

# LTE-Advanced CA 기술 특징 및 진화 방향

임수환\*, 이상욱<sup>o</sup>

## LTE-Advanced CA Features in 3GPP REL-12 and its Future

Su Hwan Lim\*, Sang-Wook Lee<sup>o</sup>

### 요약

본 논문은 3GPP REL-12 에서 논의하는 반송파 집성(Carrier aggregation, CA) 기술의 표준 동향, 이를 지원하기 위한 단말요구 사항 정의, 그리고 이를 바탕으로 예측한 향후 기술 발전의 방향에 관한 것이다. 이는 REL-12 에서 논의되는 상향 링크(Uplink, UL)에서의 2UL CA, 하향 링크(Downlink, DL)에서 3개의 반송파를 집성하는 3DL CA, TDD와 FDD를 결합하는 TDD-FDD CA 등이 포함되며, 또한 단말 RF 단에서 필요한 공존 이슈, 대역 외 방사 이슈를 비롯한 여러 RF 요구사항을 분석 및 실험 결과들을 포함한다. 또한 CA 진화의 한 축인 비면허 대역과 LTE 운용 주파수 대역과의 반송파 집성기술인 LTE-U를 포함한 CA 진화 방향에 대해서도 기술한다.

**Key Words** : Carrier Aggregation (CA), 2ULs CA, 3DLs CA, TDD-FDD CA, UE RF requirements

### ABSTRACT

This paper investigates the standard features of Carrier aggregation (CA), the related UE RF requirements in 3GPP release 12 and estimated CA evolution in future. The main CA feature of 3GPP release 12 in WG4 perspectives includes 2Uplink(UL) CA, 3Downlink(DL) CA and TDD-FDD CA. To support these features in UE, UE-to-UE coexistence problem and RF requirements generated by unwanted emissions such as inter-modulation and harmonics are analyzed. Also, future CA technology such as LTE in unlicensed bands is described.

### 1. 서론

CA 기술은 주파수의 효율적인 사용 및 최대 전송률을 향상시키기 위해 2개 이상의 반송파를 결합하는 기술로서 3GPP Rel-10의 핵심 요소 기술이다. 기본적으로 글로벌 이동통신 표준화 단체인 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 내의 물리계층 (Physical Layer) 담당 그룹인 3GPP WG (Working Group) 1과 상위 계층 담당 그룹인 WG2 관점에서는 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz 대역폭을 가질 수 있는 최대 5개의 상향링크 혹은 하향링크 반송파를 결합하여 결합 대역폭 100MHz를 실현할 수 있다<sup>1-4)</sup>. 이에 반

해 단말, 기지국의 RF (Radio Frequency) 및 프로토콜 규격, 기저대역 수신 성능의 표준화 담당 그룹인 WG4에서는 REL-10 표준의 대역 내(Intra-band) CA 기준으로, 상. 하향링크에서 2개의 반송파만 집성하여 최대 40MHz 대역폭의 2ULs/2DLs CA만을 지원하였다<sup>5)</sup>.

REL-11에서는 파편화(fragmented) 된 주파수 대역을 보유한 사업자들의 요구에 기반하여 다양한 대역 간(Inter-band) 및 대역 내 CA 조합들이 제안되었으며 기지국, 단말 간 공존, 대역 외 누설 전력 및 수신 감도 등을 포함한 관련된 RF 표준 요구 사항이 기지국, 단말 제조업체 위주로 분석, 연구 및 표준화되었다.

\* First Author : LG Electronics, suhwan.lim@lge.com, 정회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : LG Electronics, sangwook1.lee@lge.com, 정회원

논문번호 : KICS2014-07-260, Received July 11, 2014; Revised August 29, 2014; Accepted August 29, 2014

3GPP WG4에서는 REL-12 CA 기술의 특징으로, 3DLs/1UL CA 와 2ULs/2DLs CA를 지원하기 위한 단말의 기준 구조 (reference architecture)에 따른 영향 분석 및 규격 정의 방식에 대한 논의 된 바 있으며, 또한 TDD-FDD joint operation 에 대한 논의도 포함한다. 현재까지도 CA 관련된 단말이슈를 해결하고 또한 최대 5개까지의 CC (Component Carrier)를 지원하기 위한 제반 기술 규격을 만드는 논의를 진행 중이다.

본 논문은 주로 3GPP WG4 관점에서 특히 기술적으로 구현이 어려운 단말 RF 구조 및 대역 외 방사와 관련된 공존 이슈를 위주로 CA 기술의 발전 추이와 향후 발전 방향을 예측하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 REL-12 CA의 진화 과정, 2UL CA, 3DLs CA 그리고 TDD-FDD CA의 기술적 이슈를 분석한다. 또한 이와 같은 다양한 CA 동작을 지원하기 위한 단말 RF 구조를 고찰하고 이를 바탕으로 발생하는 기술적 이슈와 이에 대한 해결 방안에 대해서 분석한다. III장에서는 LTE-U(LTE-Unlicensed spectrum)를 포함하여 추후 예상되는 CA 기술의 진화에 대해서 알아본다. 마지막으로 IV장에서 본 논문은 결론을 맺는다.

## II. REL-12 CA 특징

3GPP WG4 관점의 초기 CA 기술은 2개의 반송파를 묶어 동시 수신을 함으로써 데이터 전송률을 증가시키는 방안으로 논의가 시작되었으며 대역 내 CA 와 대역 간 CA 가 대표 조합으로 설정된다<sup>6,7</sup>. 그림 1은 대역 내 혹은 대역 간 CA 의 개념을 도식한 것이다.

