

LTE-Advanced 표준 기술 (REL-10 동향 및 REL-11 전망)

윤영우

LG 전자

요 약

LTE-Advanced 표준 기술은 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 LTE 표준 기술의 후속 기술로 2008년 초부터 개발해오고 있는 기술이며, 차세대 이동통신 시스템의 국제 표준인 IMT-Advanced 표준 가운데 하나로 인준된 표준 기술이다. 현재, 최종 표준 완성을 목전에 두고 있는 상황이며, 완성된 표준에 대한 최종 ITU-R 표준 제출 과정이 진행 중에 있다. 본 고에서는 ITU-R의 IMT-Advanced 표준 발간 일정에 맞추어서 3GPP에서 진행해 온 논의 사항들에 대해 정리하고 또한 REL-10 LTE-Advanced 표준을 구성하고 있는 주요 요소 기술들에 대해 알아본다. 마지막으로 LTE-Advanced 기술에 대한 향후 표준화 방향 등에 대하여 알아본다.

I. 서 론

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 새로운 이동통신 기술로 시장에서는 이 기술들을 4세대 통신 기술이라고 부르기도 한다. 하지만, LTE와 Mobile WiMAX 기술은 ITU-R의 기술 분류에 의하면 HSPA, 1xEV-DO 기술과 마찬가지로 여전히 IMT-2000 family 표준으로 구분된다. IMT-2000이라는 용어는 통신 시장에 도입된

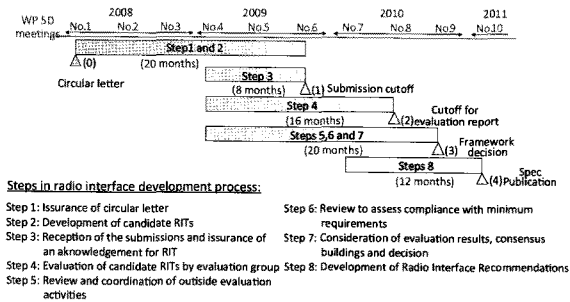
지 10년 가까이 지난 구시대의 용어로 새로운 시장 수요를 일으키는데 한계를 지니고 있다는 시각이 팽배해지기 시작했다. 이에 따라 '07년 말경부터 새로운 시장 기회를 일으킬 수 있는 마케팅 용어로서 IMT-Advanced라는 새로운 표준 기술에 대한 요구와 논의가 ITU-R을 중심으로 하여 본격적으로 시작되었다. 먼저 '07년 말 WRC' 07 (World Radio communication Conference)을 통해 추가적인 IMT 주파수 스펙트럼이 할당되었으며, 또한 ITU-R의 WP5D를 중심으로 한 논의를 통하여 '08년 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 진행하였다. 3GPP 내에서의 약 3년 간의 연구 결과를 바탕으로 하여, LTE에 대한 REL-10 표준으로 LTE-Advanced 기술에 대한 표준 승인을 이미 완료하였으며, 이에 대한 최종 수정 작업을 진행 중에 있다. 또한 REL-11에서 어떤 형태로 LTE-Advanced 기술을 발전시켜나갈 것인지에 대한 논의를 막 시작하고 있다.

ITU-R의 IMT-Advanced에 대한 자세한 표준 일정과 요구 사항 등에 대해서는 저자의 2009년 본 학회지 논문을 참고하기 바람 [1], 본 고에서는 이후 현재까지 LTE-Advanced 표준을 ITU-R의 국제 표준으로 발간하기 위해 어떤 활동들이 있었는지를 정리하고, REL-10 표준으로 발간된 LTE-Advanced의 주요 요소 기술들에 대하여 살펴본다. 또한, 마

지막으로 REL-11 LTE-Advanced 표준의 진화 방향에 대해 전망해 본다.

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

(그림 1)에는 IMT-Advanced에 대한 표준 작업 일정을 나타내었다 [2].



(그림 1) IMT-Advanced에 대한 표준 작업 일정

3GPP에서는 ITU-R에서 정의했던 IMT-Advanced에 대한 표준 개발 일정에 맞추어, 후보 기술 제출을 위한 필수 요구 사항들을 만족시켰다. 이 필수 요구 사항 중에는 LTE-Advanced 기술에 대한 3GPP의 자체 성능 평가 결과에 대한 제출을 포함하고 있으며 이를 2009년 10월 WP5D 6차 회의에 제출하였다[3]. 이후 ITU-R 차원에서 제안된 기술들에 대한 성능 평가 작업이 진행되었다. 성능 평가 작업은 ITU-R에 평가 그룹 (evaluation group)으로 등록되어 있는 단체들에 의해 이루어졌으며, 우리나라에서는 TTA 산하의 PG 707 작업반이 IMT-Advanced 후보 기술들에 대한 평가 그룹으로 등록되어 평가를 진행하였다. 각 외부 평가 그룹의 평가 보고서를 바탕으로 하여 2010년 6월 WP5D 8차 미팅에서는 LTE-Advanced 표준 기술이 ITU-R에서 정의하고 있는 4가지 채널 환경에서 최소 성능 요구 사항들을 모두 만족시키고 있음이 보고되었다. 이후 2010년 10월 WP5D 9차 미팅을 통해 IMT-Advanced 기술 인준에 대한 합의 도출 (consensus building)이 마무리된다. 즉, (그림 1)에 표현된 step 4~7까지

의 과정을 통해 LTE-Advanced 표준 기술은 IMT-Advanced 표준 기술로 최종 인준이 완료되었다. 현재는 (그림 1)에 나타난 step 8에 대한 작업이 진행되고 있다. Step 8에서는 IMT-Advanced 표준 기술로 인준된 기술들에 대해 2012년 1월에 개최되는 RA (Radio communication Assemblies)-12에서 최종 승인하는 것을 목표로 IMT-Advanced 권고 초안 (IMT.RSPEC)을 작성하는 단계이다.

ITU-R에서 IMT-Advanced에 대한 권고 초안을 기술하기 위해 정의하고 있는 방법은 크게 2가지가 있다. 첫 번째는 IMT.RSPEC 내에 상세한 기술 표준들을 직접 기술하는 방식이며 이를 DIS (Directly Incorporated Specification)라고 명명하고 있다. 이 방식은 기술에 대한 표준이 그리 많지 않아 IMT.RSPEC 내에서 단독 기술이 가능한 경우 적용될 수 있다. 하지만 3GPP의 LTE-Advanced 표준을 살펴보면 물리 계층 표준들로부터 시작하여 상위 계층의 표준들 그리고 핵심망의 표준들을 망라하게 되므로, 이들을 하나의 IMT.RSPEC 내에 모두 직접 기술하기는 사실 상 불가능하다. 이런 상황을 위하여 정의하고 있는 두 번째 방식이 GCS (Global Core Specification)이다. GCS는 하나의 RIT (Radio Interface Technology) 혹은 SRIT (Set of RIT)를 정의하는 표준들의 집합으로 정의된다. 실제 GCS의 구성 형태를 보면 표준기술에 대한 전체적인 개요와 요약 내용이 정리되고, 이후 실제 표준을 구성하는 표준 번호들이 제공된다. 또한 3GPP 표준을 각 국가의 표준으로 전환 (transpose)하여 발간하는 국가별 SDO (Standard Development Organization)에서 제공하는 SDO 별 표준 reference 번호를 추가로 제공한다.

WP5D에서는 상기한 방법으로 IMT.RSPEC에 대한 GCS를 제정하기 위해 크게 2단계의 일정을 제시하였다. 먼저 2011년 4월 WP5D 10차 미팅에서 GCS에 대한 요약본과 GCS를 구성하는 표준 번호를 포함한 GCS 자체 문서를 제출하여 승인하는 과정을 진행하였다. 다음으로 WP5D 12차 미팅에서는 각 국가별 SDO에서 전환된 표준 reference 번호가 추가된 최종 GCS에 대한 승인 작업을 진행할 예정이다. 이후 IMT.RSPEC에 대한 ITU-R차원의 최종 승인 작업은 RA-12에서 이루어질 예정이다.

3GPP에서는 무선접속에 대한 표준 개발을 담당하는 RAN (Radio Access Network) 총회 (plenary) 산하에 ITU-R adhoc 을 두고, 이를 통해 WP5D로 제출해야 할 요구 문서들을 작

성해왔다. 2010년 9월 49차 RAN 총회부터 LTE-Advanced에 대한 GCS를 준비하기 위한 작업을 시작했으며, 실제 GCS에 포함될 LTE-Advanced 표준 번호는 2010년 12월 50차 RAN 총회에서 승인된 REL-10 표준들에 근간하여 작성되었다. 그리고 올해 10월 최종 제출될 GCS를 위해 각 SDO가 제공할 reference 표준 번호는 초기 승인된 3GPP 표준들에 대하여 2번의 주요 수정 작업을 진행한 올해 6월 승인 예정 표준들에 대한 SDO 별 전환 표준들의 번호이다.

3GPP 내에서 GCS를 준비하면서 한 가지 이슈가 되었던 사항은 무선 중계기(Relay)와 관련된 표준을 GCS에 포함시킬 것인지에 대한 여부였다. 무선 중계기에 대한 무선 접속 표준은 RF에 대한 요구 사항을 제외하면 모두 완료된 상황이지만, REL-10 발간 일정 내에서 중계기에 대한 security를 어떤 식으로 정의할 것인지에 대한 논의가 완료될 수 있을지 명확하지 않았던 관계로 중계기 표준 자체를 GCS 표준에 포함시키지 않는 방안이 대해서도 논의가 있었다. 하지만, 중계기의 security 문제를 담당하고 있는 3GPP SA2 작업반에서 논의를 서둘러 진행하여 REL-10 발간 시기에 맞추어 중계기의 security 측면에 대한 기술 개발을 완료하였으며, 이에 따라 중계기와 관련된 표준들도 GCS에 포함하여 제출되었다.

마지막으로 GCS에 포함된 무선 접속 규격은 IMT-Advanced 기술을 목표로 하여 REL-10 발간 일정에서 개발한 3GPP LTE의 REL-10 표준 규격들이지만, 핵심망(Core Network) 규격은 IMT-Advanced를 목표로 한 특별한 작업을 진행하지 않았기 때문에 REL-8/9에서 개발되었던 핵심망 규격들에 대한 표준이라는 점을 유념할 필요가 있다. 즉, ITU-R에 제출된 IMT-Advanced 기술로서의 LTE-Advanced는 3GPP LTE의 REL-10과 그 이후의 무선 접속 규격 들 및 REL-8/9과 이후의 핵심망 규격들로 정의할 수 있다.

Ⅲ. LTE-Advanced의 REL-10 표준화 동향과 주요 요소 기술

3GPP는 자체 표준 발간 일정을 가지고 있으며, LTE-Advanced 표준은 상기한 바와 같이 3GPP LTE의 REL-10 표

준을 근간으로 한 표준 기술로 이해할 수 있다. 현재 3GPP의 표준 발간 일정에 따르면 REL-10 표준에 대한 stage 3 freezing을 2011년 3월 완료하고 2011년 6월 ASN.1 freezing을 목표로 한다[4]. 이때 stage 3 freezing은 규격의 완성도가 거의 100%라고 볼 수 있는 단계로 SA 총회에서 승인하는 몇 가지 예외 사항들을 제외하고는 더 이상 미해결 이슈들이 존재하지 않는 표준화 단계를 의미한다. 다음으로 ASN.1 freezing은 3GPP의 규격 종료를 위해 정의되는 freezing의 최종 단계로서 RRC 규격, SI/X2-AP 규격에 적용되는 단계이며, 이 freezing이 완료되고 나면, 오직 하위 호환 가능한 수정 작업만이 허용된다.

하지만 이러한 3GPP의 표준 발간 일정이 LTE-Advanced 표준 기술에 대한 전반적인 완성도를 나타내는 것으로 해석하는 것은 곤란하다. 실제로 LTE-Advanced에 대한 초기 study item에서 주요 요소 기술들로 생각되었던 많은 기술 아이템들이 REL-10 표준 발간 일정 상의 문제로 REL-11으로 순연되었다. 즉, LTE-Advanced study item에서 연구되었던 여러 가지 진보된 기능 들 가운데, IMT-Advanced에서 요구하고 있던 시스템 요구 사항과 성능 요구 사항을 만족시키기 위하여 반드시 필요한 높은 우선 순위를 가지는 일부 기능들만을 REL-10 규격에 포함시키고 나머지 여러 가지 최적화 기능들 혹은 진화 기술들에 대해서는 REL-11에서 논의하게 될 예정이다.

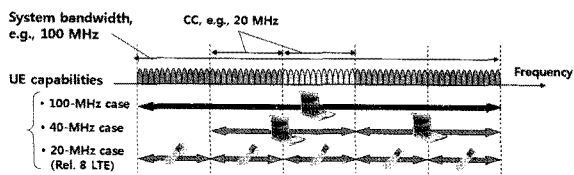
이 절에서는 REL-10 발간 일정 내에서 표준 작업이 진행된 LTE-Advanced의 주요 요소 기술 들에 대하여 알아본다.

앞 절에서 기술한 바와 같이 LTE-Advanced 표준은 REL-10과 그 이후의 LTE 표준 진화 기술로 정의되지만 본 고에서는 LTE-Advanced의 study item 단계에서부터 IMT-Advanced 기술을 목표로 하여 연구를 진행했던 몇 가지 요소 기술 항목들에 대해 초점을 맞추어 설명한다[5-14].

