU-R 기술 제출 과정에 있어서 가장 중요한 활동 중의 하나였던 3GPP 내에서의 자체 성능 평가 과정에 대하여 설명한다.

앞에서 설명한 바와 같이, ITU-R에서는 IMT-Advanced 기술에 대한 성능 요구 사항을 정의하고, 성능을 평가하기 위한 평가 방법론 (evaluation methodology)을 정의하였다. 3GPP에서는 IMT-Advanced에 대한 평가 방법론을 참고하여 자체적인 성능 평가 방법론을 마련하였으며, 이를 RAN1 작업반의 기술 보고서인 TR 36.814에 정리하고 있다[18].

이렇게 정리된 성능 평가 방법론에 맞추어 3GPP RAN1 작업반에서는 자체적인 성능 평가를 수행하였다. 먼저, 각 멤버 회사들간에 시뮬레이션에 대한 calibration 작업을 수행하여 시뮬레이션 결과 값에 대하여 어느 정도의 신뢰도를 보장하는 과정을 수행하였다. 이후, ITU-R로의 최종 제출 시한과 3GPP RAN1 작업반의 회의 일정을 고려하여 '09년 8월 중순 까지를 기한으로 하여 각 회사들로부터의 자체 성능 평가 결과를 제출 받아 이를 취합하였다. 성능 취합에 있어서 기본적으로 고려되었던 사항은 우선 REL-8 LTE에 대한 성능을 먼저 고려해야 한다는 것이었다. 이는 LTE-Advanced 기술이 REL-8 LTE를 기반으로 한 진화 기술로 정의되며, REL-8 LTE 기술의 성능이 이미 매우 높다는 자신감에 기인한 것이었다. 또한, 아직 LTE-Advanced 표준의 각 요소 기술들에 대한 기술 논의가 진행 중이기 때문에, 각 회사들로 하여금 REL-8 LTE에 비해 추가된 기술을 자유롭게 사용할 수 있도록 하였다. 자체 성능 평가 과정에서 일반적으로 많은 회사들에 의해 고려되었던 시스템 성능의 향상 기법으로는 하향 링크의 다중 사용자 MIMO에 대한 성능 향상 기법, 상향 링크의 MIMO 사용, 그리고 하향 링크에 있어서 셀간 협력 통신 기법 (Cooperated Multipoint Transmission and Reception) 등이 있다. 특히 하향 링크의 CoMP 기법으로는 셀간 협력 스케줄링/빔 형성 (coordinated scheduling/beam forming), 협력 처리 (joint processing) 기법 등의 다양한 기법들을 고려하였다.

총 18개 회사로부터 시뮬레이션 결과들이 제출되었으며,

결과 취합 과정으로부터 다음과 같은 사실들이 확인되었다. 먼저 REL-8 LTE의 성능이 하향 링크의 UMi와 UMa 시나리오를 제외하고는 다른 모든 시나리오들에서 IMT-Advanced의 요구 사항을 만족시켰다는 점이다. 또한, 요구 사항을 만족시키지 못 했던 하향 링크 UMi와 UMa 시나리오에서도 REL-8 LTE로부터 약간의 성능 향상 기법을 적용하면 쉽게 요구 사항을 만족시킬 수 있다는 사실도 확인하였다. 이로부터 다음과 같은 합의 사항을 도출하였다.

- 만일 REL-8 LTE의 성능이 요구 사항을 만족시키면, 그 성능 값들을 우선적으로 취한다.
- 만일 REL-8 LTE의 성능이 요구 사항을 만족시키지 못 한다면, REL-8 LTE로부터 약간의 향상 기법만을 적용한 결과를 우선적으로 취한다.
 - ✓ DL: REL-8)MU-MIMO)CS/BF CoMP and JP-CoMP
 - ✓ UL: REL-8)MU-MIMO, SU-MIMO and CoMP

위의 합의 사항을 바탕으로 각 회사들로부터의 성능 결과 값들을 취합하였다. 이때, 같은 성능 향상 기법을 적용한 결과 값들만을 함께 모아서 서로 다른 오버헤드에 대한 가정하에 평균값을 취하였다. 또한, 지나치게 이상적인 수신 환경을 가정하거나 완벽한 채널 추정기법 등을 가정한 결과 값들은 평균을 취하는 과정에 포함시키지 않아서 평균 결과 값의 신뢰도를 높였다.