LTE-Advanced의 초기 표준인 REL-10에서는 대역 내(Intra-band) CA 대표 조합으로 Band 1 + Band 40을 선택하였고, 대역 간(Inter-band) CA 대표 조합으로 참여한 글로벌 사업자들의 이해관계를 피하기 위해 지역 1(Region 1: 유럽, 아프리카), 지역 3(Region 3: 아시아, 호주)의 대표 대역인 Band 1과 지역 2(Region 2: 북미, 캐나다) 대표 대역인 Band 5의 조합인 Band 1 + Band 5를 선택하여 표준화를 시작하였다.

REL-11 표준부터는 사업자들이 보유하고 있는 파편화된 주파수의 효율적 사용을 위하여 표 1과 같이 대역 내 연속/ 불연속 (Intra-band contiguous/non-contiguous) CA 및 대역 간 CA를 다양한 밴드 조합에서 지원하게 되었다. 하지만 REL-11 에서도 시간적 제약 및 단말 간 공존에 대한 간섭 분석과 해결책에 대한 연구 부족으로, 대역 내 불연속 CA 에서

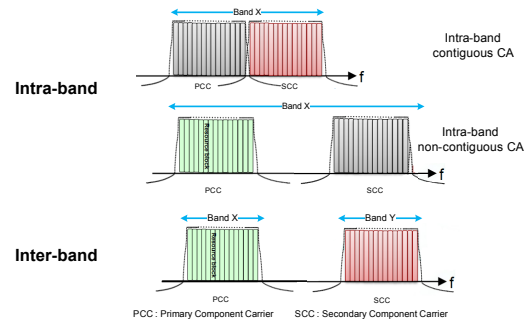


그림 1. 대역 내 혹은 대역간 CA 개념도  
Fig. 1. Concept of Intra-band CA and Inter-band CA

상향 링크 CA를 포함하지 못하고, REL-10 과 동일하게 하향 링크 CA만을 지원하였다.

표 1에서 대역 간 CA는 두 대역의 중심 주파수 위치와 송신 신호가 대역 외로 발생시키는 고조파 성분(Harmonics)과 상호 변조(inter-modulation) 신호의 수신 대역에서의 존재 유무에 따라 아래와 같이 5개 클래스로 나누어질 수 있다<sup>8</sup>.

- A1 클래스 : 고조파 성분이나 상호변조에 의한 수신 대역으로의 영향이 없는 Low-High 밴드 조합
- A2 클래스 : 고조파 성분에 의한 수신대역으로의 영향이 있는 Low-High 밴드 조합
- A3 클래스 : 상호변조에 의한 수신대역으로의 영향이 없는 Low-Low 또는 High-High 밴드 조합
- A4 클래스 : 상호변조에 의한 수신대역으로의 영향이 있는 Low-Low 또는 High-High 밴드 조합
- A5 클래스 : A1-A4 클래스에 속하지 않은 CA 조합 (Low-Mid 혹은 Mid-High 조합)

이와 같은 구분은, 단말의 송/수신 RF 요구사항을 표준화할 경우 송수신 구조가 클래스에 따라 서로 다를 수 있고 이에 따른 분석 및 관련 표준화 접근이 다를 수 있음을 고려한 것이다. 일례로 A2 클래스인 B4+B17 인 경우, Low band 인 Band 17의 송신 주파수 704-716MHz 에서 송신 신호를 전송하는 경우, 3차 고조파 성분이 2112-2148MHz 에서 발생하게 되며 이는 Band 4의 수신 주파수 영역(2110-2155MHz)에 포함되어 수신 감도에 영향을 미치게 된다. 따라서 이와 같은 고조파를 제거하기 위해 WG4에서는 고조파 제거 필터를 Band 17의 송신 단에 아래의 그림 2와 같이 추가한 기준 단말 송수신 구조 (reference UE RF architecture) 를 고려하여 규격을 설계하였다<sup>8</sup>.

REL-12에서는 다음 3 가지 CA 조합이 중점적으로 표준화 되고 있다.

표 1. REL-11에서 CA 조합 및 지원 대역 폭

Table 1. CA configurations and bandwidth combination sets for variable CA features in REL-11

CA / Class		Band Combination	Carrier Frequency G : GHz M : MHz	Max. aggregated BW[MHz]
Intra-band Contiguous CA (2ULs/2DLs)		B7+B7	2.6G+2.6G	40
		B38+B38	2.6G+2.6G	40
		B41+B41	2.5G+2.5G	40
Intra-band Non-contiguous CA (1UL/2DLs)		B25+B25	1.9G+1.9G	20
		B41+B41	2.5G+2.5G	40
Inter-band CA (1UL/2DLs)	Class A1	B4+B13	2.1G+700M	30
		B7+B20	2.6G+800M	30
		B1+B19	2.1G+800M	35
		B3+B5	1.8G+800M	30
		B1+B18	2.1G+800M	35
		B4+B5	1.7G+800M	20
		B3+B20	1.8G+800M	30
		B2+B17	1.9G+700M	20
		B2+B29	1.9G+700M	20
		B4+B29	2.1G+700M	20
	Class A2	B4+B17	2.1G+700M	20
		B4+B12	2.1G+700M	20
		B3+B8	1.8G+900M	30
	Class A3	B3+B7	1.7G+2.6G	40
		B5+B12	800M+700M	20
		B4+B7	1.7G+2.6G	30
		B5+B17	800M+700M	20
		B8+B20	900M+800M	20
	Class A5	B11+B18	1.4G+800M	25
		B1+B21	2.1G+1.4G	35

- 2ULs/2DLs inter-band CA
- 1UL/3DLs inter-band CA
- TDD-FDD CA

여기서 3DLs CA 를 지원하기 위해 단말의 카테고리 가 아래의 표 2와 같이 추가적으로 업데이트되었다. 즉 기존 LTE/LTE-A 에서의 하향링크 데이터 전송률