(1) 반송파 결합 기술 (Carrier Aggregation)

LTE-Advanced 요구 사항에 따르면 LTE-Advanced 시스템은 최대 100MHz까지의 시스템 대역폭을 지원해야 한다. 또한 IMT-Advanced의 요구 사항에는 40MHz까지 scalable한 주파수 확장이 지원되어야 한다고 요구하고 있다[15]. 이러한 대역폭의 확장을 통하여 최대 데이터 전송 속도에 대한 향상을 얻고자 하는 것도 LTE-Advanced 표준의 중요한 목

적 중의 하나라고 하겠다. 이와 동시에, LTE-Advanced 표준의 다른 요구 조건 중의 하나는 legacy LTE와의 하위 호환성(backward compatibility)을 보장해야 한다는 것이다. 위의 두 가지 요구 사항을 모두 충족시키기 위해 고려되고 있는 방법이 반송파 결합 기법을 통한 대역폭 확장 기술이다. 즉, 기존의 legacy LTE 단말이 수신할 수 있는 대역폭이 최대 20MHz이므로, 이보다 넓은 시스템 대역폭을 지원하기 위해서는 20MHz 혹은 그보다 작은 단위 반송파(component carrier)들을 여러 개 결합시키는 방법을 사용한다. 이러한 방법의 하나의 예를 (그림 2)에 나타내었다 [15].



(그림 2) 반송파 결합 기법

(그림 2)에 나타낸 예에서는 20MHz 단위 대역폭을 5개 결합하여 총 100MHz의 시스템 대역폭을 형성하는 경우를 가정하고 있다. 이때 legacy UE들은 5개 가운데 하나의 단위 반송파 상에서 통신을 수행하게 되며, REL-10 이후의 UE들의 경우, UE capability에 따라 2개 혹은 그 이상의 단위 반송파들을 결합하여 광대역으로 통신을 수행하게 된다.

(그림 2)에서는 각각의 대역들이 서로 연속되어 있는 연속 반송파 결합 기술을 가정했으나, 실제로 많은 이동 통신 사업자들이 관심을 가지고 있는 시나리오는 서로 다른 주파수 밴드에 존재하는 비연속적인 주파수 대역들을 활용한 대역폭 확장 기술이다. 이러한 기법이 필요한 이유는 기본적으로 통신 사업자들에게 할당된 주파수 대역들이 조각나있어서, 100MHz의 연속적인 광대역을 할당할 수 있는 주파수 영역이 많지 않다는 점에 기인한다. 또한 이동통신 사업자들의 관점에서는 자신들이 현재 가지고 있는 주파수 대역들에 대한 re-farming 과정과 그 주파수 대역들에 대한 결합 기법의 사용을 통해 LTE-Advanced에서 요구하는 광대역의 시스템 대역을 확보할 수 있기 때문에 매우 매력적인 시나리오라고 생각할 수 있다. 하지만 이러한 비연속 반송파 결합 방식을 지원하기 위해서는, 단말기의 RF 필터 등의 복잡도가

증가하게 되는 것이 불가피할 것이다.

먼저, REL-10 발간 일정에서 지원하는 반송파 결합 시나리오에 대하여 알아본다. 우선, REL-10 물리 계층 표준과 시그널링 표준에서는 최대 5개까지의 반송파 결합이 가능하도록 표준화 작업이 진행되었다. 하지만 지원 가능한 deployment 시나리오를 결정하고 이에 대한 RF 요구 사항 등을 정하는 RAN4 작업반의 REL-10 발간 일정 상의 문제로 인해, 지원되는 반송파 결합 시나리오는 표 1에 나타낸 몇 가지 시나리오로 한정되어 있다 [16].

<표 1> REL-10 LTE-Advanced 주파수 결합 시나리오

Number of CC for Interband case			
		Band 5 (800MHz)	Band 1 (2GHz)
Case 1(O)	UL	1 (10MHz)	0
	DL	1 (10MHz)	1 (10MHz)
Case 2(O)	UL	0	1 (10MHz)
	DL	1 (10MHz)	1 (10MHz)
Case 3 (X)	UL	1 (10MHz)	1 (10MHz)
	DL	1 (10MHz)	1 (10MHz)
Number of CC for Intra-band case			
		Band 5 (800MHz)	Band 1 (2GHz)
Case 4 (O)	UL	0	2 (40MHz)
	DL	0	2 (40MHz)

<표 1>에 나타낸 바와 같이 동일 주파수 밴드 내의 반송파 결합(Intra-band carrier aggregation)의 경우에는 상향 링크와 하향 링크 모두 20MHz 대역을 2개까지 결합하여 40MHz 시스템 대역폭을 지원하도록 되어 있다. 하지만, 이 시나리오는 실제로 40MHz의 연속 대역을 할당 받은 통신 사업자가 존재하지 않는 관계로 통신 사업자들이 많은 관심을 가지는 시나리오는 아니며, 단지 ITU-R의 IMT-Advanced에 대한 요구 사항을 만족시키기 위한 시나리오이다.

실제로 많은 통신 사업자들이 관심을 가지고 있는 반송파 결합 시나리오는 서로 다른 밴드 내의 불연속 대역들에 대한 결합 시나리오이다. 특히 통신 사업자들마다 자신들이 현재 실제로 보유하고 있는 주파수 대역에 대한 결합 시나리오에 대해 먼저 표준 작업을 진행하려 했기 때문에 소모적인 논란이 많이 있었다. 이에 따라 일단 REL-10 표준에서

는 특정 사업자에게 유리하지 않은 shadow 조합으로 밴드 1과 밴드 5의 결합 시나리오에 대한 RF 요구 사항들에 대해 먼저 정리하기로 합의하였다. 물론 밴드 1과 밴드 5의 결합 시나리오에서 정의된 여러 RF 요구 사항들은 향후 다른 실제적인 밴드 결합 시나리오를 정의함에 있어 기본적으로 재 활용될 수 있을 것이다.

또 한가지 RAN4 작업반에서 진행하고 있는 반송파 결합 시나리오에 있어서 주목할 만한 사항은 이 시나리오들은 Release-Independent한 특징을 가진다는 것이다. 즉, REL-11 발간 일정 상에서 정의될 반송파 결합 시나리오에 대한 RF 요구 조건들을 REL-10 표준을 따르는 UE나 eNB가 실제 망에 배치되기 전에 완성할 수 있다면 이러한 결합 시나리오를 REL-10 UE나 eNB가 사용하는 것이 가능하다는 것이다.

(그림 3)에는 현재 3GPP에서 생각하고 있는 반송파 결합 기법과 이를 이용한 셀 배치 시나리오들을 나타내고 있다 [5]. F1과 F2는 각각 반송파 결합 기법에서 사용되는 주파수 대역을 의미하며 하나의 독립적인 셀을 형성한다.

먼저 시나리오 1은 F1 셀과 F2 셀이 서로 동일한 위치에 존재하며, 두 셀의 커버리지 역시 거의 비슷한 시나리오이다. 이 시나리오는 F1 셀과 F2 셀이 서로 같은 밴드 내에 있는 주파수 대역일 경우 전형적으로 예측할 수 있는 셀 배치 시나리오이다.

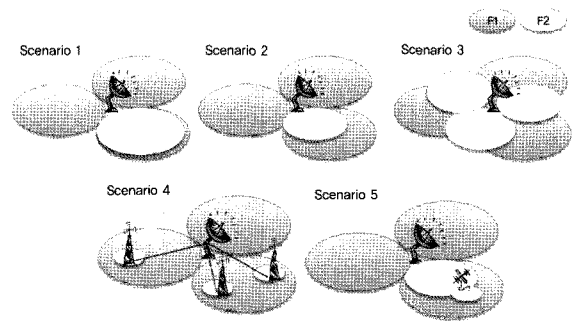
다음으로 시나리오 2는 F1 셀과 F2 셀이 같은 지역에 위치하고 있으나 서로 다른 커버리지를 가지는 경우에 대한 시나리오이다. 이 시나리오는 F1과 F2가 서로 다른 주파수 밴드 내에 존재하는 경우에 대한 전형적인 셀 배치 시나리오로 볼 수 있다.

시나리오 3는 F1 셀과 F2 셀이 같은 지역에 위치하고 있지만 F2 셀에서 사용하는 안테나의 방향성 조절을 통해 F1 셀의 가장자리 영역을 커버할 수 있도록 하여 셀 경계에서의 데이터 처리율을 높일 수 있는 셀 배치 시나리오이다. 이러한 셀 배치 시나리오 또한 F1과 F2가 서로 다른 주파수 밴드에 위치하는 경우 고려할 수 있는 전형적인 시나리오 중의 하나일 것이다.

마지막으로 시나리오 4와 시나리오 5는 RRH (remote radio head) 혹은 주파수 선택적 리피터 (repeater)를 사용하는 경우에 대한 셀 배치 시나리오를 나타내며 F1과 F2가 서로 다른 주파수 밴드에 있을 경우 전형적으로 고려할 수 있

는 셀 배치 시나리오이다. 위와 같은 주파수 선택적 repeater를 고려한 셀 배치 시나리오를 고려한다면 F1 대역과 F2 대역 사이의 상향링크 시간 지연 값이 서로 매우 다른 값을 가지게 될 것이며, 이에 따라 현재 REL-10에서 가정하고 있는 반송파 간에 동일한 timing advance를 적용하기는 매우 어려울 것으로 예측된다.

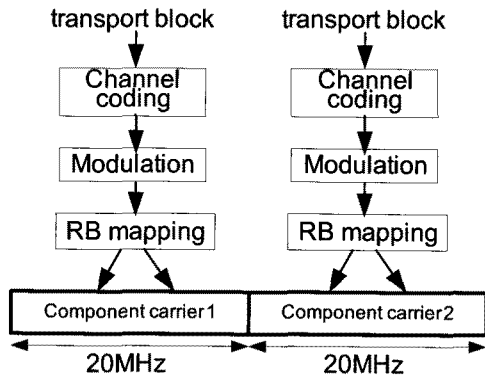
따라서 REL-10의 하향 링크에서는 시나리오 1부터 시나리오 5까지의 모든 셀 배치 시나리오를 지원하며, 상향 링크의 경우 확실하게 지원 가능한 셀 배치 형태는 시나리오 1이며 시나리오 2와 시나리오 3의 경우에는 동일 timing advanced의 적용을 통한 어느 정도의 성능 열화를 감수하면서 지원 가능할 수 있을 것이다. 하지만, 시나리오 4와 시나리오 5의 경우에는 F1 대역과 F2 대역의 상향 링크 시간 지연 값이 너무 심한 차이를 가지게 되므로 이를 보상할 특별한 기제를 마련하지 않은 REL-10의 상향 링크에서는 동작하기 어려운 셀 배치 시나리오라고 생각할 수 있을 것이다.



(그림 3) 반송파 결합 기법의 셀 배치 시나리오

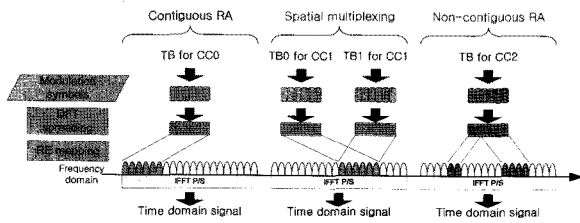
반송파 결합을 통하여 광대역의 시스템 대역을 지원하기 위해서는 여러 가지 물리 계층과 시그널링 계층의 지원이 필요하다. 그 중 하나는 한 UE의 관점에서 트랜스포트 블록 (Transport block)을 어떤 방식으로 단위 반송파 상에 사상시킬 것인지에 관한 문제이다. (그림 4)에는 하향 링크의 단위 반송파와 트랜스포트 블록 사이의 사상 관계를 나타내었다 [17]. 그림에 나타난 바와 같이 하나의 HARQ process와 하나의 트랜스포트 블록을 하나의 단위 반송파에 사상시키는 방법을 통해 REL-8 LTE 시스템과의 공통성을 강조한 단순 확장 형태로 기술을 정의하였다. 물론 UE capability에 따라

하나의 UE에 전송되는 데이터를 다수 개의 단위 반송파에 동시에 전송하는 것도 가능하다.



(그림 4) 트랜스포트 블록과 단위 반송파 사이의 사상 관계 (참고문헌 17의 그림 인용)

(그림 5)는 상향 링크에서 사용하는 반송파 결합 기법과 관련된 여러 결정 사항들을 축약하여 나타내고 있다.



(그림 5) 상향 링크 반송파 결합 방식과 자원 할당 방식

REL-8 LTE 표준의 상향 링크에서는 잘 알려진 바와 같이 PAPR (Peak to Average Power Ratio) 특성을 개선하기 위해 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 방식을 적용하였다. 이 방식은 단일 반송파 성질을 위해 주파수 영역에서 연속적인 대역 할당만이 가능한 방식이었다. 이에 반해 LTE-Advanced에서는 SC-FDMA의 사용으로 인한 여러 가지 설계 상의 제약 사항들을 완화시키기 위해 clustered SC-FDMA 방식을 사용하는 것에 합의하였다. 즉, 기존의 SC-FDMA의 경우 주파수 영역에서 비연속적인 자원 할당이 불가능했던 것에 비하여 clustered SC-FDMA 방식에서는 DFT 확산의 출력 부분을 IFFT 단으로 입력하기 전에 비연속적인 자원 블록 상으로 cluster 단위로 할당할 수

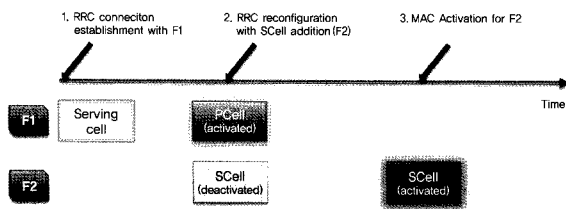
있게 하였다. 이러한 방식의 자원 할당을 허용하게 되면, 기지국 입장에서 조각난 주파수 영역을 보다 효율적으로 사용할 수 있기 때문에 상향 링크의 셀 처리 효율을 증가시킬 수 있을 것이며, 또한 보다 많은 스케줄링 유연성을 확보할 수 있게 된다. 하지만 이런 식으로 비연속적인 cluster 단위의 자원 할당을 하게 되면 기존의 SC-FDMA에 비하여 PAPR 특성이 나빠지며 성능의 열화 정도는 할당되는 cluster의 개수에 비례한다. 또한 비연속적인 자원 할당 현황을 UE에게 알려주기 위한 제어 신호의 오버헤드 또한 cluster의 개수와 비례할 것이며, 이에 따라 REL-10에서는 cluster의 개수를 2개까지 지원하는 것으로 합의하였다. 이러한 비연속 자원 할당 기법의 개념도를 (그림 5)의 가장 오른쪽에 나타내었다.