LTE-Advanced 기술은 4 가지 시나리오 모두에서 IMT-Advanced 표준의 요구 사항을 무난하게 만족하였다.

(1) 최대 스펙트럼 효율

〈표 5〉는 20MHz의 대역폭, 1 OFDM 심볼 길이의 L1/L2 제어 채널 오버헤드, CRS (Common Reference Signal), UE-RS 그리고 PBCH/SCH를 가정했을 경우의 하향 링크에서의 최대 스펙트럼 효율에 대한 자체 평가 결과 값을 나타내고 있다. TDD의 경우에는 UL/DL configuration 1(2DL:1SP:2UL)과 special-subframe configuration 4 (12DwPTS:1GP:1UpPTS, UpPTS for SRS transmission)를 가정하였다.

〈표 6〉은 상향 링크에서의 최대 스펙트럼 효율에 대한 자체 평가 결과이다. 20MHz의 대역폭을 가정하였으며, 서브

〈표 5〉 하향 링크에서의 최대 스펙트럼 효율

Scheme	FDD spectral efficiency (bps/Hz)	TDD spectral efficiency (bps/Hz)
ITU requirement	15	15
Rel-8 4 layer spatial multiplexing	16.3	16
8 layer spatial multiplexing	30.6	30

프레임 당 2개의 자원 블록 쌍을 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)로 사용하는 것을 가정하였고, 라디오 프레임 당 PRACH(Physical Random Access Channel)를 위해 6개의 자원 블록을 사용하는 것을 가정하였다. TDD의 경우에는 하향 링크 결과 값에서 사용한 구성과 동일한 서브 프레임 구성을 가정하였다.

〈표 6〉 상향 링크에서의 최대 스펙트럼 효율

Scheme	FDD spectral efficiency (bps/Hz)	TDD spectral efficiency (bps/Hz)
ITU requirement	6.75	6.75
2 layer spatial multiplexing	8.4	8.1
4 layer spatial multiplexing	16.8	16.1

〈표 5〉와 〈표 6〉으로부터 LTE-Advanced 기술은 최대 스펙트럼 효율 요구 사항을 만족시킨다는 것을 알 수 있다.

(2) 제어 평면 지연/사용자 평면 지연

RAN2 작업반에서는 LTE-Advanced의 제어 평면 지연 값과 사용자 평면 지연 값에 대한 계산을 수행하였다. 구체적인 계산 과정과 가정들에 대해서는 TR 36.912의 Annex B (Latency Performance of LTE)를 참조하기 바란다[10].

제어 평면 지연의 경우에는 RACH 스케줄링 지연으로부터 시작하여 UE의 RRC와 L2의 처리 지연까지 총 17단계에 걸쳐 걸리는 시간을 합산하여 결과 값을 계산하였으며, 결과 값은 50ms로 IMT-Advanced의 요구사항인 100ms를 여유 있게 만족하였다.

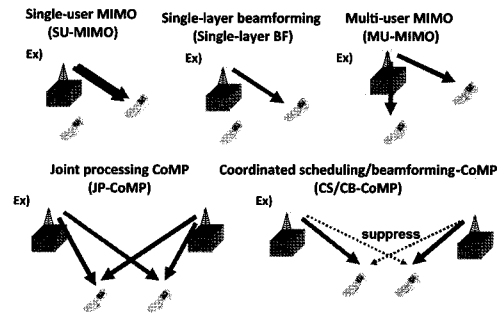
사용자 평면 지연의 경우에도 〈표 7〉에서 알 수 있는 바와 같이 FDD와 TDD 모두 ITU-R의 요구 사항을 충족하고 있다.