은 단말 수신 안테나가 2개인 2레이어(Layer) 전송일 경우 최대 150Mbps (Category 4 UE)이며, 단말 수신 안테나가 4개인 4레이어 전송이거나 수신 안테나 2개 이고 2 DL CA를 사용할 경우 최대 300Mbps (Category 6 UE) 이다. 하지만, 기존 단말 카테고리 7 과 8 사이에는 데이터 전송률이 10배 이상의 차이가

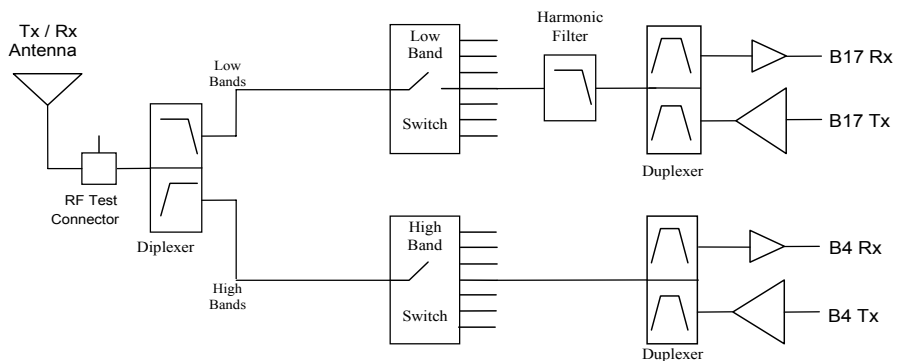


그림 2. 대역 간 CA A2 클래스에서의 단말 기준 송수신 구조의 예  
Fig. 2. Example of UE RF architecture in CA Class A2

표 2. LTE/LTE-A 를 위한 단말 카테고리  
Table 2. UE categories for LTE/LTE-A

Category		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peak Rate (Mbps)	DL	10	50	100	150	300	300	300	3000	450	450
	UL	5	25	50	50	75	50	100	1500	50	100
BW per CC		20MHz									
Multi-antenna configurations											
2x2 MIMO		N/A	Mandatory								
4x4 MIMO		Not Applicable				Mand-atory	Optional	Mand-atory	Optional		
8x8 MIMO		Not Applicable						Mand-atory	Not Applicable		

있으며, 단말 수신 안테나 2개 기준으로 3DLs CA 로 받을 수 있는 경우 최대 하향 링크 데이터 전송률은 450Mbps이다. 이에 따라 아래와 같은 새로운 UE category 9과 10 이 REL-12 표준화에서 새로 정의되었으며 REL-11 단말부터 적용될 수 있다.

### 2.1 2ULs/2DLs 대역 간 CA

단말의 상향 링크 동시 전송인 2ULs/2DLs 대역 간 CA는 크게 단말 간 공존 이슈와 단말 수신감도 보호 이슈 2가지가 존재한다.

첫 번째 단말 간 공존 이슈의 경우, 2UL 대역 간 CA 을 표준화하기 전까지 3GPP에서는 동일한 지역 내에서 사용되는 주파수 대역만 보호해 주면 충분하였다. 하지만, 2UL 대역 간 CA 조합에서는 서로 다른 지역에서 사용되는 대역 조합이 표 3과 같이 존재한다. 기존에 존재하지 않던 두 지역을 아우르는 (Cross-Region) 대역 간 CA 조합으로 인해 지역 간 단말 공존을 위한 표준화가 3GPP 핵심 논점으로 부각되었으며 이를 해결하기 위해 5개 옵션이 제안되었다. 상호 보호 규격을 설정하게 되면 최악의 상황에는 3GPP에서 정의한 모든 주파수 대역이 보호 대역으로 설정될 수 있고 이러한 불필요하고 과도한 표준 요구 사항을 피하기 위해서 5번째 옵션을 상호 보호 규격을 설정하기 위한 원칙으로 정하고 표준화를 진행하였다<sup>9)</sup>.

두 번째 이슈는 2ULs/2DLs 대역 간 CA 적용으로 단말의 동시 전송(simultaneous transmission)에 의한 수신 단 감도 저하(REFSENS degradation) 이다. 이는 단일 반송파 전송에서는 존재하지 않았던 이슈로서 상향 링크 동시 전송에 의해 발생된 대역 외 간섭 신호에 의해서 자기 수신 대역의 감도가 저하되는 현상이다. 표 4에서는 2ULs 대역 간 CA 조합에서

2ULs 동시 전송에 의해 발생하는 고조파 성분, 상호 변조 성분이 자신의 수신 대역에 미치는 영향을 분석 정리하였다<sup>9)</sup>.

예를 들어 표 5의 굵게 기울어진 항목에서 보는 바와 같이 한국에서 상용화 가능한 Band 5+Band 7 2ULs/2DLs CA 조합에서는 상향 링크의 3차 상호변조(3<sup>rd</sup> IMD) 성분과 5차 상호변조(5<sup>th</sup> IMD)성분이 Band 5와 Band 7의 수신 대역에 모두 영향을 주게 된다.

위의 분석을 토대로, 2ULs CA 단말에서는 상호 변조 성분이 발생하는 전력 증폭기(Power Amplifier, PA), 듀플렉서(Duplexer), 다이플렉서(Diplexer) 단에서의 상호 변조 레벨을 측정하여 단말 수신 감도에 미치는 영향을 추가 분석해야 한다. 이 중 가장 큰 영향을 미치는 소자인 전력 증폭기에서의 발생하는 상호 변조 레벨이 수신 단 감도를 저하시키는 양을 Band 5+Band 7 CA에서 분석한 결과는 표 6과 같다<sup>10)</sup>.