상향 링크의 다중 접속 방식과 관련하여 많은 관심을 끌었던 또 다른 이슈는 상향 링크에 공간 다중화 (SM: Spatial Multiplexing) MIMO 방식을 적용하는 경우, OFDMA를 추가적으로 사용할 것인가에 대한 논의였다. 많은 회사들이 공간 다중화 MIMO 방식을 사용하는 경우 SC-FDMA에 비하여 OFDMA를 사용하는 것이 성능 이득 면에서 바람직하다고 주장하였다. 하지만, SC-FDMA를 사용하는 경우에도 turbo-SIC (Turbo serial interference cancellation)과 같은 고급 수신 기법을 적용하게 되면 큰 성능의 열화를 막을 수 있으며, 또한 이로 인한 복잡도의 증가는 기지국 수신기의 문제이므로 큰 문제가 아니라는 반대편의 주장도 팽팽하게 맞섰다. 결과적으로, 기존 상향 링크에 정의되어 있는 SC-FDMA에 비하여 추가적인 기법을 정의할 동기가 부족하다는 주장이 힘을 얻어, 상향 링크에서 공간 다중화 방식의 MIMO 방식을 사용하는 경우에도 기존의 SC-FDMA 방식을 유지하는 것으로 합의되었다

마지막으로 상향 링크에서 반송파 결합을 사용하여 광대역 전송을 하게 될 경우 어떤 방식으로 SC-FDMA 방식을 적용할 것인가에 관한 정의가 필요하며, 이를 위해 각각의 단위 반송파 마다 하나씩의 DFT 확산을 적용하여 N개의 SC-FDMA를 동시에 적용하는 Nx SC-FDMA 방식을 사용하기로 하였다. 이 방법은 기존의 REL-8 LTE 표준을 대역폭 결합 방식에 맞추어 확장하는 가장 직관적인 방법으로 볼 수 있다.

지금까지 여러 개의 주파수 대역을 결합하는 경우 상향 링크와 하향 링크에서 어떤 형태로 데이터를 형성하고 보내는 지에 대해 간략하게 설명하였다.

이제부터는 실제로 UE에게 어떤 절차를 통해 반송과 결합 기법을 적용하는지에 대해 간략하게 설명한다. LTE-Advanced의 반송과 결합 기법에 있어서 가장 중요한 개념이 PCell (Primary Cell)과 SCell(Secondary Cell)이라는 개념이다. 일단 3GPP 표준에서는 하나 하나의 단위 반송과 대역들을 하나의 독립된 셀로 부른다는 점을 상기한다. 이때 PCell이라는 것은 반송과 결합 기법을 운용함에 있어 UE가 우선적으로 사용하게 되는 셀이라고 볼 수 있으며, UE가 RRC connection establishment/re-establishment/handover 절차를 진행함에 있어 NAS mobility 정보 혹은 security와 관련된 정보를 받을 수 있는 오직 하나의 서빙 셀로 정의한다. 이때 PCell은 시스템에 특정하게 정의되는 것이 아니라 UE 별로 특정하게 정의된다. 특정 UE에게 어떤 셀을 PCell로 지정하게 되면 다른 셀을 PCell로 바꾸는 것은 오직 핸드오버 절차를 통해서만 가능하다. 그리고 앞에서 설명한 바와 같이 UE는 자신의 capability에 따라 PCell과 더불어 다수 개의 SCell 상에서 추가적으로 데이터를 전송하거나 받을 수 있다. 이때 SCell은 PCell과 달리 MAC CE (Control Element)에 의해 dynamic하게 활성화시키거나 혹은 비활성화시킬 수 있으며, 이를 통해 UE의 전력 소모를 최소화할 수 있다. 상술한 바와 같이 현재 물리 계층 표준과 시그널링 표준 상에서 지원되는 SCell의 개수는 UE 당 최대 4개까지이지만 실제 RF 요구사항에서 정의하고 있는 SCell의 개수는 REL-10에서는 1개만을 고려하고 있다.



(그림 6) PCell과 SCell 할당 절차

(그림 6)에는 한 UE에게 어떤 형태로 PCell과 SCell을 할당 하는지에 대한 절차를 나타내었다. 하향 링크에서 PCell이 정해지면 상향 링크의 PCell은 하향 링크의 PCell에 대해 SIB2 메시지에 의해 연결되어 있는 반송파로 결정된다. PCell과 SCell에서 수행할 수 있는 동작에 대해 <표 2>에 간

략하게 정리하였다. <표 2>에서 알 수 있는 바와 같이 UE와 기지국 사이의 링크를 열거나 링크를 유지하기 위해 링크 품질을 감시하는 등 기본적으로 REL-8/9에서 사용되었던 절차들은 모두 PCell에서만 수행되며, SCell은 단지 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), PUSCH (Physical Uplink Shared Channel), 그리고 PDCCH (Packet Data Control Channel) 등만이 전송될 수 있는 대역이다.

<표 2> PCell과 SCell에서의 동작

	PCell	SCell
Random Access	O	X
PUCCH transmission	O	X
RLF (Radio Link Failure) monitoring	O	X
SPS transmission	O	X
UL timing adjustment	O	X
Monitoring broadcast signaling of system information	O	Dedicated signaling
PDCCH/PDSCH/PUSCH	O	O

물리 계층의 관점에서 하나의 UE가 1개의 PCell과 최대 4개의 SCell까지 지원할 수 있도록 하기 위해서는 여러 가지 고려 사항이 필요하며, 특히 5개까지의 하향 링크 셀들을 지원하기 위해 상향 링크로 전송되는 제어 채널인 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)를 어떤 형태로 설계하고 운영할 것인지에 대한 많은 새로운 기법들이 도입되었다. 대표적으로 다수 개의 하향링크 셀을 사용할 때에 상향 링크로 전송해야 하는 ACK/NACK 비트의 수가 REL-8/9에 비해 크게 늘어나게 되며 이를 지원하기 위한 새로운 PUCCH 포맷 (PUCCH format 3) 혹은 새로운 채널 선택 (Channel Selection) 방법 등이 정의되었다.

또한 PCell과 SCell에서 전송되는 PDCCH가 자신의 셀에 대한 스케줄링 정보만이 아니라 타 셀의 PDSCH 혹은 PUSCH에 대한 스케줄링을 가능하게 하는 반송과 교차 스케줄링 (cross carrier scheduling) 기법을 정의하여 특정 셀의 PDCCH 전송 load를 조절할 수 있도록 설계되었다는 것도 LTE-Advanced의 반송과 결합 기법 설계의 중요한 특징이라고 할 수 있다.

반송과 결합 기법은 REL-10 LTE-Advanced를 REL-8/9 LTE와 구분할 수 있는 가장 특징적인 요소 기술로 생각할 수 있으며, 이에 따라 RAN1 작업반과 RAN2, RAN3 작업반에서

가장 많은 시간을 투자했던 요소 기술이다.

(2) 하향링크의 진화된 MIMO 기술 [6~9]

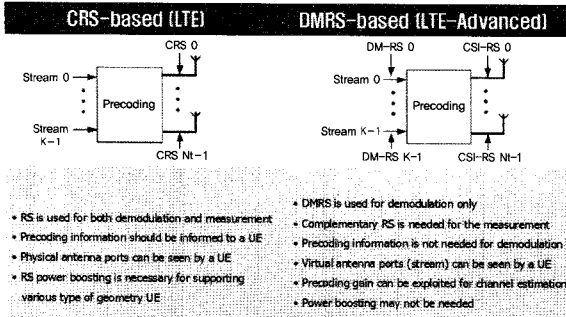
LTE-Advanced 표준의 자체 요구 사항에 따르면 하향 링크에서 30bps/Hz의 최대 스펙트럼 효율을 달성시켜야 한다. 일반적으로 최대 데이터 전송 속도를 높이기 위해 많이 사용하는 방식은 고차의 변조 방식을 적용하는 것이다. 물론 무선 환경에서 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 이상의 변조 방식을 사용하는 것이 불가능 하지는 않으나 효율성 면에서 문제가 될 수 있다. 따라서 64QAM의 변조 방식을 사용하는 것을 가정하면, 채널 부호율을 1에 가깝게 사용한다고 하더라도 LTE에서 최대로 정의된 하향 링크 4x4 MIMO를 통한 요구사항 충족은 불가능한 상황이다. 이때 사용할 수 있는 하나의 방법이 랭크 (rank) 4 이상의 고차의 MIMO 공간 다중화 방식을 사용하는 것이다. 현재의 요구 사항인 30bps/Hz의 최대 스펙트럼 효율을 달성하기 위해서는 랭크 8의 공간 다중화 방식을 요구하며, 이는 결과적으로 하향 링크에서 8x8의 MIMO 방식을 사용해야 함을 의미한다. 물론 이러한 극단적인 MIMO 안테나 구성 방식이 LTE-Advanced 표준이 지향하는 일반적인 설계 방식은 아니며, 단지 최대 스펙트럼 효율을 만족시키기 위한 부차적인 목적으로 생각할 수 있다.

그렇지만, 랭크 8의 MIMO를 표준 상에서 지원하기 위해서는 여러 이슈들에 대한 기술적인 고려가 필요하다. 먼저 어떤 방식으로 8개의 안테나를 지원하기 위한 기준 신호 (RS: Reference Signal)을 정의해야만, 오버헤드를 최소화하면서도 단말기의 채널 추정 성능의 열화를 막을 수 있을 것인가는 매우 중요한 설계 이슈라고 볼 수 있다. REL-8 LTE에서는 4개의 기지국 안테나를 지원하기 위하여 4개의 안테나 포트 (antenna port)에 대한 셀 특정 (cell specific) 기준 신호를 정의하여 모든 서브프레임에 전송하는 방식을 사용하였다. 여기서 셀 특정 기준 신호는 셀 내에 존재하는 모든 단말기들이 공통으로 사용하게 되므로 공통 기준 신호 (CRS: Common Reference Signal)라고 불린다. 하지만 LTE-Advanced 시스템에서는 8개의 안테나를 이용한 전송 방식이 기지국 혹은 단말기의 기본적인 동작 방식이라고 생각하기 어려우며, REL-8 LTE에서 사용했던 방식으로 항상 8개의 안테나에 대한 기준 신호를 셀 특정 방식으로 전송하는 것

은 오버헤드 측면에서 매우 바람직하지 못하다. 따라서 8개의 안테나에 대한 데이터 복조 (demodulation)에 사용하게 될 기준 신호를 셀 특정 방식이 아니라 패킷 데이터를 수신하는 특정 단말이 한정적으로 사용할 수 있도록 UE specific 한 방식으로 전송하며, UE specific 한 기준 신호는 해당 단말에게 패킷 데이터를 전송하게 될 특정한 자원 블록 내에만 포함시키면 된다. 이러한 기준 신호는 기지국의 신호에 대한 복조 과정에서 사용되기 때문에 DM-RS (Demodulation Reference Signal)라고 불린다. 이때, UE specific DM-RS는 PDSCH의 MIMO 전송에서 사용할 전치부호 (pre-coding)와 동일한 전치부호를 걸어준다. 이렇게 PDSCH가 스케줄링 되는 특정 자원 블록에만 전송되는 UE specific 기준 신호는 기지국과 단말기 사이의 무선 채널의 품질을 보고하기 위한 CQI (channel quality indicator)를 생성하기 위한 채널 측정에는 사용할 수 없으며, 따라서 이러한 목적으로 CSI (Channel Status Information)-RS라는 새로운 기준 신호를 정의하였다. CSI-RS는 채널의 측정을 위하여 셀 내의 모든 단말들이 공통으로 사용하는 기준 신호를 의미하며, 셀 내의 단말기들은 이 신호를 바탕으로 CQI, PMI (Pre-coding Matrix Index), RI (Rank Indicator) 등을 결정하기 때문에 전체 시스템 대역 상에 골고루 분포하도록 설계된다. 이 기준 신호는 셀-특정 방식으로 모든 단말기들이 수신할 수 있다는 점에서 REL-8 LTE 표준에 정의되어 있는 CRS와 비슷한 성질을 가지지만, 그 전송 주기가 CRS에 비하여 매우 낮다는 특징을 가진다. 이는 일반적으로 CQI나 PMI 혹은 RI를 생성하기 위하여 필요한 기준 신호는 시간 축에서 매우 드물게 전송되더라도 전체적인 성능에 큰 영향이 없기 때문이다. 이에 따라 현재 LTE-Advanced 표준에서 정의하고 있는 CSI-RS의 전송 주기는 (5ms, 10ms, 20ms, 40ms, 80ms) 중의 하나의 값으로 결정된다. 정리하면, 기존 LTE에서는 다수 개의 안테나를 지원하기 위해 다수 개의 안테나 포트에 대하여 CRS를 정의하는 방식을 사용했던 것에 반해, LTE-Advanced 표준에서는 UE specific DM-RS와 CSI-RS를 함께 사용하여, 8개의 안테나를 사용하는 경우에 발생할 수 있는 기준 신호에 의한 오버헤드를 최소화하는 방식을 사용하는 것이다.

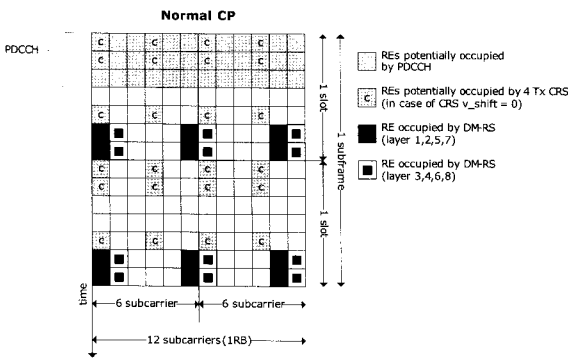
(그림 7)에는 CRS를 바탕으로 하여 동작하는 LTE의 MIMO 방식과 DM-RS 방식을 사용하여 동작하는 LTE-Advanced 방

식에 대하여 간략하게 특징을 비교하고 있다.