〈표 7〉 사용자 평면 지연 값에 대한 자체 성능 평가 결과

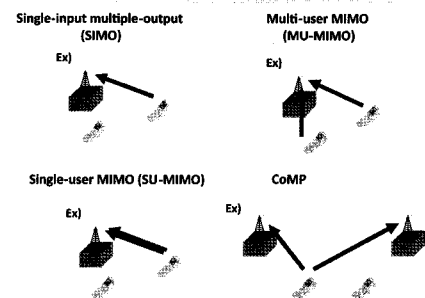
Assumption	FDD	TDD
ITU requirement	10ms	10ms
0% BLER	4ms	4.9ms
10% BLER	4.8ms	6.035ms

(3) 시스템 성능에 대한 자체 평가

여기서는 시스템 성능에 대한 자체 평가 결과에 대하여 알아본다. 먼저 하향 링크와 상향 링크에서 평가된 다양한 방식들에 대하여 (그림 4)와 (그림 5)에 도식적으로 나타내었다[17].



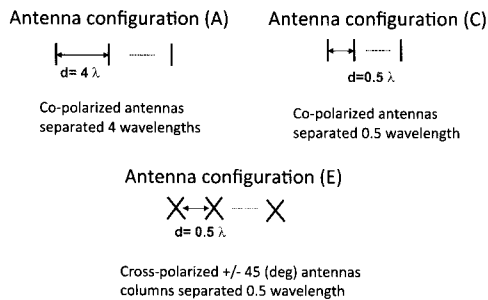
(그림 4) 하향 링크 평가에 사용된 전송 방식들



(그림 5) 상향 링크 평가에 사용된 전송 방식들

하향 링크의 성능 평가 수행 시에는 하향링크 제어 채널 (PDCCH)의 심볼 길이 (L)을 1 OFDM 심볼, 2 OFDM 심볼 그리고 3 OFDM 심볼로 가정한 경우의 결과 값들을 각각 평가하였다.

안테나 configuration에 대해서는 (그림 6)에 나타낸 바와 같이 서로 다른 3개의 안테나 configuration을 가정하였다.



(그림 6) 안테나 configuration

<표 8> 실험에 사용된 셀 배치 시나리오

셀 배치 시나리오	Indoor Hotspot	Urban Micro-cell	Urban Macro-cell	Rural Macro-cell
BS 개수	2	57	57	57
사이트 간 거리	60 m	200 m	500 m	1732 m
단말기 속도	3 km/h	3 km/h	30 km/h	120 km/h

<표 8>에는 ITU-R에서 정의한 4가지의 서로 다른 셀 배치 시나리오를 정리하였으며, 이 시나리오 하에서 자체 성능 평가를 위한 실험을 수행하였다.

실험에 사용한 대역폭은 FDD의 경우 하향 링크와 상향 링크 각각 10MHz인 경우를 실험하였으며, InH 시나리오에 한해 20MHz+20MHz의 대역폭을 사용하였다. TDD의 경우에는 FDD에 상응하도록 20MHz의 대역폭을 사용하였으며 InH의 경우에는 40MHz의 대역폭을 사용하여 실험을 수행하였다. 보다 자세한 실험 환경 및 가정에 대해서는 TR 36.912의 Annex A.1를 참조하기 바란다.

a) InH 시나리오에서의 성능 평가 결과

<표 9-1>과 <표 9-2>는 FDD와 TDD의 하향 링크 InH 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, REL-8 LTE(4x2 SU-MIMO) 만으로 ITU-R의 요구 사항을 여유 있게 만족하였다.