한 가지 주목할 사항은 마지막 열에 표시된 바와 같이 Band 7(2.6GHz 대역)의 수신 주파수에 미치는 5차 상호변조에 의한 수신 감도 저하는 무시할 만한 수준이며, 이는 RF 설계에 의해 극복 가능한 범위 내에 존재 한다. 하지만 Band 5(800MHz) 수신 대역에 미치는 3차와 5차 상호변조에 의한 Band 5의 수신 감도 저하는 매우 크다. 이를 해결하기 위한 한 가지 방법은 Band 5 대역의 수신 감도 저하를 허용하는 것이다<sup>11)</sup>.

### 2.2 1UL/3DLs 대역 간 CA

3DLs CA 는 세 개 이상의 파편화된 주파수를 보유하고 있거나 관심 있는 사업자들의 요구에 의해 표준이 시작되었다.

첫 번째 이슈는 하향 최대 60MHz 대역폭을 지원

표 3. Rel-12에서 2ULs/2DLs 대역 간 CA 조합  
Table 3. Dual-uplink inter-band CA band combination lists in Rel-12

Class		Band Combination	Carrier Frequency	Max. aggregated BW[MHz]	Regional Information
Inter-band CA (2ULs/2DLs)	Class A1	B1+B5	2.1G+800M	30	Region 1+2+3
		B1+B19	2.1G+800M	35	Region 3
		B3+B20	1.8G+800M	30	Region 1
		B7+B28	2.6G+700M	35	Region 1+2+3
		B2+B13	1.9G+700M	30	Region 2
		B4+B13	2.1G+700M	30	Region 2
	Class A2	B3+B8	1.8G+900M	30	Region 3
		B4+B12	2.1G+700M	30	Region 2
		B4+B17	2.1G+700M	20	Region 2
	Class A3	B1+B7	2.1G+2.6G	40	Region 1
		B3+B7	1.7G+2.6G	40	Region 1
		B4+B7	1.7G+2.6G	30	Region 1+2+3
		B5+B12	800M+700M	20	Region 2
		B5+B17	800M+700M	20	Region 2
	Class A4	B3+B5	1.8G+800M	30	Region 1+2+3
		B1+B3	2.1G+1.7G	40	Region 1
		B2+B4	1.9G+2.1G	40	Region 2
		B5+B7	800M+2.6G	30	Region 1+2+3
		B7+B20	2.6G+800M	30	Region 1
		B3+B26	1.8G+800M	35	Region 3
		B3+B19	1.8G+800M	35	Region 3
	Class A5	B1+B21	2.1G+1.4G	35	Region 3
		B19+B21	800M+1.4G	30	Region 3

- \* 지역 간 조합인 대역 간 CA의 상호 보호를 위해 제안된 해결 방안
- 옵션 1) 지금까지 지역간 공존 이슈 논의하지 않았으므로 표준화 하지 않음.
- 옵션 2) 지역 간 공존 이슈는 해당 이슈가 존재하는 국가 간에 해결.
- 옵션 3) 두 지역에서 모두 보호하는 대역만을 보호대역으로 설정.
- 옵션 4) 두 지역 중 어느 한 지역이라도 보호하는 대역은 모두 보호 대역으로 설정.
- 옵션 5) 두 지역에 속한 밴드를 모두 사용하는 나라에서 운용하는 주파수 중에 보호대역을 선택 결정.

하는 새로운 단말 카테고리를 설정하는 것이었으며, II장에서 논의된 표 2에서와 같이 새로운 단말 카테고리 9와 10을 2014년 3월에 표준화 완료하고, REL-11부터 반영하기로 결정하였다.

두 번째 이슈는 세 개의 대역을 지원하기 위한 단말 RF 구조 설계에 관한 것이다. 구체적으로 그림 3과 같이 기준 단말 구조(Reference UE RF architecture)를 듀플렉서와 트라이플렉서(Triplexer)의 결합 구조인 헥사플렉서(Hexaplexer)를 이용한 RF 구조를 고려할 것인지, 아니면 직렬 연결된 다이플렉서와 듀플렉서만을 고려할 것인지를 선택하는 문제이다. 이는 기준 단말 구조에 따라 요구되는 추가 삽입 손실(Additional

Insertion loss)이 달라지며, 삽입 손실 값에 따라 송신 단 최대 전송 전력과 수신 단 수신 감도가 영향을 받기 때문이다.

세 번째 이슈는 단말 RF 표준 규격 설정 이슈이다. 이는 송신 단에 의해 발생한 고조파 성분으로 인한 수신 감도 저하를 해결하는 방식과 이를 검증하기 위한 테스트 방식에 대한 규격 설정 이슈다.

그림 3은 3DLs 를 지원하는 단말의 RF 구조에 대한 한 예이다. 이 예에서 3DLs CA Band<sub>x-y-z</sub> 를 지원하는 단말은 세 가지 2DLs CA 조합인 Band<sub>x-y</sub>, Band<sub>y-z</sub>, Band<sub>x-z</sub> 중 어느 하나로도 폴백(fallback)할 수 있도록 지원해야 한다<sup>[13]</sup>.

표 4. 2UL 대역 간 CA에서 하링크에서의 상호변조와 고조파 성분 영향 분석  
 Table 4. Analysis of IMDs and harmonics induced by 2UL CA into own downlink bands

Class	Band Combination	Harmonics		Inter-Modulation				
		H2	H3	IMD2	IMD3	IMD4	IMD5	
Inter-band CA (2UL/2DL)	A1	B1+B5				Yes		
		B1+B19				Yes		
		B3+B20					Yes	
		B7+B28						
		B2+B13						
		B4+B13						
	A2	B3+B8	Yes				Yes	Yes
		B4+B12		Yes			Yes	
		B4+B17		Yes				
	A3	B1+B7						
		B3+B7					Yes	
		B4+B7					Yes	
		B5+B12						
		B5+B17						
	A4	B3+B5			Yes		Yes	Yes
		B2+B4				Yes		Yes
		B7+B20				Yes		Yes
		B3+B26			Yes		Yes	Yes
		B5+B7				Yes		Yes
		B3+B19			Yes		Yes	Yes
	A5	B1+B21						
B19+B21								