(그림 7) CRS 기반 MIMO 방식과 DM-RS 기반 MIMO 방식 간의 비교

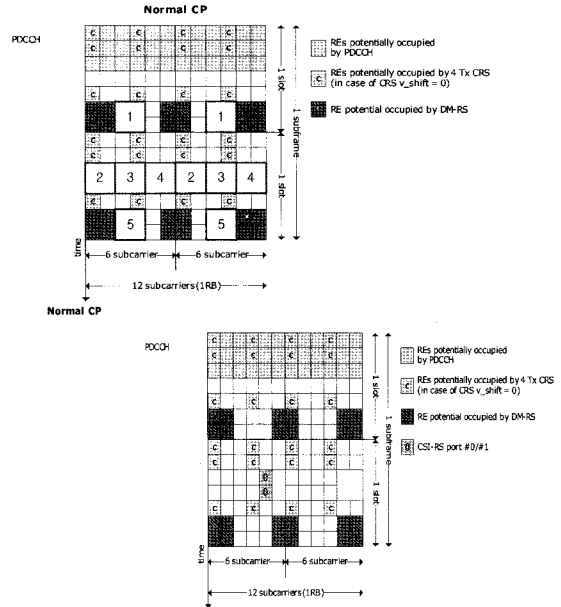
(그림 8)은 normal CP (Cyclic Prefix)를 사용하는 경우, LTE-Advanced 표준에서 정의된 DM-RS 전송 패턴을 나타내고 있다. 총 8개까지의 레이어(layer)를 2개의 레이어 그룹 ((1, 2, 5, 7) 레이어와 (3, 4, 6, 8) 레이어)으로 나누고 레이어 그룹 내에서는 왈쉬 코드(Walsh Code)를 통한 코드 분할 방식을 통해 직교 다중화를 시키고 레이어 그룹 간에는 서로 다른 주파수를 사용하여 직교화를 시키는 주파수 분할 방식을 사용하고 있다. 즉, 코드 분할 방식과 주파수 분할 방식의 혼합 방식을 통해 최대 8개까지 레이어들에 대한 DM-RS를 전송한다.



(그림 8) LTE-Advanced의 DM-RS 다중화 방식

CSI-RS의 다중화 방식에 대해서는 (그림 9)에 나타내었으며 코드분할 방식과 주파수 분할 방식의 결합을 통해 8개까지의 안테나에 대한 CSI-RS를 전송한다. (그림 9)의 왼편에 나타낸 CSI-RS 전송 위치는 FDD 전송 방식에서 정의하고 있

는 하나의 예를 나타낸 것으로 1번부터 5번까지 5개의 서로 다른 CSI-RS 전송 패턴을 정의하였다.



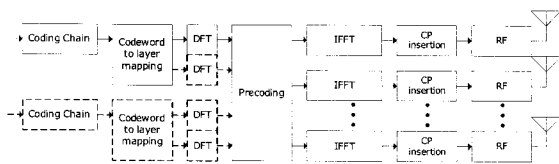
(그림 9) CSI-RS의 다중화 방식

그림 상에서 각각의 번호가 부여된 사각 블록들은 8개의 RE(Resource Element)들로 구성되며, 이들을 통해 8개의 안테나에 대한 CSI-RS를 전송하게 된다. 이때 2개의 안테나 포트에 대한 CSI-RS는 길이 2짜리 왈쉬 코드를 사용하여 코드 분할 다중화되고, 이렇게 코드 분할 다중화된 CSI-RS에 대해 주파수 분할 다중화를 취하여 최대 8개까지의 안테나 포트들에 대한 CSI-RS 신호를 전송하는 방식을 사용한다.

지금까지 8개의 전송 안테나를 사용하기 위한 DM-RS와 CSI-RS의 구성 방법에 대하여 살펴보았다. 이러한 RS 구성 방법 이외에도 8개의 안테나를 이용한 공간 다중화 방식을 정의하기 위해 결정된 새로운 합인 사항들이 다수 존재한다. 우선 LTE MIMO에서와 마찬가지로 한번에 하나의 UE에게 전송할 수 있는 최대 트랜스포트 블록의 개수는 2개로 제한한다. 이는 공간 다중화 이득과 다수 개의 트랜스포트 블록을 지원하기 위한 제어 오버헤드의 증가라는 트레이드-오프를 고려한 결정이다. 또한 각각의 트랜스포트 블록 별로 서로 다른 MCS (Modulation and Coding Scheme) 필드를 사용하며, 트랜스포트 블록 별로 1개의 ACK/NAK 비트를 사

다. 하지만, IMT-Advanced의 최대 주파수 효율 값을 만족시키기 위해서는 상향 링크에서도 2개의 전송 안테나를 사용하는 MIMO 시스템의 사용이 필수 불가결하다. 또한, LTE-Advanced에 대한 3GPP 내의 자체적인 목표 사항에 따르면 최대 4개까지의 전송 안테나를 사용하는 MIMO 방식을 정의해야만 상향 링크에서 15bps/Hz의 최대 스펙트럼 효율 값을 달성할 수 있다.

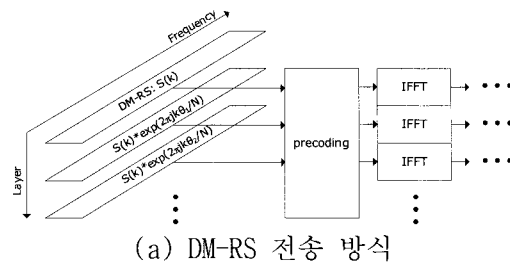
LTE-Advanced 표준에 정의되어 있는 단일 안테나에 대한 PUSCH 전송 방식은 단일 반송파 특성을 만족시키기 위해 DFT 확산 블록을 추가로 사용하는 SC-FDMA 방식이다. LTE-Advanced 표준에서는 이를 다중 안테나의 경우로 확장시킨 그림 10과 같은 전송 체인을 사용한다. 그림에서 알 수 있듯이, 단일 반송파 특성을 유지하기 위해 DFT 확산 블록을 그대로 유지하며 전치부호 블록은 다수 개의 안테나를 통한 전송의 경우에 있어서도 상향 링크의 단일 반송파 특성을 만족시킬 수 있도록 특별히 고안되었다. 이에 대해서는 추후 좀 더 자세히 설명한다.



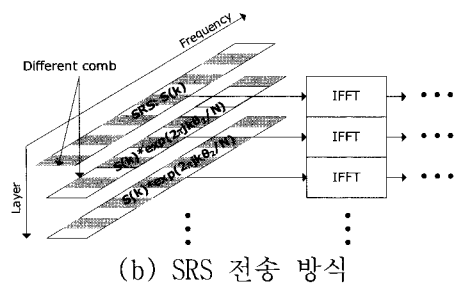
(그림 10) 다중 안테나 PUSCH 전송 방식

먼저, 상향 링크에서 MIMO를 적용하기 위해 사용하는 기준 신호들에 대해 설명한다. 기본적인 RS 전송 방식은 LTE 상향 링크와 유사하다. 즉, PUSCH에 대한 데이터 복조를 위해 DM-RS (DeModulation Reference Signal)가 PUSCH와 같은 대역폭 내의 특정 심볼 구간 동안 전송되고, PUSCH 스케줄링 등의 목적으로 사용되는 SRS (Sounding Reference Signal)는 SRS가 전송되도록 설정된 서브프레임의 맨 마지막 심볼 구간 동안, PUSCH 대역과 관계 없이 SRS 대역폭으로 설정된 대역폭을 차지하면서 전송된다. 기본적인 LTE 상향 링크에서 사용했던 방식에 비해 공간 다중화를 지원하기 위해 추가적으로 사용한 방식은 다음과 같다. 먼저 DM-RS의 경우, 다중 안테나의 각각의 레이어에 대해 DM-RS가 전송되며, 이때 각 레이어의 DM-RS들 간에 직교성을 제공하기

위해 하나의 CAZAC 시퀀스에 대해 서로 다른 시간 순환 천이 (cyclic shift)를 사용한다. 이때 레이어간의 직교성을 최대한 보장하기 위해 인접한 레이어들 간의 cyclic shift의 이격이 최대화될 수 있도록 cyclic shift 값을 설정한다. 이러한 방식은 단일 안테나에 대한 DM-RS 설계를 다중 레이어로 단순 확장한 것이라고 생각할 수 있다. 한 가지 REL-8의 DM-RS와 다른 특징적인 기법은 DM-RS에 대해 OCC (orthogonal cover code)를 사용하기로 한 것이다. 사용하는 OCC는 길이 2의 Walsh 코드이며, 이 코드를 하나의 서브프레임 내의 각각의 슬롯에서 전송되는 2개의 DM-RS 전송 심볼에 적용한다. 이 방식은 레이어 간의 DM-RS에 추가적인 직교성의 제공을 통해 간섭을 완화시키기 위한 것이며, 또한 다중 사용자 MIMO를 사용할 때, 함께 짝지어지는 사용자들의 PUSCH 대역폭이 반드시 같아야만 한다는 제약 사항을 없앨 수 있는 방법이기도 하다.



(a) DM-RS 전송 방식



(b) SRS 전송 방식

(그림 11) 다중 안테나를 위한 기준 신호 전송 방식 (a) DM-RS (b) SRS

SRS의 경우, 다중 안테나를 지원하기 위해 SRS 시퀀스의 cyclic shift를 달리 하여 직교성을 제공하는 방식 혹은 SRS의 주파수 comb을 달리하는 방식 혹은 이 둘 사이의 결합 방식을 사용한다. 또한 REL-8에서 사용했던 주기적인 SRS 전송 방식 이외에도 eNB가 급하게 상향 링크의 채널 정보를 알고

싶을 때 사용할 목적으로 비주기적으로 SRS 전송을 명령하는 방식을 추가로 정의하였다.

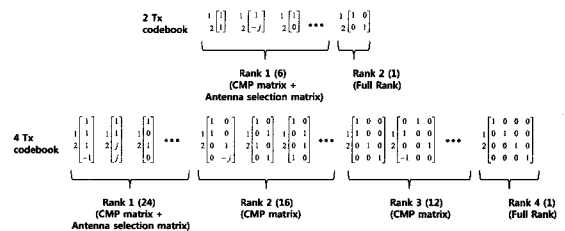
(그림 11)은 상향 링크에서 다중 안테나를 지원하기 위한 DM-RS와 SRS의 전송 방법을 도식화하여 나타낸 것으로 (그림 11)의 (a)에서 사용하는 전치부호는 (그림 10)의 PUSCH에서 사용하는 전치부호와 동일하며 상술한 바와 같이 단일 반송파 특징을 유지하도록 특별히 고안된 코드북을 사용한다.

상향 링크의 공간 다중화 방식에서는 하향 링크 MIMO에서 사용했던 방식과 유사하게 최대 2개의 코드워드를 지원하며, 각각의 코드워드들은 서로 다른 MCS를 지원한다. 그리고 코드워드를 레이어에 사상시키는 방식은 REL-8의 하향 링크에서 사용했던 코드워드 대 레이어 사상 규칙을 그대로 사용한다. 2개의 코드워드에 대해서는 2개의 독립적인 ACK/NACK 신호를 사용하여 HARQ 동작을 수행한다.

다음으로 공간 다중화를 지원하면서 단일 반송파 특성을 유지할 수 있도록 설계된 상향 링크 코드북 설계 방식에 대해 간략하게 설명한다. 우선 2개의 상향 링크 안테나를 사용하는 경우와 4개의 상향 링크 안테나를 사용하는 경우 서로 독립적인 코드북을 형성하였다. 그리고 SC-FDMA의 단일 반송파 성질을 유지하기 위해 (그림 12)에 나타낸 CMP (Cubic Metric Preserving) 매트릭스를 사용한다. 만일 SC-FDMA의 DFT 확산 블록의 출력 신호를 임의의 전치부호 블록에 인가하면 단일 반송파 성질이 없어지게 되고 이에 따라 시간 영역에서 높은 PAPR (Peak to Average Power Ratio) 혹은 CM (Cubic Metric) 값을 가지게 된다. 따라서 LTE-Advanced의 상향 링크 MIMO에서 사용하는 전치 부호 매트릭스는 CM 값이 보존될 수 있도록 특별히 고안된 매트릭스이다. 즉, 하나의 안테나로 전송되는 신호는 여러 레이어

어의 신호들이 혼합형태가 아닌 단일 레이어로부터 전송되는 신호로 구성된다.

그리고, CMP 매트릭스 이외에도 hand gripping으로 인해 발생하는 안테나 이득 불균형 (antenna gain imbalance)로 인한 성능 저하 문제를 해결하기 위해 특정 안테나로의 출력 자체를 막아주기 위한 안테나 선택 매트릭스 (antenna selection matrix)도 전치부호 매트릭스로 정의하고 있다. 결론적으로 위에서 설명했던 설계 원칙을 가지고 만들어진 코드북들에 대해 (그림 13)에 간략하게 나타내었다.