<표 9-1> FDD 하향 링크 InH에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	3 / 0.1	15	4.8	4.5	4.1	0.23	0.21	0.19
MU-MIMO 4 x 2 (C)	3 / 0.1	3	6.6	6.1	5.5	0.26	0.24	0.22

<표 9-2> TDD 하향 링크 InH에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	3 / 0.1	10	4.7	4.4	4.1	0.22	0.2	0.19
MU-MIMO 4 x 2 (C)	3 / 0.1	4	6.7	6.1	5.6	0.24	0.22	0.2

<표 10-1>과 <표 10-2>는 FDD와 TDD의 상향 링크 InH 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, REL-8 LTE (1x4 SIMO) 만으로 ITU-R의 요구 사항을 만족하였다. 또한 다중 사용자 MIMO를 사용하면 더욱 큰 성능 마진을 확보할 수 있음을 확인하였다.

<표 10-1> FDD 상향 링크 InH에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1 x 4 (A)	2.25 / 0.07	13	3.3	0.23
R' 8 SIMO 1 x 4 (C)	2.25 / 0.07	10	3.3	0.24
R' 8 MU-MIMO 1 x 4 (A)	2.25 / 0.07	2	5.8	0.42
SU-MIMO2 x 4 (A)	2.25 / 0.07	5	4.3	0.25

<표 10-2> TDD 상향 링크 InH에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1 x 4 (A)	2.25 / 0.07	9	3.1	0.22
R' 8 SIMO 1 x 4 (C)	2.25 / 0.07	7	3.1	0.23
R' 8 MU-MIMO 1 x 4 (A)	2.25 / 0.07	2	5.5	0.39
SU-MIMO2 x 4 (A)	2.25 / 0.07	2	3.9	0.25

b) UMi시나리오에서의 성능 평가 결과

<표 11-1>과 <표 11-2>는 FDD와 TDD의 하향 링크 UMi 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, 4x2 다중 사용자 MIMO를 이용하여 ITU-R의 요구 사항을 만족시키고 있다.

〈표 11-1〉 FDD 하향 링크 UMi에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4X2 (C)	2.6 / 0.075	8	3.5	3.2	2.9	0.10	0.096	0.087
MU-MIMO 4X2 (A)	2.6 / 0.075	3	3.4	3.1	2.8	0.12	0.11	0.099
CS/BF-CoMP 4X2 (C)	2.6 / 0.075	5	3.6	3.3	3	0.11	0.099	0.089
JP-CoMP 4X2 (C)	2.6 / 0.075	1	4.5	4.1	3.7	0.14	0.13	0.12
MU-MIMO 8X2 (C/E)	2.6 / 0.075	4	4.2	3.8	3.5	0.15	0.14	0.13

〈표 11-2〉 TDD 하향 링크 UMi에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4X2 (C)	2.6 / 0.075	8	3.5	3.2	3	0.11	0.096	0.089
MU-MIMO 4X2 (A)	2.6 / 0.075	1	3.2	2.9	2.7	0.11	0.1	0.095
CS/BF-CoMP 4X2 (C)	2.6 / 0.075	3	3.6	3.3	3.1	0.10	0.092	0.086
JP-CoMP 4X2 (C)	2.6 / 0.075	1	4.6	4.2	3.9	0.10	0.092	0.085
MU-MIMO 8X2 (C/E)	2.6 / 0.075	4	4.2	3.9	3.6	0.12	0.11	0.099

〈표 12-1〉과 〈표 12-2〉는 FDD와 TDD의 상향 링크 UMi 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, REL-8 LTE (1x4 SIMO) 만으로 ITU-R의 요구 사항을 만족 하였다.

〈표 12-1〉 FDD 상향 링크 UMi에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	1.8 / 0.05	12	1.9	0.073
R' 8 MU-MIMO 1X4 (A)	1.8 / 0.05	2	2.5	0.077
MU-MIMO 2X4 (A)	1.8 / 0.05	1	2.5	0.086

〈표 12-2〉 TDD 상향 링크 UMi에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	1.8 / 0.05	9	1.9	0.07
R' 8 MU-MIMO 1X4 (A)	1.8 / 0.05	2	2.3	0.071
MU-MIMO 2X4 (A)	1.8 / 0.05	1	2.8	0.068
MU-MIMO 1X8 (E)	1.8 / 0.05	1	3	0.079

c) UMa시나리오에서의 성능 평가 결과

〈표 13-1〉과 〈표 13-2〉는 FDD와 TDD의 하향 링크 UMa 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, 4x2 다중 사용자 MIMO를 이용하여 ITU-R의 요구 사항을 만족시키고 있다.