표 5. Band 5 + Band 7 CA에서 상호변조 성분 분석  
 Table 5. IMDs products for Band 5+Band 7 CA combination

UE UL Carriers	fx_low	fx_high	fy_low	fy_high
UL frequency (MHz)	824	849	2500	2570
Two-tone 3rd order IMD products	$ 2*fx\_low - fy\_high $	$ 2*fx\_high - fy\_low $	$ 2*fy\_low - fx\_high $	$ 2*fy\_high - fx\_low $
IMD frequency limits (MHz)	802 - 922		4151 - 4316	
Two-tone 5th order IMD products	$ fx\_low - 4*fy\_high $	$ fx\_high - 4*fy\_low $	$ fy\_low - 4*fx\_high $	$ fy\_high - 4*fx\_low $
IMD frequency limits (MHz)	9151 - 9456		726 - 896	
Two-tone 5th order IMD products	$ 2*fx\_low - 3*fy\_high $	$ 2*fx\_high - 3*fy\_low $	$ 2*fy\_low - 3*fx\_high $	$ 2*fy\_high - 3*fx\_low $
IMD frequency limits (MHz)	5802 - 6062		2453 - 2668	

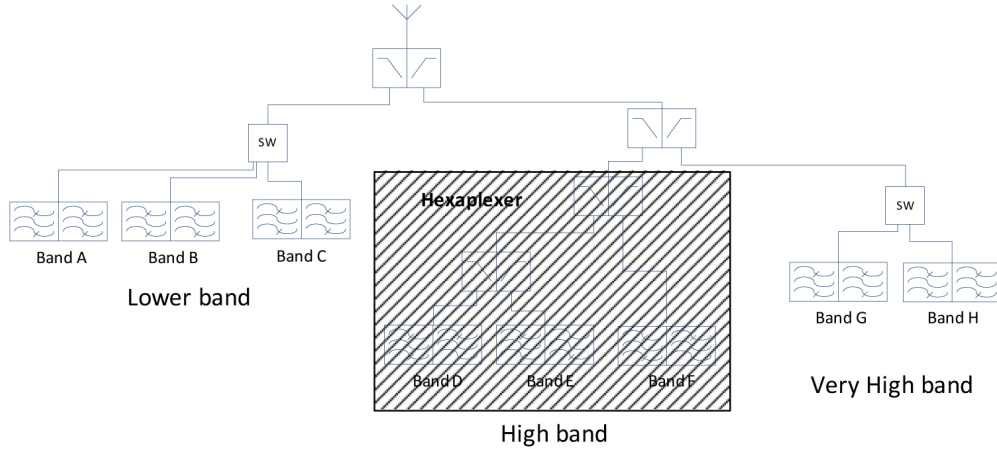


그림 3. 3DLs CA를 지원하는 단말 RF 기준 구조의 예  
Fig. 3. Example of UE Architecture for 3인 inter-band CA

표 6. Band 5+Band 7 CA에서 측정된 상호 변조 레벨  
Table 6. Measured IMD levels for Band5+Band7 CA combination

Coupling factor (dB)	Desensitization by PA(dB)		
	IMD3 at 882MHz	IMD5 at 886MHz	IMD5 at 2668MHz
40	39.48	33.78	0.63
50	29.70	23.87	0.61
60	20.37	14.01	0.58

그림 3의 헥사플렉서를 사용하는 경우와 같이, 일반적으로 RF 소자가 통합된 구조에서의 삽입손실이 낮기 때문에 2DLs CA에서는 듀플렉서와 다이플렉서가 결합된 쿼드플렉서(Quadplexer)를 이용하는 단말 구조를 고려하였다. 3DLs CA 삽입손실은 그림 3의 기준 단말 구조에 따라 결정되며, 또한 결정된 삽입손실은 2DLs CA로 풀백할 경우 그대로 유지된다.

### 2.3 TDD-FDD CA

TDD-FDD CA는 기존 TDD 혹은 FDD에서만 지원하던 CA 기술을 서로 다른 다중화 방식간에서도 지원하기 위한 방식이며, TDD 와 FDD 주파수를 모두 보유한 사업자들이 보유 대역을 효율적으로 사용하기 위해 표준이 시작되었다<sup>[14]</sup>. TDD-FDD CA를 위해서는 TDD-FDD 상향 링크 동시 전송에 의한 RF 영향도 고려되어야 하지만, 3GPP WG4 에서는 동시 전송에 의한 인접 단말 간의 공존 이슈 및 수신 단말의 감도 저하를 배제하기 위해, 하향링크 CA인 1UL/2DLs TDD-FDD CA 만을 REL-12에서 고려하

기로 하였다<sup>[15]</sup>.

그림 4는 TDD-FDD CA 운용 시나리오의 한 예로서, 2GHz 이하의 상대적으로 낮은 주파수인 FDD 대역에 매크로 셀(Macro Cell)을 운용하고, 2GHz 이상의 상대적으로 높은 주파수인 TDD 대역에는 TDD 소형 셀(small cell)을 CA로 결합하여 운용하는 방식이다.

RAN WG4는 Rel-12에서 표 8과 같이, TDD-FDD CA 에 대한 대역 조합을 4개의 경우로 한정하여 연구하였으며, Band 8+Band 40 , Band 1+Band 42 CA 조합에 대해 표준화를 완료하였고 나머지 조합들은 다른 TDD-FDD 밴드 조합과 함께 Rel-13에서 연구할 예정이다<sup>[16,17]</sup>.