(그림 13) 상향링크 코드북

지금까지 상향 링크의 공간 다중화 MIMO 방식을 위한 주요 합의 사항에 대하여 설명하였다. 잘 알려진 바와 같이 다중 안테나 전송 방식에는 공간 다중화 방식 이외에도 전송 다이버시티 방식이 있다. REL-10 LTE-Advanced 표준에서는 상향 링크 PUSCH의 경우, 전송 다이버시티 기법이 공간 다중화 방식에 비해 추가 이득을 나타내는 시나리오를 찾을 수 없었던 이유로 전송 다이버시티 기법을 적용하지 않기로 하였다. 이에 반해 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)의 경우 전송되는 PUCCH 포맷에 따라 SORTD (Spatial Orthogonal Resource Transmission Diversity) 기법을 선택적으로 적용하는 것을 허용하였다. SORTD 기법은 성능 자체로 보았을 때에는 일반적인 단일 안테나 전송 기법에 비해 우수한 성능을 제공하지만, 기준 신호의 전송 자원을 2배만큼 더 사용하여 다이버시티를 얻는 전송 방식이며, 이에 따라 기본적으로 전송 자원을 많이 사용하는 채널 선택 (channel selection)을 통한 ACK/NACK 전송 방식 등에서는 사용하지 않기로 하였다.

$$\begin{bmatrix} y_1 = x_1 \\ y_2 = x_1 \\ y_3 = x_2 \\ y_4 = x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Output signal
(with same PAPR
as input signal)
CMP matrix
Input signal
(with good PAPR)

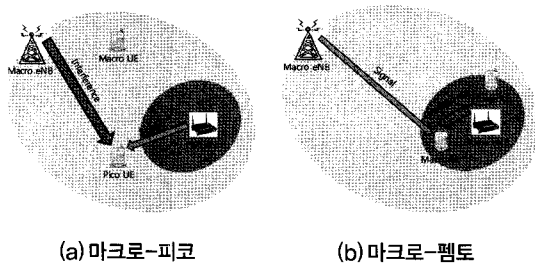
(그림 12) CMP 매트릭스의 한 예

(4) eICIC (Enhanced Inter-Cell Interference Coordination) 방식 [6][9][12]

최근 데이터 전송율 및 대역폭의 증가 추세에 따라 소형 셀들을 다수 설치하여 셀 분할 이득을 얻으려는 움직임이 많아지고 있다. 또한 폭증하는 데이터 트래픽에 대한 오프로딩을 위해 매크로 셀 (Macro cell)내의 특정 지역에 피코 셀 (pico cell)을 설치하는 hot zone 형태의 셀들이 보편화되고 있다. 또한, 옥내 수신 품질 향상 및 차별적인 우선권을 가지는 서비스를 제공하기 위한 펌토 셀 (Femto cell) 혹은 3GPP의 용어로는 HeNB (Home eNB)의 설치가 보편화되는 추세이다. 피코 셀과 펌토 셀 이외에도 전송 커버리지의 확장을 위해 사용하는 중계기 혹은 RRH (Remote Radio Head) 등의 사용자도 셀의 소형화와 더불어 더욱 늘어나는 추세이다. 이러한 피코 셀이나 펌토 셀, 중계기 그리고 RRH 등은 전송 전력 측면에서 매크로 셀의 전송 전력에 비해 훨씬 낮은 전송 전력을 가진다. 이러한 저전송 전력을 가지는 통신 노드들이 매크로 셀 내에 존재하는 셀 배치 시나리오를 이종 셀 배치 시나리오 (Heterogeneous cell layout)라고 부르며, 3GPP에서는 HetNet이라는 용어로 명명하였다. 이러한 HetNet 시나리오 하에서는 기존의 동일 전력 기지국들만 존재하는 동종 셀 배치 (Homogeneous cell layout) 상황에서 관측되었던 간섭 시나리오와는 완전히 다른 양태의 지배적 간섭 (dominant Interference) 시나리오가 존재할 수 있으며 따라서 기존에 사용했던 간섭 제어 기법과는 다른 HetNet 시나리오를 위해 특별히 고안된 진화된 간섭 제어 기법이 요구된다. 지배적 간섭이라는 것은 서빙 셀로부터의 신호 세기보다 간섭원 (interferer)으로부터의 간섭 신호의 세기가 훨씬 더 (예를 들어 10dB 이상) 큰 경우를 의미한다. 특히 그림 14에 나타낸 2개의 간섭 시나리오는 LTE-Advanced의 HetNet 상황에서의 전형적인 시나리오 생각되었으며, 이에 대한 간섭 제어 기술들이 개발되었다.

(그림 14 (a))의 간섭 시나리오는 피코 셀이 매크로 셀의 커버리지 영역 내에 위치하는 경우를 나타내고 있다. 피코 셀은 일반적으로 매크로 셀에 비해 수십 배 작은 전송 전력 레벨을 사용하여 하향 링크로 신호를 전송한다. 이때, UE가 셀을 선택하는 과정에서 2가지 서로 다른 상황들을 생각할 수 있다. 첫 번째는 가장 일반적인 방식으로 RSRP (Reference Signal Received Power)를 측정하여 가장 높은 신호 세기를 제공하는 셀을 자신의 서빙 셀로 선택하는 방법이다. 하지만 피코 셀과 같이 전송 전력 자체가 처음부터 크게 차이나는 경우, 반드시 신호의 세기만을 측정하여 서빙 셀을 선택하는 것이 최적의 셀 선택 규칙은 아닐 수 있다. 즉, 상향 링크의 측면에서는 보다 가까운 위치에 존재하는 피코 셀을 서빙 셀로 선택하는 것이 보다 최적일 것이며, 또한 매크로 셀의 트래픽 오프로딩이라는 목적을 달성하기 위해 신호 세기 자체가 아닌 경로 손실 (path loss)이 더 작은 셀을 자신의 서빙 셀로 선택하는 것도 가능하다. 이러한 목적을 위해 이미 REL-8부터 셀 선택에서 사용할 수 있는 신호 세기를 계산할 때 오프셋 값을 적용할 수 있도록 하였다. 이렇게 오프셋 값을 이용하여 실제 신호 세기에 의해 형성되는 피코 셀의 커버리지를 인위적으로 확장하는 방법을 사용할 수 있으며, 이를 셀 영역 확장 (CRE: Cell Range Expansion)이라고 부른다. 즉, 피코 셀의 셀 영역 확장은 매크로 셀의 트래픽 오프로딩 효과, 그리고 상향 링크의 성능 향상 효과 등을 위해 흔히 고려할 수 있는 방식이다. 그러나 셀 영역 확장을 사용하게 되면 지배적 간섭 시나리오가 만들어진다. 즉, (그림 14 (a))의 피코 UE는 원래 매크로 셀 커버리지 내에 존재하는 UE로 신호 세기만을 놓고 보면 피코 셀로부터 전송되는 신호의 세기보다 매크로 셀로부터 받는 신호의 세기가 더 컸던 UE였기 때문에 결과적으로 피코 셀로부터의 신호 세기보다 매크로 셀로부터의 간섭 세기가 훨씬 더 큰 상황이 발생한다.

(그림 14 (b))의 간섭 시나리오는 매크로-펌토 시나리오 상에서 발생한다. 일반적으로 펌토 셀은 모든 UE들이 공개적으로 접속할 수 있는 open access 형태가 아니라, 사용을 허락한 특정한 사용자들만이 접속할 수 있는 CSG (closed subscriber group) 모드로 동작하게 된다. 이렇게 CSG 형태로 동작하고 있는 펌토 셀의 커버리지 이내로 매크로 셀의 UE가 들어와 있는 경우를 고려하면, 이 UE는 정상적으로 펌



(그림 14) LTE-Advanced의 전형적인 HetNet 간섭 시나리오

토 셀로 핸드오버가 될 수 없는 UE이므로 펌토 셀로부터 강력한 간섭을 받게 될 것이다.

REL-8/9에서 정의하고 있는 간섭 제어 기법으로는 FFR (Fractional Frequency Reuse), RNTP (Relative Narrowband Transmission Power) 방법 등이 정의되어 있는데, 이러한 방법들은 모두 주파수 영역에서 특정 주파수 자원을 통해 전송되는 신호 레벨을 조정하여 간섭 레벨을 낮추는 방식이다. 하지만 지배적 간섭 시나리오 문제들은 하향 링크 제어 채널 (PDCCH)의 구조 상의 문제로 인해 주파수 영역에서의 간섭 조절 기법으로는 해결할 수 없다. 즉, PDCCH는 다이버시티 효과를 위해 전송 주파수 대역 전체로 흩뿌려져 전송하게 되므로 주파수 영역에서의 ICIC 기법을 통해 간섭 레벨을 조절할 수 없게 되며 이에 따라 새로운 영역에서의 ICIC 기법을 정의할 필요가 존재한다.

이에 따라 LTE-Advanced 표준에서는 협력적 사일런싱 (Cooperative Silencing) 기법을 적용하였다. 협력적 사일런싱 기법이라는 것은 기지국들 간에 X2 인터페이스 (마크로-피코 케이스) 혹은 O&M (Operation and Management, 마크로-펌토 케이스)를 통해 간섭을 유발시키는 aggressor 기지국이 대부분의 신호를 전송하지 않는 서브프레임인 ABS (Almost Blank Subframe)을 설정한 후, 이 서브프레임의 패턴을 victim UE를 서빙하는 기지국으로 알려주고, 이 서브프레임 내에서 지배적 간섭을 받았던 UE들에게 신호를 전송하여 간섭을 조절하는 시간 영역에서의 간섭 조절 기법을 의미한다. 이때 신호 전송을 중단하는 특정 서브프레임에 대해 'almost blank' 라는 용어를 사용하는 것은 그 서브프레임에 대해서도 특정 신호들은 전송할 수 밖에 없기 때문이다. 즉, 기존의 legacy UE들은 특정 서브프레임이 blank된다는 정보를 알지 못하기 때문에 legacy UE가 그 서브프레임의 위치를 알지 못할 때 동작에 문제를 발생시킬 소지가 있는 신호들은 계속해서 전송해주어야 한다. 이러한 신호에는 CRS, PSS/SSS/PBCH (Primary Synchronization Signal/Secondary Synchronization Signal/Primary Broadcast Channel), PRS (Positioning Reference Signal) 등이 있다. 결과적으로 ABS 내에서도 legacy UE 동작을 위해 상기한 신호들을 전송해야 하기 때문에 간섭 문제를 완벽하게 해결할 수 있는 것은 아니지만 REL-10 표준 발간 일정으로 인해 이러한 추가적인 문제점들은 차기 REL-11 표준에서 다를 것으

로 예측된다.

이렇게 ABS를 사용하는 협력적 사일런싱 기법을 적용하여 간섭을 제어하는 방법을 적용하기 위해서는 기지국 간의 협력 시그널링을 정의하는 RAN3 표준이 작성되어야 한다. 이와 더불어 협력적 사일런싱 기법을 적용함으로써 인해 생기는 여러 가지 측정 (measurement)과 관련된 UE 동작에 대한 정의가 필요하다. 특히 ABS를 적용하게 되면 ABS가 적용된 서브프레임과 적용되지 않는 서브프레임에서 UE가 측정하게 되는 간섭 레벨이 매우 심하게 변동하며, UE가 모든 서브프레임에서의 간섭 레벨을 단순히 평균을 취하게 된다면 이는 실제 자신이 스케줄링되어 동작하게 되는 ABS가 적용된 서브프레임에서의 간섭 상황을 제대로 반영하지 못하는 상황이 될 것이다. 특히, 최악의 경우에는 ABS 적용을 통해 안정적인 통신이 가능한 UE가 전체 서브프레임에 대한 간섭 레벨 측정을 통해 현재 간섭 상황이 링크를 유지할 수 없는 RLF (Radio Link Failure) 상황으로 판단할 가능성도 존재한다. 따라서 서브프레임 별로 간섭 레벨이 변화하는 상황을 고려하여, 실제 UE가 겪게 되는 간섭 레벨을 정확하게 측정하기 위해서는 특정 시간 영역 혹은 자원 영역에서만 측정을 하는 resource specific 측정 방식을 사용해야 한다.

조금 더 자세히 이에 대해 설명하면 다음과 같다. 서빙 기지국은 victim UE에게 측정을 수행해야 할 서브프레임의 집합을 알려준다. 이때 서브프레임 집합은 크게 2가지로 나눌 수 있다.

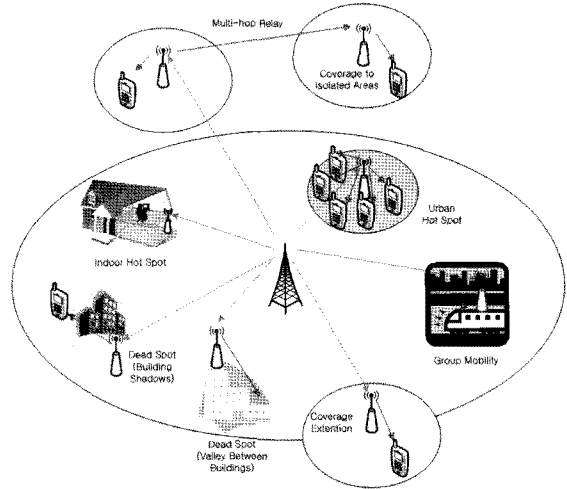
* 서브프레임 집합 1: 한번 설정되면 장기적으로 사용 용도가 변하지 않는 서브프레임들의 집합으로, RLM이나 핸드오버 결정을 위한 RRM 등 비교적 장기적인 평균이 요구되는 항목들의 측정을 위해 사용되는 서브프레임의 집합이다.

* 서브프레임 집합 2: 비교적 동적으로 사용 용도를 변경할 수 있는 서브프레임들의 집합으로 주로 단 시간의 서브프레임의 측정 결과에 기반하는 CSI (Channel Status Information) 보고를 위한 측정 등에 사용할 수 있다. 이때 UE가 보고하는 CSI에도 2개의 서로 다른 형태의 CSI 값이 있을 수 있다. 즉, ABS 영역에서 측정하여 간섭 레벨이 적은 상태의 CSI 정보와 그 이외의 영역에서 측정하여 간섭 레벨이 큰 경우에 측정되는 CSI 정보로 나눌 수 있다.