〈표 13-1〉 FDD 하향 링크 UMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4X2 (C)	2.2 / 0.06	7	2.8	2.6	2.4	0.079	0.073	0.066
CS/BF-CoMP 4X2 (C)	2.2 / 0.06	6	2.9	2.6	2.4	0.081	0.074	0.067
JP-CoMP 4X2 (A)	2.2 / 0.06	1	3	2.7	2.5	0.08	0.073	0.066
CS/BF-CoMP 8X2 (C)	2.2 / 0.06	3	3.8	3.5	3.2	0.1	0.093	0.084

〈표 13-2〉 TDD 하향 링크 UMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	7	2.9	2.6	2.4	0.079	0.071	0.067
CS/CB-CoMP 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	4	2.9	2.6	2.4	0.083	0.075	0.07
JP-CoMP 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	1	3.6	3.3	3.1	0.09	0.082	0.076
CS/CB-CoMP 8 x 2 (C/E)	2.2 / 0.06	3	3.7	3.3	3.1	0.1	0.093	0.087

〈표 14-1〉과 〈표 14-2〉는 FDD와 TDD의 상향 링크 UMa 시나리오에서의 결과이며, REL-8 LTE (1x4 SIMO) 만으로 ITU-R의 요구 사항을 만족하였다. 물론 CoMP 기법의 활용을 통하여 요구 사항에 대한 마진을 더욱 확보할 수 있다.

〈표 14-1〉 FDD 상향 링크 UMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	1.4 / 0,03	12	1.5	0,062
CoMP 1X4 (A)	1.4 / 0,03	2	1.7	0,086
CoMP 2X4 (C)	1.4 / 0,03	1	2.1	0,099

〈표 14-2〉 TDD 상향 링크 UMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	1.4 / 0,03	9	1.5	0,062
CoMP 1X4 (C)	1.4 / 0,03	1	1.9	0,09
CoMP 2X4 (C)	1.4 / 0,03	1	2	0,097
MU-MIMO 1X8 (E)	1.4 / 0,03	1	2.7	0,076

d) RMa 시나리오에서의 성능 평가 결과

〈표 15-1〉과 〈표 15-2〉는 FDD와 TDD의 하향 링크 RMa 시나리오에서의 결과 값이며, LTE REL-8 SU-MIMO (4x2) 를 이용하여 ITU-R의 요구 사항을 만족시키고 있다.

〈표 15-1〉 FDD 하향 링크 RMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
R' 8 SU-MIMO 4X2 (C)	1.1 / 0.04	15	2.3	2.1	1.9	0.081	0.076	0.069
R' 8 SU-MIMO 4X2 (A)	1.1 / 0.04	14	2.1	2	1.8	0.067	0.063	0.057
MU-MIMO 4X2 (C)	1.1 / 0.04	3	3.9	3.5	3.2	0.11	0.099	0.09
MU-MIMO 8X2 (C)	1.1 / 0.04	1	4.1	3.7	3.4	0.13	0.12	0.11

〈표 15-2〉 TDD 하향 링크 RMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
R' 8 SU-MIMO 4X2 (C)	1.1 / 0,04	8	2	1.9	1.8	0,072	0,067	0,063
R' 8 SU-MIMO 4X2 (A)	1.1 / 0,04	7	1.9	1.7	1.6	0,057	0,053	0,049
MU-MIMO 4X2 (C)	1.1 / 0,04	4	3.5	3.2	3	0,098	0,089	0,083
MU-MIMO 8X2 (C/E)	1.1 / 0,04	2	4.0	3.6	3.4	0,12	0,11	0,1
R' 8 single layerBF 8X2 (E)	1.1 / 0,04	4	2.5	2.3	2.1	0,11	0,1	0,093