그림 5-(a) 는 Low +High TDD-FDD CA일 경우 사용되는 단말 RF 기준 구조의 한 예를 나타낸다. 이 구조에서는 TDD 단에 추가적인 필터가 있으며, 이 필터는 TDD 상향 링크 단말 송신과 FDD 하향 링크

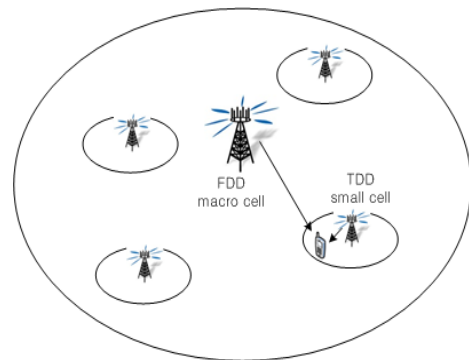
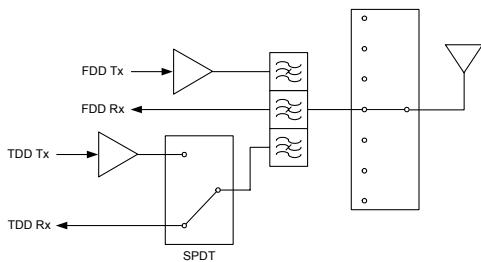


그림 4. TDD-FDD CA 운용 시나리오 예  
Fig. 4. Use case scenario for TDD-FDD CA

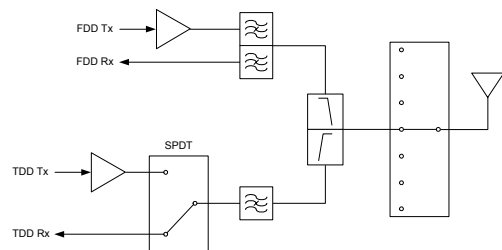
표 7. 3DLs CA 밴드 조합<sup>[12]</sup>

Table 7. 3DLs CA band combinations<sup>[12]</sup>

Band Combination	Carrier Frequency	Max. aggregated BW[MHz]	Band Combination	Carrier Frequency	Max. aggregated BW[MHz]
B1+B3+B5	2.1G+1.8G+800M	50	B3+B3+B7	1.8G+1.8G+2.6G	60
B1+B3+B8	2.1G+1.8G+900M	50	B3+B3+B8	1.8G+1.8G+900M	50
B1+B3+B20	2.1G+1.8G+800M	45	B3+B7+B7	1.8G+2.6G+2.6G	60
B1+B3+B26	2.1G+1.8G+800M	50	B3+B7+B20	1.8G+2.6G+800M	50
B1+B3+B19	2.1G+1.8G+800M	55	B3+B8+B27	1.8G+900M+800M	40
B1+B5+B7	2.1G+800M+2.6G	50	B3+B42+B42	1.8G+3.6G+3.6G	60
B1+B7+B20	2.1G+2.6G+800M	45	B4+B4+B5	2.1G+2.1G+800M	50
B1+B18+B28	2.1G+800M+700M	45	B4+B4+B7	2.1G+2.1G+2.6G	40
B1+B19+B21	2.1G+800M+1.4G	50	B4+B4+B12	2.1G+2.1G+700M	50
B1+B41+B41	2.1G+2.6G+2.6G	60	B4+B4+B13	2.1G+2.1G+700M	50
B1+B42+B42	2.1G+3.6G+3.6G	60	B4+B5+B12	2.1G+800M+700M	40
B2+B2+B5	1.9G+1.9G+800M	50	B4+B5+B13	2.1G+800M+700M	40
B2+B2+B12	1.9G+1.9G+700M	50	B4+B5+B30	2.1G+800M+2.3G	40
B2+B2+B13	1.9G+1.9G+700M	50	B4+B7+B12	2.1G+2.6G+700M	40
B2+B4+B4	1.9G+2.1G+2.1G	60	B4+B12+B12	2.1G+700M+700M	40
B2+B4+B5	1.9G+2.1G+800M	45	B4+B12+B30	2.1G+700M+2.3G	40
B2+B4+B12	1.9G+2.1G+700M	50	B4+B29+B30	2.1G+700M+2.3G	40
B2+B4+B13	1.9G+2.1G+700M	50	B7+B8+B20	2.6G+900M+800M	40
B2+B5+B12	1.9G+800M+700M	40	B19+B42+B42	800M+3.6G+3.6G	55
B2+B5+B13	1.9G+800M+700M	40	B26+B41+B41	800M+2.6G+2.6G	55
B2+B5+B30	1.9G+800M+2.3G	40	B39+B41+B41	1.9G+2.6G+2.6G	60
B2+B12+B12	1.9G+700M+700M	40	B41+B42+B42	2.6G+3.6G+3.6G	60
B2+B12+B30	1.9G+700M+2.3G	40	B40+B40+B40	2.3G+2.3G+2.3G	60
B2+B29+B30	1.9G+700M+2.3G	40	B41+B41+B41	3.6G+3.6G+3.6G	60



(a) Low+High band combination



(b) Low+Low/ High+High band combination

그림 5. TDD-FDD CA를 지원하는 단말 RF 기준 구조  
Fig. 5. UE reference architecture for TDD-FDD CA



표 8. FDD-TDD CA의 대역 조합 예 및 주요 기술적 이슈  
Table 8. Example band combination for TDD-FDD joint operation