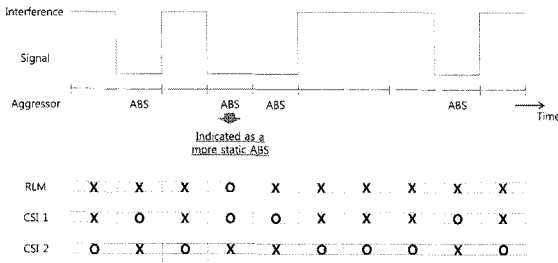
(그림 15)는 앞서 설명한 resource specific measurement가

어떤 형태로 이루어지는지를 나타낸 예이다. 그림에서 알 수 있듯이, aggressor 기지국이 그림 상의 2번째 ABS에 대해 보다 장시간 동안 ABS로 설정할 계획이라고 가정하면, 이러한 사실을 서빙 기지국에 X2 인터페이스 혹은 O&M을 통해 알려준다. 서빙 기지국은 victim UE에게 2번째 ABS로 설정된 서브프레임에서만 RRM이나 RLM 등의 장기 평균이 필요한 항목들에 대한 측정을 수행하도록 명령하여 정확한 측정이 가능하도록 할 수 있다. 이에 반해 CSI 보고를 위한 서브프레임의 경우 짧은 측정 시간을 가지기 때문에 ABS로 설정된 모든 영역에서 CSI를 생성한다. 그림에서 CSI1이라고 표시된 CSI는 ABS 영역에서 측정하여 간섭 레벨이 없는 경우 얻을 수 있는 CSI 값이며, CSI2는 ABS로 설정되지 않은 영역에서 측정하여 간섭 레벨이 비교적 높은 경우 얻을 수 있는 CSI 값이다. UE가 CSI2를 전송하는 이유는, 서빙 셀의 중앙 부분에 위치하는 UE의 경우 ABS 영역이 아닌 다른 영역에서도 스케줄링을 받는 것이 가능하기 때문이다.

에서 중계기를 통해 각 링크간 거리를 줄이는 것이 셀 경계까지 직접 신호를 한번에 전송하는 것에 비해 성능 이득을 가



(그림 16) 무선 중계기의 다양한 활용 예



(그림 15) Resource specific measurement의 예

(5) 무선 중계기 (Relay)

LTE 표준에 비하여, LTE-Advanced 표준의 특징 중의 하나는 무선 중계기의 동작을 정의하고 있다는 것이다[13].

일반적으로 무선 중계기는 (그림 16)에 나타낸 바와 같이 다양한 활용 예를 가진다.

무선 중계기를 통하여 얻을 수 있는 가장 대표적인 성능 개선은 셀의 커버리지를 확장할 수 있다는 점이다. 특히 상향 링크에서는 단말에서 사용 가능한 송신 전력의 제한에 의해 셀 가장자리 사용자의 성능이 제한되는 경우가 자주 발생하므로 중계기의 도입을 통해 셀 경계 성능 향상을 도모하는 것은 주목할 만한 시도이다. 하향 링크에서도 전송 채널의 감쇄지수가 큰 일반적 다중 경로 페이딩 채널 환경

저울 수도 있다.

무선 중계기의 또 다른 사용 예는 빌딩 숲에 의한 음영 효과 혹은 특정 커버리지 홀 (coverage hole)에 빠진 단말기들에 대한 신뢰성 있는 통신을 보장하는 것이다.

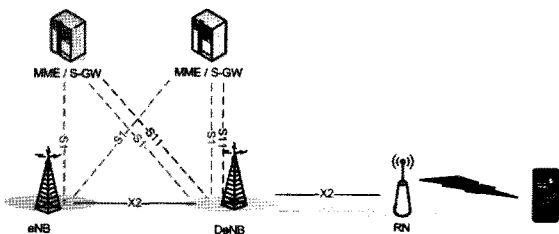
이 외에도, 달리는 기차 위에 중계기를 위치시켜 일종의 집단 이동성 (group mobility)을 지원하는 등의 사용 예도 생각할 수 있다.

위와 같은 다양한 활용 예 가운데 REL-10 표준에서는 커버리지 확장 혹은 음영 영역 해소를 위한 중계기를 먼저 정의하였으며, 여러 번 중계기를 거쳐 데이터를 전송하는 다중홉 (multi-hop) 방식이나 집단 이동성을 지원하는 이동 중계기는 정의하지 않았다.

전통적으로 무선 중계기는 기능과 그에 따른 통신 계층 (Layer)에 따라 몇 가지 다른 형태로 구분된다. LTE-Advanced study item의 초기 단계에서는 L1과 L2 무선 중계기 등에 대해서도 많은 논의를 했었지만 최종적으로 REL-10 표준에서 정의하고 있는 무선 중계기는 L3 무선 중계기이다. L3 무선 중계기는 매크로 기지국에 정의되어 있는 거의 모든 계층적 기능들을 수행하며 다만 백홀 링크 (backhaul link)가 유선으로 연결되어 있는 것이 아니라 무선으로 연결

된 저전력 기지국으로 생각할 수 있다. 이러한 관점에서 보았을 때, LTE-Advanced 표준에서 사용하는 무선 중계기의 또 다른 활용 예는 셀 분할 이득을 가지기 위해 다수의 저전력 소형 셀들을 형성할 때 핵심망 (core network)까지 연결을 위한 백홀 링크의 설치 비용을 줄이기 위해 무선으로 백홀을 형성하는 소형 기지국 설치의 다른 예로 볼 수도 있을 것이다. 3GPP에서는 이런 무선 중계기를 type 1 중계기라고 부른다. Type 1 중계기는 자신만의 PCI (Physical Cell Identifier)를 가지고 있으며, UE의 동작에 필요한 CRS, PSS/SSS/PBCH 등의 모든 공통 제어 신호들을 전송한다. 이에 따라 UE들은 type 1 무선 중계기를 하나의 독립된 기지국으로 인식한다.

이때, 무선 중계기는 무선 백홀을 통해 연결된 기지국에 종속된 성격을 가지며 이러한 의미에서 중계기를 관장하는 기지국을 공여 기지국 (DeNB; donor eNB)라고 부른다. 그리고 무선 중계기는 RN (Relay Node)라는 약어로 표현한다. (그림 17)에는 DeNB와 RN 사이의 관계를 나타내었다.

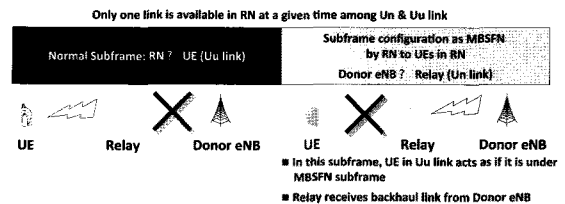


(그림 17) DeNB와 RN 사이의 관계

(그림 17)에서 알 수 있듯이 기지국 사이의 접속 관계를 규정하는 X2 인터페이스의 관점에서 DeNB는 RN에게 하나의 기지국으로 보여지게 되고, S1 인터페이스 관점에서는 RN에 대한 MME (Mobility Management Entity)/S-GW (Serving Gateway) 역할을 하게 된다.

무선 구간에서는 RN과 DeNB 사이의 백홀 링크를 Un 링크라고 명명하였으며 RN과 UE 사이의 링크는 액세스 링크 혹은 Uu 링크라고 부른다. 이때 Un 링크와 Uu 링크 사이의 주파수 대역을 어떤 식으로 사용하는지에 따라 In-band RN 혹은 Out-band RN이 나누어진다. Out-band RN의 경우 Un 링크와 Uu 링크에 별도로 할당할 주파수 자원이 있다면 특

별한 표준의 지원이 없더라도 전이중화 (full duplex) 방식으로 RN을 운영할 수 있기 때문에 표준 상에 특별한 언급을 하지 않고 있다. 이에 반해 Un 링크와 Uu 링크가 동일한 주파수 대역을 사용하는 In-band RN의 경우 Un 링크와 Uu 링크에 전이중화 방식을 사용하기 매우 어렵기 때문에 추가적으로 고려해야 할 사항이 존재한다. 즉, RN이 하향 링크 주파수 대역 상에서 DeNB로부터 신호를 전송 받으면서 동시에 동일 하향링크 주파수 대역 상으로 UE들에게 신호를 전송하는 전 이중 통신 방식을 구현하기 매우 어려운데 이러한 문제는 RN에서 사용하는 전송 안테나와 수신 안테나 사이의 자기 간섭 현상에 의하여 발생한다. 물론, 많은 복잡도와 비용을 감수하여 이러한 자기 간섭 현상을 해결하거나, 혹은 RN 내의 전송 안테나와 수신 안테나 사이의 물리적인 이격을 충분히 유지하면 전 이중 방식의 동작이 가능할 수도 있지만, 저렴한 비용으로 쉽게 구현할 수 있는 보다 일반적인 형태의 RN의 동작을 지원하기 위해서는 반 이중 (half duplex) 방식의 RN 동작을 정의해야 한다. 즉, Un 링크와 Uu 링크 사이에 시분할 (time division) 방식을 사용하여 두 링크 가운데 하나의 링크만이 한 시점에 활성화되도록 조정해야 한다.

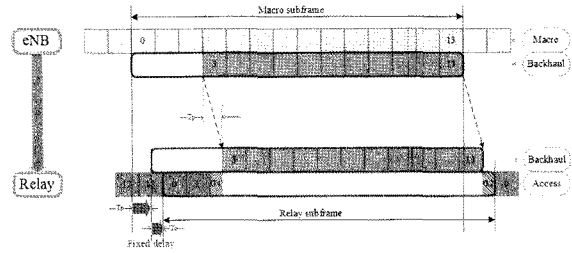


(그림 18) Fake MBSFN 시그널링을 통한 하위 호환되는 Un 링크 서브프레임의 형성 방법

이렇게 시분할 방식의 반 이중 방식으로 동작하는 type I의 In-Band RN의 동작을 위해서는 기존의 legacy UE들을 지원하기 위한 특별한 방법을 정의해야 한다. 즉, RN이 Un 링크를 통해 DeNB로부터 백홀 신호를 전송 받는 시간 동안에는 RN은 PDCCH와 CRS를 포함하여 어떠한 신호도 UE들에게 전송할 수 없게 된다. 만일 legacy LTE UE들이 RN으로부터 CRS가 없어지는 시간 구간에 대한 정보를 얻지 못한다면 CRS의 측정 결과가 심하게 변동할 것이며, 의도하지 않았던

잡은 셀 재선택 (cell reselection) 과정에 빠질 우려가 있다. 따라서 하위 호환성을 보장하면서 RN이 DeNB로부터 백홀 신호를 전송받는 Un 링크 서브프레임을 형성하는 방법을 고려해야 하는데 이를 위해 3GPP에서는 REL-8 LTE 표준부터 이미 정의되어 있었던 MBSFN 시그널링 기법을 응용하는 방식을 사용하고 있으며 이를 (그림 18)에 나타내었다.

REL-8 LTE 표준에 정의되어 있는 MBSFN 서브프레임 시그널링은 실제 MBSFN 서비스를 위해 존재하는 것이 아니라 REL-9에 정의된 MBSFN 서비스를 운영하는 기지국 내에서 REL-8 LTE 단말이 채널 측정 등의 최소한의 동작을 할 수 있도록 미래 호환성을 보장하기 위해 정의한 것이다. MBSFN 서브프레임은 일반적인 서브프레임과 달리 서브프레임의 처음 한 개 혹은 두 개의 OFDM 심볼 구간 이외에서는 CRS가 전송되지 않는 서브프레임이며, 따라서 legacy UE에게 특정 서브프레임이 MBSFN 서브프레임이라고 시그널링을 해주게 되면 legacy UE는 그 서브프레임에서는 처음 한 개 혹은 두 개의 OFDM 심볼 구간 동안 존재하는 CRS만을 여러 가지 측정에 사용하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 Type I In-Band RN의 Uu 링크에 접속되어 있는 legacy UE들에게 RN은 MBSFN 시그널링을 이용해 특정 서브프레임을 MBSFN 서브프레임으로 인식하도록 설정할 수 있다. 그러면, RN의 Uu 링크에서 동작하는 legacy UE들은 MBSFN 서브프레임으로 지정된 서브프레임 동안에는, 첫 번째 한 개 혹은 두 개의 OFDM 심볼 구간에 정의되어 있는 CRS와 PDCCH (Physical Downlink Control Channel)에 대한 수신 시도 이외에는 다른 동작을 하지 않게 될 것이며, RN은 이 시간 구간을 이용하여 DeNB로부터 Un 링크의 백홀 데이터를 수신할 수 있게 된다. 즉, RN은 Un 링크로 설정된 서브프레임 내에서도 첫 번째 1개 혹은 2개의 OFDM 심볼 구간 동안 Uu 하향 링크를 전송하고, 그 이후 해당 서브프레임의 나머지 시간 동안 DeNB로부터 백홀 데이터를 수신한다. 이 방식은 MBSFN 시그널링 기법과 MBSFN 서브프레임의 특수한 구조를 이용하여 legacy LTE UE들에게 일종의 속임수를 사용하는 동작으로 생각할 수 있으며 따라서 Fake MBSFN 방식이라고 부르기도 한다. 이에 반해 Uu 상향 링크에서는 legacy UE를 지원하기 위해 RN이 반드시 수신해야 하는 신호와 같은 제약 사항이 없으며, 이에 따라 RN은 상향 링크 Un 서브프레임으로 할당된 서브프레임 내에서는 Uu 상향

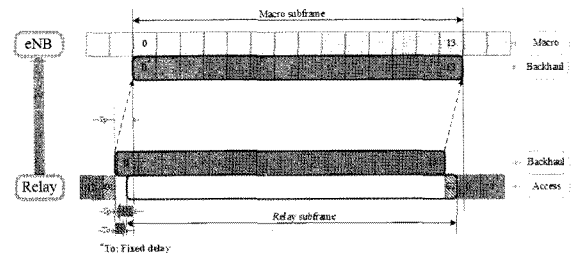


(그림 19) 하향 링크의 시간 관계도

링크에서 UE들로부터 데이터 수신을 중단하고 Un 상향 링크를 통해 백홀 데이터를 송신하는 반 이중 다중화 방식으로 동작한다.

위에서 설명한 RN의 동작을 살펴보면, 어느 특정한 주파수 대역에서 특정 순간에 데이터를 전송하는 모드에서 수신하는 모드로 전환하거나, 혹은 데이터를 수신하는 모드에서 전송하는 모드로 전환하는 것을 알 수 있다. 이러한 송신 모드와 수신 모드 사이의 모드 전환은 바로 이루어질 수 없기 때문에 보호 시간 (guard time)을 사용하는 것이 필수적이다. 이때 Un 링크의 데이터 전송 효율이 RN의 전체 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이기 때문에 보호 시간의 사용으로 인한 Un 링크의 데이터 심볼 손실을 최소화할 수 있는 여러 가지 방법들이 정의되었다. (그림 19)에는 하향 링크에서 사용하는 방법 중의 하나이며 eNB와 RN 서브프레임 형성 과정에서 고정 시간 오프셋을 적용하여, 보호 시간의 삽입으로 인해 손실되는 OFDM 심볼의 개수를 1개로 최소화할 수 있다.