〈표 16-1〉과 〈표 16-2〉는 FDD와 TDD의 상향 링크 RMa 시나리오에서의 결과 값이다. 표를 통하여 알 수 있는 바와 같이, REL-8 LTE (1x4 SIMO) 만으로 ITU-R의 요구 사항을 비교적 큰 마진을 가지고 만족하였다.

〈표 16-1〉 FDD 상향 링크 RMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	0.7 / 0,015	11	1.8	0,082
R' 8 MU-MIMO 1X4 (A)	0.7 / 0,015	2	2.2	0,097
CoMP 2X4 (A)	0.7 / 0,015	2	2.3	0,13

〈표 16-2〉 TDD 상향 링크 RMa에서의 결과

Scheme and Antenna configuration	ITU-R 요구사항 (Ave./Edge)	샘플	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
R' 8 SIMO 1X4 (C)	0.7 / 0,015	8	1.8	0,08
R' 8 MU-MIMO 1X4 (A)	0.7 / 0,015	2	2.1	0,093
CoMP 2X4 (A)	0.7 / 0,015	1	2.5	0,15
MU-MIMO 1X8 (E)	0.7 / 0,015	1	2.6	0,1

(4) VoIP 성능 결과

〈표 17〉은 각 실험 환경 하에서의 VoIP 용량에 대한 실험 결과이다.

<표 17> VoIP 용량에 대한 자체 성능 평가 결과

안테나 구성	Scenario	ITU 요구 사항	FDD		TDD	
			샘플	Capacity (명/MHz/셀)	샘플	Capacity (명/MHz/셀)
(A)	InH	50	3	140	2	137
	UMi	40	3	80	2	74
	UMa	40	3	68	2	65
	RMa	30	3	91	2	86
(C)	InH	50	3	131	3	130
	UMi	40	3	75	3	74
	UMa	40	3	69	3	67
	RMa	30	3	94	3	92

LTE REL-8을 기반으로 실험을 수행하였으며, 결과를 통하여 확인할 수 있는 바와 같이 모든 시나리오 하에서 ITU-R의 요구 사항을 여유 있게 만족시키고 있다.

VI. LTE-Advanced study item에서 고려되고 있는 요소 기술들에 대한 소개

이전 절에서 살펴본 바와 같이 기존의 REL-8 LTE 만으로 대부분의 ITU-R의 요구 사항을 만족하였다. 하지만 LTE-Advanced 표준은 3GPP의 자체 요구 사항도 만족시켜야 하며, 또한 LTE에 비하여 보다 점진적인 성능의 향상을 이루어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 현재 study item단계에서 고려되고 있는 특징적인 요소 기술들에 대하여 아주 간략하게 설명한다[18]. 아래의 기술들 가운데 몇 가지의 기술들의 상세 사항에 대해서는 본 논문의 다른 논문들을 참조하면 좋을 것이다.

(1) 대역폭 결합 기법

이 기법은 LTE-Advanced의 요구 사항인 100MHz까지의 광대역을 지원하면서 동시에 REL-8 LTE와의 하위 호환성을 만족하도록 단위 반송파간의 결합을 통하여 시스템 대역폭을 확장하는 기술이며, 이에 연관된 제어 채널 및 데이터 채널

설계 기법들을 연구하고 있다.