Combination		주요 기술적 이슈
FDD	TDD	
1 (2.1GHz)	41 (2.6GHz)	Band 41 필터(194MHz pass-band 특성)의 누설성분이 B1의 DL의 sensitivity를 감소시키는 현상에 대한 해결책 필요
1 (2.1GHz)	42 (3.5GHz)	High + very High band 조합: Triplexer 사용하는 단말 기준 구조 결정 <sup>[19]</sup> 이를 반영한 삽입손실 값 결정 ( $\Delta TIB,c = 0.8dB$ , $\Delta RIB,c = 0.5dB$ in Band42)
3 (1.8GHz)	40 (2.3GHz)	High + High band 조합 : 단말 기준 구조에서 Triplexer 사용 여부가 결정되지 않음
8 (800MHz)	40 (2.3GHz)	Low/High band 조합이며, 고조파/상호변조에 의한 영향이 없음. 2DLs 대역 간 CA Class A1의 단말 구조를 재사용할 수 있음. ( $\Delta TIB,c = 0.3dB$ , $\Delta RIB,c = 0dB$ in Band 8 and 40)

단말 수신이 동시에 이루어 질 때, TDD 송신 신호의 FDD 수신 대역으로의 전력 누설에 의한 간섭 제거를 위해 사용된다. Low + High TDD-FDD CA의 삽입 손실은 기존 2DLs 대역 간 CA 클래스 A1에서 사용된 삽입 손실을 재사용하기로 결정하였다<sup>[18]</sup>.

그림 5-(b)는 High + High 대역과 High + very High (3.5GHz) 대역 조합에서의 기준 단말 구조이며, 이 밴드 조합에서 트라이플렉서 사용여부가 명확히 결정되지 않았으며, 또한 상용 트라이플렉서에 대한 주파수 특성 및 삽입 손실 등의 정보가 추가적으로 연구되어야 한다.

### III. CA 표준 진화

II 장에서는 REL-12 까지의 CA 특징 및 관련 표준과 이를 지원하기 위한 단말 RF 구조, 그리고 공존 문제 분석 및 해결 방안에 대해서 알아보았다. 이를 기반으로 본 장에서는 향후 CA 표준 진화 방향을 논의하고자 한다.

사업자들의 경우 상/하향 트래픽 사용량 분석을 바탕으로 상향 링크 CA 보다는 하향링크 CA에 대한 관심이 상대적으로 높다. 이를 바탕으로, 향후 1UL/4DLs CA 및 1UL/3DLs TDD-FDD CA에 대한 표준 진화를 예상할 수 있다. 물론 사용자 간 통신에 의한 상향 링크 트래픽 증대로 인해 2ULs/3DLs CA, 2ULs/2DLs TDD-FDD CA 등에 대한 연구도 활발히 진행될 것으로 예상된다. 실제 지난 2014년 8월 RAN WG4에서는 AT&T를 비롯한 북미 사업자들이 1UL/4DLs CA에 대한 WI(Work Item)를 제안하였으며<sup>[20]</sup>, 이에 대한 표준 논의는 Rel-13에서 이루어질 예정이다.

면허 대역과 비 면허 대역(Unlicensed spectrums)

간의 CA 또한 새로운 진화의 방향이며, LTE-U로 통칭하는 이 기술은 2014년 6월 프랑스 ETSI 본부에서 열린 3GPP LTE-U 워크샵을 통해<sup>[21]</sup> 글로벌 사업자와 제조사의 많은 관심을 확인한 바 있다. 이는 향후 폭발적으로 증가할 것으로 예상되는 사용자 트래픽을 면허 대역(Licensed Spectrum)만으로 수용하기 어렵다는 판단 하에, WiFi나 블루투스(Bluetooth) 등이 주로 사용되는 비 면허 대역(Unlicensed Spectrum)으로의 부하 분산 및 상.하향 전송률 향상을 도모하려는 접근이다.

그림 6에서 도시된 바와 같이 비면허 대역의 반송파를 단독으로 쓰기 보다는 면허 대역 반송파를 주 반송파로 하고 비면허 대역을 부 반송파로 설정하는 면허 대역 보조 방식(License Assisted Manner)으로 사용하는 것이 한 예가 될 수 있다<sup>[21]</sup>. 또한 비면허 대역 단독으로 상.하향 통신을 하는 방식도 생각해 볼 수 있다.

하지만 면허 대역에서만 사용되던 LTE 단말이 비면허 대역을 효율적으로 사용하기 위해서는 각국의 전파 규제(Regulation)에 대한 현황을 파악하고, 이에 대한 기술적 구현 가능성이 충분히 분석되어야 한다. 또한 기존의 WiFi 및 legacy system을 보호할 수 있는 LBT(Listen-Before-Talk)과 같은 프로토콜을 적용하기 위한 센싱 방식에 대한 연구를 포함하는 공존 방식에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이를 위해 RAN WG1에서는 비면허 대역 특화 단말(예를 들면 5.8GHz WiFi 단말)을 보호하기 위하여 물리 계층에서 어떤 진화가 필요한 지에 대한 연구가 필요하다. RAN WG4 관점의 주요 기술적 이슈는 비면허 대역 시스템(예를 들어 IEEE 802.11ac)과 효율적으로 공존 하면서 부반송파로 사용할 수 있도록 기지국 및 단말의 구현 가능성(feasibility) 연구, 면허 대역과 비면허

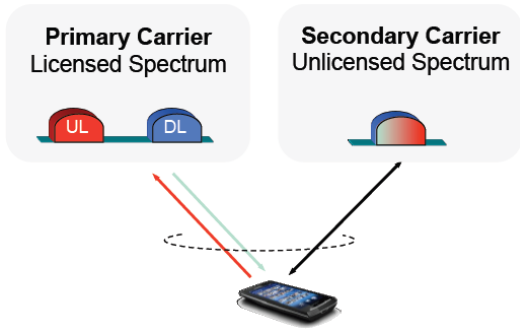


그림 6. LTE-U 의 CA 사용 예<sup>[22]</sup>.  
Fig. 6. Example of LTE-U as License Assisted CA