(그림 20)은 상향 링크의 시간 관계도이다. DeNB와 RN 상향 링크 서브프레임 사이에 고정된 시간 지연을 사용하고, 보호 시간을 Uu 상향 링크에 흡수시키는 방법을 사용하면,



(그림 20) 상향 링크의 시간 관계도

RN은 Uu 상향 링크의 마지막 SC-FDMA 심볼을 수신할 수 없는 대신에 Un 상향 링크에서 모든 심볼을 백홀 전송에 사용할 수 있게 된다.

물론, (그림 19)와 (그림 20)은 DeNB와 RN이 사용할 수 있는 시간 관계의 한 예일 뿐이며 RN과 DeNB의 서브프레임의 전송 시점을 동일하게 사용하거나 혹은 RN의 Uu 상향 링크 서브프레임 수신 시점과 DeNB의 상향 링크 서브프레임 수신 시점을 일치시키는 등의 여러 시간 관계들이 존재할 수 있다. 이러한 시간 관계에 따라 RN이 Un 링크에서 사용할 수 있는 심볼의 개수와 보호 시간의 형성 방법 등이 달라진다.

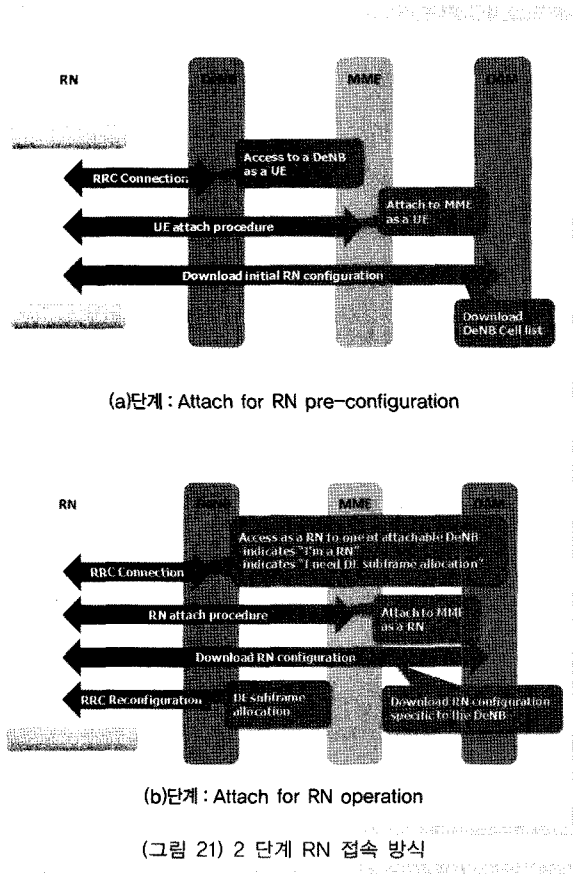
반 이중 방식의 RN 동작을 위해서는 RN이 사용할 수 있는 Un 서브프레임 패턴을 어떤 식으로 RN에게 할당하고 알려 줄 것인지에 대한 정의가 필요하다. FDD의 경우를 예로 들면, RN이 사용할 수 있는 Un 하향 링크 서브프레임 패턴은 DeNB가 명시적으로 (explicitly) 설정하여 RN에게 알려주며, 한번 설정되면 거의 바뀌지 않고 사용된다. 상향 링크 Un 서브프레임의 경우, 명시적으로 Un 서브프레임을 알려주는 대신 하향 링크 RN 서브프레임과의 HARQ 시간 관계에 의해 암시적으로 설정하는 방법을 사용한다.

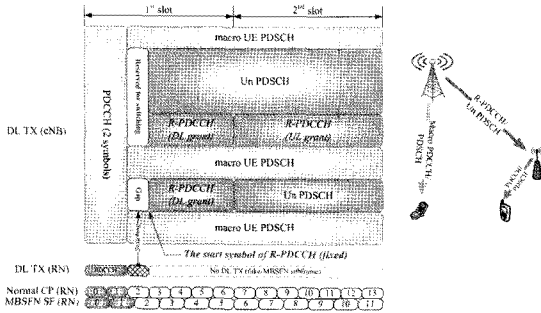
RN이 최초로 전원을 켜 후, DeNB에 접속하여 Un 링크 서브프레임 패턴에 대한 정보를 획득한 후, 실제 RN 동작에 대한 준비를 완료하기까지는 크게 2 단계의 동작 방식을 거치며 이를 (그림 21)에 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 RN은 전원을 켜 후, 일단 UE 모드로 eNB에 접속하게 된다. 이것은 초기에 RN이 어떤 eNB가 RN 동작을 지원하는지에 대해 아무런 정보를 가지지 못하기 때문이다. UE 모드로 초기 접속 이후 MME와 O&M을 이용해 RN 동작을 지원하는 DeNB의 리스트를 다운로드 받게 되며 이것이 단계 1에서 이루어지는 동작이다. 단계 2는 단계 1에서 다운받은 DeNB 리스트 가운데 하나의 DeNB에 RN으로 접속하는 단계이다. 이때 RN은 자신이 RN이라는 정보를 DeNB에 알려주게 되고 또한 자신이 반 이중화 방식으로 동작하는 RN이라서 Un 링크에 대한 서브프레임 할당이 필요한 RN인지 혹은 전 이중화 방식으로 동작하기 때문에 이러한 서브프레임 할당이 따로 필요 없는 RN인지를 DeNB에 알려준다. RN은 MME와 O&M 등을 통해 RN 동작에 필요한 여러 정보들을 다운받고, 마지막으로 Un 서브프레임에 대한 할당 정보가 필요하다면 이를 할당받는 것

으로 RN 동작을 위한 준비를 마치게 된다.

DeNB는 Un 하향 링크의 패킷 전송을 위해 마크로 UE에 대한 패킷 데이터 채널인 PDSCH를 같이 사용하게 되며, 단 Un 링크에 대한 스케줄링 허여 (grant)신호를 전송하기 위한 PDCCH를 Un 링크 전용으로 새롭게 설계하고 이를 R-PDCCH라고 부른다. (그림 22)에는 R-PDCCH와 Un 링크의 PDSCH 그리고 마크로 UE를 위한 PDSCH와 PDCCH가 어떤 방식으로 다중화되는지를 간략하게 도식화하여 설명해놓았다. 그림에서 알 수 있듯이 R-PDCCH의 하향 링크에 대한 스케줄링 정보는 Un 서브프레임의 첫 번째 슬롯 구간을 통해 전송되고 반면 상향 링크에 대한 스케줄링 정보가 존재하는 경우에는 Un 서브프레임의 두 번째 슬롯 구간에서 전송된다. R-PDCCH가 어떤 형태의 인터리빙을 통해 전송되고 탐색 공간 (search space)은 어떤 형태로 구성되는지 등에 대한 보다 구체적인 내용은 Un 링크에 대한 물리 계층의 표준인 TS 36.216을 참고하기 바란다.





(그림 22) 매크로 PDCCH/PDSCH와 R-PDCCH/PDSCH간의 다중화 방식

IV. LTE-Advanced에 대한 REL-11 표준화 동향 및 전망

전술한 바와 같이 REL-10 LTE-Advanced 표준은 발간 일정 상의 문제로 초기 LTE-Advanced study item 과정에서 연구되었던 기술들 가운데 IMT-Advanced의 최저 요구 사항을 만족시키기 위해 필수적으로 요구되는 기술들에 대해 우선 순위를 가지고 최종 표준을 제정하였으며, 이에 따라 많은 진보된 기술들과 최적화 기술들에 대한 논의는 차기 REL-11 표준 일정으로 순연되었다. 현재까지 3GPP에서 계획하고 있는 REL-11 표준 발간 일정에 따르면 stage 3 freezing을 2012년 9월까지 완료하고 ASN.1 freezing을 2012년 12월에 완료하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 일부 기술 아이템들에 대해 study item이 시작된 상황이며, REL-10 LTE-Advanced 표준에 대한 최종 수정 작업이 마무리되는 2011년 6월부터 본격적인 REL-11 기술 논의가 이루어질 것으로 전망된다.

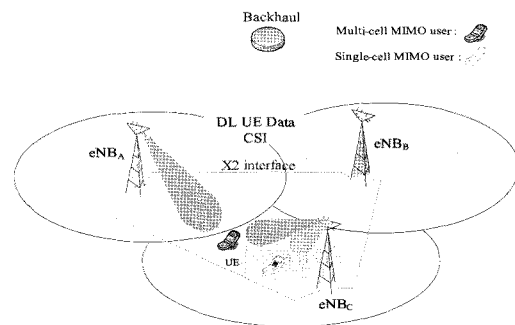
이 절에서는 현재 REL-11 LTE-Advanced 표준 발간을 목표로 하여 기술 논의를 진행 중에 있거나 혹은 진행 예정인 기술 아이템들에 대해 간략하게 정리해본다.

(1) CoMP (Cooperative Multipoint Transmission and Reception)

전통적인 point to point 방식의 링크 성능 개선안 들에 의 해 얻을 수 있는 성능 이득은 어느 정도 한계에 이른 것으로

생각되며, 링크 성능을 더욱 개선시키기 위해서는 전송단과 수신단 사이의 단일 링크뿐만이 아니라 타 링크로부터 들어오는 간섭 신호에 대한 보다 적극적인 대처가 필요하다는 인식을 하게 되었다. 이때 가장 적극적인 간섭 회피 혹은 제거 방식 중의 하나로 연구가 시작된 분야가 multi-point to point 혹은 point to multi-point 형태의 다중 안테나 기법이다. 즉, 다수 개의 안테나를 지리적으로 (geographically) 분리된 다수 개의 전송 지점 (transmission point) 상에 배치시킨 후, 이러한 다수 개의 전송 지점들 사이에 특정한 협력 (coordination) 방식을 정의하여 단말기로 신호를 전송하거나 수신하는 방식을 생각하게 되었다. 이러한 방식은 다수 개의 안테나를 다수 개의 지점에 배치시킨 형태로 볼 수 있기 때문에 분산 MIMO (distributed MIMO) 혹은 네트워크 MIMO, 라고 불린다. 하지만 3GPP에서는 coordinated multipoint transmission and reception이라는 용어를 사용하기로 하였으며 약어로 CoMP라고 부른다. CoMP 방식은 LTE-Advanced study item 초기 단계에서 많은 관심을 받았던 기술 아이템이었으나 피드백 방식이나 성능 향상을 얻을 수 있는 셀 배치 시나리오 등에 대해 3GPP 회원사들 간에 의견의 일치를 보이지 못 했으며 REL-10 발간 일정 상 이들을 해결할 충분한 기술 논의를 하는 것이 불가능했던 관계로 REL-11으로 순연된 기술 아이템이다.

기본적인 CoMP의 개념을 (그림 23)에 나타내었다.



(그림 23) CoMP 방식에 대한 개념도

(그림 23)에서 볼 수 있는 바와 같이, CoMP 방식을 동작시키기 위해서는 협력 관계에 있는 인접 셀들간에 해당 단말기를 위해 제공될 데이터 및 채널 정보 등이 공유되어야 한

다. 이때, 셀들간에 공유되는 정보의 공유 수준에 따라 구체적인 CoMP 방식을 세분화할 수 있을 것이다. 즉, 다중 셀 MIMO의 동작은 채널 상태 및 전송할 데이터가 인접 셀 간에 공유되는지에 따라 여러 종류로 구분될 수 있다.

우선적으로 셀들간에 채널 상태에 대한 정보와 해당 단말기에게 전송할 데이터가 미리 공유되어 있는 경우에는 해당 단말기에게 패킷을 전송하기 위하여 합동 처리 (joint processing)를 적용할 수 있다. 합동 처리 방식은 그 적용 방법에 따라 합동 전송 (joint transmission)과 동적 스위칭 (dynamic switching)의 두 가지 방식으로 더 구분된다. 합동 전송 방식은 다수 개의 전송 지점에서 동시에 해당 단말기에게 데이터를 전송하는 방식이다. 다음으로 동적 스위칭은 일종의 빠른 셀 선택 기법 (fast cell site selection)으로 생각할 수 있으며, 셀들간의 채널 상황 등을 고려하여 항상 최적의 결과를 보장하는 셀로 동적으로 핸드오버하는 기법으로 생각할 수 있다.

하지만 일반적인 경우 협력하는 셀들간에 모든 단말기들에 대한 전송 데이터 자체를 공유하는 것은 X2 인터페이스에 지나치게 큰 오버헤드와 시간 지연 문제를 야기시킬 가능성이 많으며, 따라서 협력 셀들간에 해당 단말기로부터 전송되어 온 채널에 대한 정보만을 공유하는 방식을 고려할 수 있다. 이러한 경우에 생각할 수 있는 CoMP 방식으로서 협력 스케줄링 (coordinated scheduling) /협력 빔 형성 (coordinated beam forming) 등의 기법이 고려되고 있다. 이러한 방식들에서는 데이터는 오직 해당 단말기에 대한 서비스를 담당하고 있는 서빙 셀에만 존재하며, 협력 셀들간에 채널 정보 및 기본적인 스케줄링 정보 등을 공유하는 방식의 협력 및 조율을 통하여 어떤 단말기를 스케줄링 할 것인지 혹은 어떤 방식으로 빔을 형성할 것인가에 대한 결정을 하게 된다. 이때 협력 셀들간의 조율 과정을 통해 타 셀에서 동시에 스케줄링될 단말기가 겪게 될 간섭의 양을 최소화 혹은 조정할 수 있도록 자기 셀의 단말기에 대한 스케줄링을 결정하거나 혹은 사용할 빔을 형성한다.