(2) 진보된 MIMO 기법

LTE-Advanced에서는 하향 링크에 최대 8×8, 상향 링크에 최대 4×4의 MIMO를 지원한다. 이러한 고차원 MIMO의 사용을 통하여, 높은 최대 스펙트럼 효율 값을 얻을 수 있다. RAN1 작업반에서는 이러한 고차원의 MIMO를 지원하기 위한 기준 신호 (Reference Signal) 설계 방식, precoding 방식 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

(3) 셀간 협력 송수신 기법 (Coordinated Multipoint Transmission and Reception)

전통적인 point to point 방식의 링크 성능 개선안 들에 의해 얻을 수 있는 성능 이득은 어느 정도 한계에 이른 것으로 생각되며, 링크 성능을 더욱 개선시키기 위해서는 전송단과 수신단 사이의 단일 링크뿐만 아니라 타 링크로부터 들어오는 간섭 신호에 대한 보다 적극적인 대처가 필요하다는 인식을 하게 되었다.

셀간 협력 송수신 기법은 가장 적극적이며 능동적인 간섭 회피 방식 혹은 제거 방식으로 여러 셀들이 서로 협력하여 간섭을 최소화하는 형태로 스케줄링을 하거나 빔을 형성하고, 혹은 가장 극단적으로는 두 셀에서 동시에 한 사용자에게 패킷을 전송하는 방식을 사용할 수 있다.

이러한 방식은 다수 개의 안테나를 다수 개의 전송 지점에 배치시킨 형태로 볼 수 있기 때문에 분산 MIMO (distributed MIMO)라고 부르기도 하고, 혹은 네트워크 MIMO, 또는 다중 셀 MIMO (Multiple Cell MIMO)라고 불리기도 한다. 이러한 셀간 협력 송수신 기법을 통하여 셀 가장자리 처리율을 높이는 동시에, 평균 스펙트럼 효율도 함께 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다.

하지만 셀간 협력 송수신 기법을 잘 운용하기 위해서는 상향 링크로 전송되는 피드백 신호에 대한 고려가 필수적이며 특히 상향 링크 피드백 신호에 의한 오버헤드를 줄일 수 있는 여러 가지 기법들에 대한 연구가 RAN1 작업반에서 일어나고 있다.

(4) 중계기

중계기는 기존의 repeater를 발전시킨 개념으로 생각할 수

있으며, 셀의 커버리지를 증가시키기 위한 방법, 혹은 셀 내의 커버리지 홀 (coverage hole)에 대처하기 위한 방법으로 고려되고 있다. 현재 RAN1 작업 그룹 내에서는 type-I 중계기를 정의하고 있으며, 이 중계기는 하나의 독립적인 셀을 형성하여 REL-8 LTE 단말기에게는 REL-8 기지국으로 보이게 되는 특징을 가진다.

현재 RAN1 작업반에서는 이러한 type-I 중계기를 지원하기 위해 공여 기지국과 중계기 사이의 채널 (backhaul channel)을 어떤 방식으로 설계할 것인지에 대한 논의가 일어나고 있다. 또한 type-I 중계기 이외에도 type-II 중계기에 대한 논의도 함께 일어나고 있다.

VII. 결 론

본 고에서는 현재 3GPP 내의 기술 논의의 중심에 있는 LTE-Advanced에 대한 표준화 동향에 대해 알아보았다. LTE-Advanced 기술은 LTE를 근간으로 한 진보 기술로서 자리매김하고 있으며, 또한 현재 ITU-R에서 IMT-2000의 후속 표준으로 표준화가 진행 중인 IMT-Advanced 표준으로 제정될 것이 확실시 되는 기술이다.

따라서 IMT-Advanced 표준 일정과 이에 따른 LTE-Advanced의 표준 진행 일정을 살펴보았으며, IMT-Advanced 표준으로 인정받기 위한 ITU-R의 시스템 요구 사항 및 성능 요구 사항에 대하여 알아보았다. 또한 LTE-Advanced 표준 기술을 ITU-R에 제출하기 위해 3GPP 내에서 수행했던 활동 들을 정리하였다. 마지막으로 현재 LTE-Advanced 표준을 위해 3GPP 내에서 연구를 진행하고 있는 기술 이슈들에 대하여 간략하게 살펴보았다.