대역과의 RF 간섭 최소화 및 관련된 사업자간 주파수 운용 방식에 대한 논의 등이 있을 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP WG4 관점에서 REL-12 CA 표준까지 논의된 표준 이슈, 단말 RF 구조, 공존 이슈, RF 요구 사항 분석 및 표준에서의 해결책을 살펴보았다. 또한 CA 표준 진화에 대한 예측으로서 하향링크의 트래픽 증대를 위한 1UL/4DLs CA, 1UL/3DLs TDD-FDD CA, 상향 링크의 트래픽 증대를 위한 2ULs/3DLs CA, 2ULs/2DLs TDD-FDD CA 등을 고찰하였다. 마지막으로 많은 사업자와 제조사들의 관심을 받고 있는 면허 대역과 비면허 대역과의 CA인 LTE-U를 살펴 보았다. 이를 포함하여 CA 진화는 사용이 많지 않은 FDD 상향 주파수 대역의 효율적 사용을 위하여 상향 링크 주파수의 하향 링크화, TDD 주파수의 FDD 하향 링크 사용과 같은 다양한 형태로 진화할 것으로 예상된다.

#### References

[1] 3GPP Technical Specification, 36.211, *E-UTRA physical channels and modulation*, v10.7.0, 2013.  
 [2] 3GPP Technical Specification, 36.212, *E-UTRA multiplexing and channel coding*, v10.8.0, 2013.  
 [3] 3GPP Technical Specification, 36.213, *E-UTRA physical layer procedure*, v10.12.0, 2013.  
 [4] 3GPP Technical Specification, 36.214, *E-UTRA physical layer measurement*, v10.1.0, 2013.

[5] 3GPP Technical Specification, 36.101, *User Equipment (UE) radio transmission and reception*, v10.15.0, 2014.  
 [6] S. Bassam, W. Chen, M. Helaloui, and F. Ghannouchi, "Transmitter architecture for CA: Carrier aggregation in LTE-advanced systems," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 14, no. 5, pp. 78-86, Jul.-Aug. 2013.  
 [7] C. S. Park and L. Sundstrom, "Carrier aggregation for LTE-advanced: Design challenges of terminals," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 12, pp. 76-84, Dec. 2013.  
 [8] 3GPP Technical Report, 36.850, *Inter-band carrier aggregation*, v11.1.0, 2013.  
 [9] 3GPP Technical Report, 36.860, *LTE-A dual uplink inter-band Carrier aggregation*, v0.9.0, 2014.  
 [10] 3GPP R4-143227, *TP for self-desense analysis for CA\_5A-7A UE*, 3GPP RAN WG4 #71, May 2014.  
 [11] 3GPP R4-144031, *WF on 2UL inter-band CA MSD test configurations*, 3GPP RAN WG4 #71, May 2014.  
 [12] 3GPP Technical Report, 36.853, *LTE-A 3 band carrier aggregation with single uplink*, v1.0.0, 2014.  
 [13] 3GPP R4-144067, *Way forward on 3DL CA finalization*, 3GPP RAN WG4 #71, May 2014.  
 [14] 3GPP RP-130888, *New WI: LTE TDD - FDD joint operation*, 3GPP RAN Plenary #60, Jun. 2013.  
 [15] 3GPP R4-142023, *TDD-FDD WI applicability to 2 UL and 3 DL features in REL-12 time frame*, 3GPP RAN WG4 #70BIS, March, 2014.  
 [16] 3GPP R4-141243, *Work plan for LTE TDD-FDD joint operation including Carrier Aggregation*, 3GPP RAN WG4 #70, Feb. 2014.  
 [17] 3GPP Technical Report, 36.851, *E-UTRA Inter-band carrier aggregation*, v0.12.0, 2014.  
 [18] 3GPP R4-144051, *Introduction of CA Band 8 and Band 40 to TS 36.101*, 3GPP RAN WG4 #71, May 2014.  
 [19] 3GPP R4-144163, *LTE Advanced 4 Band Carrier Aggregation (4DL/1UL) of Band 5, Band*

- 30, Band 2, Band 2, 3GPP RAN WG4 #72, Aug. 2014.
- [20] 3GPP R4-145497, *Introduction of CA B1\_B42\_B42 into TS 36.101*, 3GPP RAN WG4 #72, Aug. 2014.
- [21] 3GPP RWS-140029, *LTE-U workshop chairman summary*, 3GPP workshop on LTE-Unlicensed spectrum, Jun. 2014.
- [22] 3GPP RWS-140008, *Extending the benefits of LTE to unlicensed spectrum*, 3GPP workshop on LTE-Unlicensed spectrum, Jun. 2014
- [23] 3GPP Technical Specification, 36.211, *E-UTRA physical channels and modulation*, v12.2.0, 2014.
- [24] 3GPP Technical Specification, 36.212, *E-UTRA multiplexing and channel coding*, v12.1.0, 2014
- [25] 3GPP Technical Specification, 36.213, *E-UTRA physical layer procedure*, v12.2.0, 2014.
- [26] 3GPP Technical Specification, 36.214, *E-UTRA physical layer measurement*, v11.1.0, 2012.
- [27] 3GPP Technical Specification, 36.101, *User equipment (UE) radio transmission and reception*, v12.4.0, 2014.
- [28] 3GPP Technical Specification, 36.306, *User equipment (UE) radio access capabilities*, v12.1.0, 2014.

임 수 환 (Su Hwan Lim)



2001년 2월 : 아주대학교 전자공학과 학사  
 2003년 2월 : 아주대학원 전자공학과 석사  
 2004년 6월 : 네오텔레콤 주임연구원  
 2004년 7월~현재 : LG 전자 책임연구원

<관심분야> 3GPP LTE/LTE-A 이동통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템

이 상 욱 (Sang-Wook Lee)



1994년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
 1996년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사  
 2001년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사  
 2001년 3월~현재 : LG 전자 수석연구원

<관심분야> 3GPP UMTS/LTE/LTE-A 이동통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템