일반적으로 생각할 때, 협력 셀들간에 공유되는 정보의 공유 수준은 협력 셀들의 지리적 위치 등에 의해 결정된다고 생각할 수 있을 것이다. 즉, 동일 기지국 하에 존재하는 다수의 셀들 사이에서는 채널 정보에 대한 공유에 덧붙여서 단말기들에 전송할 패킷 데이터 자체를 공유하는 것이 어려운

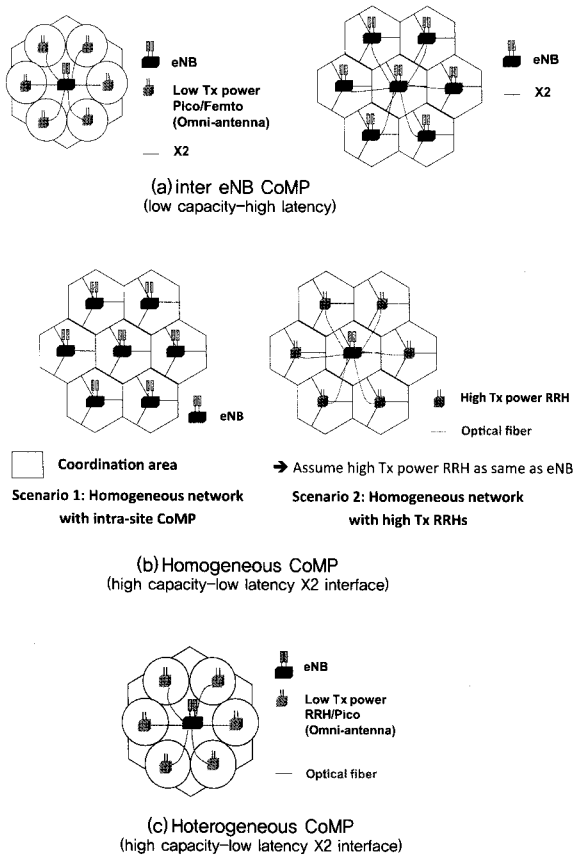
일이 아니므로 협력 처리 기법을 적용하는 것에 무리가 없을 것으로 생각된다. 하지만 동일 기지국 하에 있지 않은 셀들 간에는 데이터 공유가 쉽지 않을 것이며 이에 따라 채널 정보만을 서로 공유하여 협력 스케줄링/협력 빔 형성 방식이 적용될 확률이 높을 것이다.

LTE-Advanced study item 단계 초기 단계에서는 여러 가지 CoMP 방식과 CoMP 시나리오 하에서 CoMP 방식의 성능을 평가하기 위한 작업이 수행되었다. 회사들간의 성능 실험 결과에는 많은 편차가 있었지만, 대체적으로 저용량의 긴 시간 지연을 가지는 일반적인 X2 인터페이스 하에서 CS/CB 방식은 그리 만족스러운 성능을 제공하지 못 한다는 것을 발견하였다. 이에 따라 CoMP를 통해 성능 이득을 얻을 수 있는 주요 시나리오로 고용량과 짧은 시간 지연을 가지는 고성능의 백홀이 존재하는 상황 하에서의 CoMP 방식들에 대한 성능 평가 작업이 요구된다. 또한 초기 CoMP study item에서는 이중 셀 배치 시나리오 하에서의 CoMP 방식에 대한 성능 평가가 거의 이루어지지 않았으며 거의 모든 성능 평가가 협력 셀들 간의 전송 전력이 동일한 동중 셀 배치 시나리오 하에서 이루어졌다.

이러한 사전 연구를 바탕으로 하여 2011년 1월부터 REL-11 CoMP study item에 대한 논의가 재개되었다. 우선적으로 고용량과 짧은 시간 지연을 가지는 고성능 백홀 하에서 CoMP 방식이 제공할 수 있는 최대 성능 이득에 대한 평가 작업을 진행하게 되며, 저용량과 긴 시간 지연을 가지는 백홀 상황에서 사용할 수 있는 CoMP 방식과 이때 최대 성능 이득에 대비한 성능의 감소를 최소화시킬 수 있는 방법 등에 대해 연구를 진행하게 될 것이다. 특히, 이중 셀 배치 상황에서의 CoMP의 성능 확인 작업은 이전에 이루어지지 않았던 분야로 특히 RRH (Remote Radio Head)를 CoMP에 이용하는 셀 배치 시나리오에 대해 많은 관심을 보이고 있다. RRH의 경우 마크로 eNB와의 백홀 링크가 광으로 연결되며 이에 따라 시간 지연이나 백홀 용량 문제로 인한 CoMP의 성능 저하에 대한 고려없이 최고의 CoMP 성능을 달성할 수 있는 셀 배치 시나리오로 고려할 수 있다. 이 때, RRH들이 독립적인 PCI (Physical Cell Identifier)를 가지고 마크로 eNB들과 협력 작업을 수행하는 경우와, RRH들에 독립적인 PCI를 할당하지 않고 마크로 eNB에서 사용하는 다중 안테나의 일부로 동작시키는 두 가지 방식에 대해 성능 평가 작업을 진행하고 있

다. 특히, 후자의 경우에는 마크로 eNB의 다수 개의 안테나를 지리적으로 분리된 공간에 배치시키는 DAS (Distributed Antenna System) 방식의 하나로 생각할 수 있다.

(그림 24)에는 현재 REL-11 CoMP study item에서 고려하고 있는 여러 가지 성능 평가 시나리오를 나타내었다 [18].



(그림 24) 여러 가지 CoMP 성능 평가 시나리오

위에서 언급한 여러 가지 CoMP 시나리오들에 대한 성능 평가 작업을 2011년 9월까지 진행하게 되며, 성능 평가 결과에 기초하여 REL-11 발간 일정에서 실제 표준 작업을 진행할 CoMP 방식들을 결정하게 될 것이다. 특히, 선정된 CoMP 방식을 효율적으로 지원하기 위한 채널 정보 피드백 방식, 코드북 설계 방법, 코드북 선택 방법 등에 대한 많은 논의가 있을 것으로 예측된다.

(2) Others

상술한 바와 같이, REL-11에서는 REL-10의 표준 발간 일정상의 문제로 인해 다루지 못 했던 여러 가지 최적화 방식들 혹은 진화된 성능 기법들에 대한 논의가 진행될 것으로 예측된다.

먼저 대역폭 결합 기술과 관련해서는 여러 가지 대역폭 결합 시나리오 들에 대한 RAN4 작업반의 RF 요구 사항들에 대한 표준 작업이 진행될 것으로 보인다. 또한, 하위 호환성을 보장하지 않으면서 여러 성능 향상 기법들을 적용하기에 용이한 확장 반송파 (extension carrier) 사용에 대한 연구, 그리고 TDD의 경우 각각의 셀 별로 서로 다른 UL/DL 서브프레임 설정을 사용하는 방법 등에 대한 연구, 그리고 다양한 시그널링 프로토콜 혹은 MAC 계층의 성능 향상을 위한 연구가 진행될 것으로 생각된다.

하향 링크 MIMO의 경우 2011년 3월 REL-11 study item을 생성하여 본격적인 논의를 막 시작하려 하고 있다. REL-11 study item에서 다루게 될 주요 내용은 저전력 통신 노드들이 비균일하게 배치된 상황에서 적용 가능한 채널 피드백 방식이나, 코드북 설계 방법 그리고 제어 채널 설계 기법 등에 대한 연구를 진행할 예정이며, 개루프 다중 사용자 MIMO (open loop multi-user MIMO) 방식 등에 대한 연구도 진행할 예정이다.

상향 링크 MIMO의 경우, RS와 관련된 성능 향상 기법들에 대한 연구, 고속 이동 상황이나 저전력 통신 노드들이 존재하는 비균일 네트워크 시나리오 상에서 보다 효율적으로 적용 가능한 MIMO 기법 들에 대한 연구 등을 위한 REL-11 study item을 생성하였으며, 이에 대한 본격적인 논의는 2011년 6월 이후 시작하기로 하였다.

eICIC와 관련해서는 REL-10에서 다루지 못 했던, ABS 서브프레임 내의 CRS나 PSS/SSS/PBCH 등의 legacy 전송에 의한 간섭 문제를 해결하기 위한 방안 등에 대한 연구, 그리고 HetNet 상황에서 PCI나 시스템 정보 등을 보다 잘 검출할 수 있는 기법 등에 대한 연구 등을 목표로 하여 REL-11 work item을 생성하였으며, 이에 대한 본격적인 논의는 2011년 9월 이후 시작할 예정이다.

무선 중계기의 경우, 아직 REL-11에서 어떤 형태로 연구를 진행할 것인지에 대해 최종 합의가 이루어지지 않았으며, 추후 논의 결과에 따라 무선 중계기의 성능 향상을 위한 독

립된 work item 혹은 study item을 생성하여 논의를 진행하거나 혹은 다른 study item들의 연구 목표에 무선 백홀 링크에서의 성능 향상 기법에 대한 내용을 추가하여 연구를 진행하는 형태로 논의가 진행될 것으로 보인다. 또한, 그룹 이동성을 지원하기 위한 이동 중계기 (mobile relay)에 대한 연구도 진행될 수 있을 것으로 생각된다.

이 외에도 MTC (Machine Type Communication)에 대한 무선 접속 규격 상에서의 고려 사항에 대한 연구가 본격화될 것으로 생각되며, 또한 HeNB에 대한 여러 이동성과 관련된 성능 향상 기법들 그리고 SON (Self Optimized Network)과 관련된 성능 향상 기법들에 대한 논의가 이루어지게 될 것으로 생각된다.

V. 결론

본 고에서는 IMT-Advanced 기술로 인준되어 최종 완성을 목전에 두고 있는 LTE-Advanced 표준 기술에 대해 알아보았다.

먼저 IMT-Advanced 와 관련된 최근의 표준 일정과 이에 따른 LTE-Advanced의 표준 진행 일정을 살펴보았다. LTE-Advanced 표준 기술은 3GPP의 표준 발간 일정 상으로 보았을 때, REL-10에서 표준화가 진행되었으며 그 발간 일정 상의 문제로 인해, IMT-Advanced의 최저 요구 사항을 만족하기 위해 필수적으로 요구되는 기술 아이템들을 우선으로 하여 표준 작업을 수행해왔으며, 현재 최종 freezing 단계인 ASN.1 freezing을 앞 두고 있다. 따라서 LTE-Advanced study item 단계에서 고려했던 여러 가지 진화 기법들에 대한 논의는 REL-11으로 순연된 상황이며, 현재 REL-11에 대한 논의가 막 시작되고 있는 상황이다.

다음으로 REL-10 발간 일정 상에 포함된 LTE-Advanced 표준의 주요 요소 기술들인 반송파 결합 기술, 진화된 하향 링크 MIMO 기술, 상향 링크 MIMO 기술, HetNet 상황 하에서의 간섭 제어 기술 그리고 무선 중계기에 대하여 REL-10 표준에 포함된 주요 기술들의 합의 사항과 그 합의 사항의 배경 등에 대해 상세히 설명하였다. 또한, REL-11에서 LTE-Advanced 표준 기술에 대해 어떤 진화된 기술 논의를 진행

하게 될 것인지에 대한 표준 전망에 대해서도 설명하였다.

현재 IMT-Advanced 기술로 인준된 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 계속할 것이라는 점이다. 따라서 현재 논의하고 있는 요소 기술들에 대하여 지속적으로 성능을 개선시키려는 노력과 함께 성능 대 비용 면에서도 우수한 기술들을 업선하여 LTE-Advanced 표준에 반영시키기 위한 노력이 REL-11에서도 계속될 것으로 생각된다. 현재, LTE-Advanced에 대한 표준화를 진행하는 3GPP의 RAN 표준 과정에는 NTT DoCoMo, Ericsson, Nokia, Qualcomm, Alcatel-Lucent, Huawei 등의 세계 유수 기업들이 매우 적극적으로 참여하고 있으며, 국내에서도 LG 전자와 삼성 전자, ETRI, LG-Ericsson, 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 공격적으로 표준화 과정을 선도하기 시작한 점은 매우 고무적인 일로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 윤영우, "LTE-Advanced 주요 표준 동향", 한국통신학회지 Vol.26 No.12
- [2] ITU-R, Revision 1 to Document IMT-ADV/2-E, "Submission and evaluation process and consensus building"
- [3] 3GPP, RP091003, "COMPLETE SUBMISSION OF 3GPP LTE RELEASE 10 & BEYOND (LTE-ADVANCED) UNDER STEP 3 OF THE IMT-ADVANCED PROCESS"
- [4] 3GPP, RP-091000, REL-10 time plan
- [5] 3GPP, TS 36.300 v10.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall description, Stage 2"
- [6] 3GPP, TR 36.814 v9.0.0, "Further advancements for E-UTRA physical layer aspects"
- [7] 3GPP, TS 36.211 v10.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical channels and modulation"
- [8] 3GPP, TS 36.212 v10.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Multiplexing and channel coding"
- [9] 3GPP, TS 36.213 v10.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical layer procedure"
- [10] 3GPP, TS 36.213 v10.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical layer measurement"
- [11] 3GPP, TS 36.321 v10.1.0, "Medium Access Control (MAC) protocol specification"
- [12] 3GPP, TS 36.331 v10.1.0, "Radio Resource Control (RRC) Protocol specification"
- [13] 3GPP, TS 36.216 v10.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical layer for relaying operation"
- [14] 3GPP, TR 36.913, "Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)", V8.0.0, June 2008
- [15] 3GPP, RP-091005, Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE REL-10 and Beyond
- [16] 3GPP, TR 36.807 v1.4.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), User Equipment (UE) radio transmission and reception"
- [17] 3GPP, R1-084222, "MAC to physical layer mapping and control signaling for carrier aggregation", Panasonic
- [18] 3GPP, R1-111167, "TR Skeleton for Coordinated Multi-Point Operation for LTE", Samsung

약 력



윤 영 우

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