현재 IMT-Advanced 표준을 겨냥하여 기술 논의가 진행되고 있는 표준 기술로는 LTE-Advanced 기술 이외에도 IEEE의 802.16m 기술이 존재한다. 물론 두 표준 기술이 목표로 하고 있는 시장이 다를 수는 있지만 분명한 사실은 두 기술 간의 효율성 등에 대해서는 계속해서 비교 우위를 따지려는 시도가 있을 것이며, 이에 따라 선의의 경쟁 관계를 형성하게 될 것으로 예측된다.

따라서 현재 논의하고 있는 요소 기술들에 대하여 지속적

으로 성능을 개선시키려는 노력과 함께 성능 대 비용 면에서도 우수한 기술들을 염전하여 LTE-Advanced 표준에 반영시키기 위한 노력이 3GPP 표준화 과정에서 활발하게 진행되고 있다.

특히, LTE-Advanced study item의 rapporteur인 NTT DoCoMo가 전체적인 LTE-Advanced의 일정 및 기술 논의 방향을 주도하고 있으며 Ericsson, Nokia, Qualcomm, Motorola 등의 세계 유수의 선진 기업들이 LTE-Advanced 표준화에 매우 적극적으로 참여하고 있는 상황이다. 국내에서도 LG 전자와 삼성 전자, ETRI, LG-Nortel, 팬택 등의 회사가 표준화 과정에 활발하게 참여하여 국내의 우수한 기술력을 과시하고 있는 중이다.

특히, 여러 국내 회사들이 HSPA 및 LTE의 표준화 과정을 통하여 습득한 기술적인 경쟁력을 활용하여 보다 공격적으로 표준화 과정에 참여하고 있음은 매우 고무적인 일이라고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R, Revision 1 to Document IMT-ADV/2-E, "Submission and evaluation process and consensus building"
- [2] 3GPP, RP-08099, "Proposed schedule for the submission of LTE-Advanced to ITU-R as a candidate for IMT-Advanced", AT&T et. Al
- [3] ITU-R, Addendum 2 to circular letter 5/LCCE/2
- [4] ITU-R, Report ITU-R M.2133 "Requirements, evaluation criteria, and submission templates for the development of IMTAdvanced"
- [5] ITU-R, Report ITU-R M.2134 "Requirements related to technical system performance for IMTAdvanced Radio interface(s)"
- [6] ITU-R, Report ITU-R M.2135 "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMTAdvanced"
- [7] 3GPP, RP-091000, Release 10 time plan
- [8] ITU-R WP5D/291, Initial 3GPP submission of a

- candidate IMT-Advanced technology
- [9] ITU-R WP5D/496, AN INITIAL TECHNOLOGY SUBMISSION OF 3GPP LTE RELEASE 10
 - [10] 3GPP, RP-090743, TR TR36.912 v9.0.0, Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA, September 2009
 - [11] 3GPP, RP-090745, Annex C1: Characteristics template
 - [12] 3GPP, RP-090746, Annex C2: Link budget template
 - [13] 3GPP, RP-090747, Annex C3: Compliance template
 - [14] 3GPP, RP-090744, Annex A3: Self-evaluation results
 - [15] ITU-R, WP5D/564-E, COMPLETE SUBMISSION OF 3GPP LTE RELEASE 10 & BEYOND (LTE-ADVANCED) UNDER STEP 3 OF THE IMT-ADVANCED PROCESS
 - [16] 3GPP, TR 36.913, "Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)", V8.0.0, June 2008

- [17] 3GPP, RP-091005, Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond
- [18] 3GPP, R1-094396, TR36.814, "Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9)", V1.4.0, September 2009

약 력



1992년 연세대학교 학사
1994년 연세대학교 석사
1998년 연세대학교 박사
1998년 LG전자 입사
현재 LG전자 무선선형기술 그룹 연구위원
관심분야 : 3G LTE 시스템, LTE-Advanced 시스템, 차세대 이동통신 시스템

윤 영 우

