

5G, 상상을 넘어 현실로

방송이 HD에서 UHD로 진화하고 있듯 통신도 4G를 넘어 5G를 준비 중이다. 지상파도 모바일의 경우 HD에서 추후 UHD를 구상 중인데 원활한 서비스는 5G 환경에서만 가능할 것 같다. 보통 UHD급 영화 한 편의 용량이 수십 GB 정도 되는데 최소 기가급 다운로드 속도가 보장돼야 진정한 상용화라 할 수 있기 때문이다. 이렇듯 통신에서 기가의 의미는 크다. 5G의 G가 ‘세대’이 기보다 ‘기가’를 뜻한다 해도 무방할 정도이다. 기억날지 모르겠지만 ‘기가코리아’ 사업도 있다. 2013년부터 2020년까지 8년간 추진되며, 국고 4,125억 원과 민자 1,376억 원 모두 5,501억 원의 재원이 투입되는 범부처 정보통신기술(ICT) 발전 국책 사업으로 현재 진행 중이다. 핵심은 2020년까지 초광대역 5G 무선 Gbps의 통신 속도를 구현하여 사람과 사물을 하나의 통신망으로 묶어 모든 콘텐츠(교육, 의료, 스마트 시리즈, 홀로그램, UHD 등)를 초지연으로 서비스할 수 있는 ‘초 연결시대(Hyper-Connectivity)’, ‘만물인터넷(IoE)’ 세상을 여는 것이다. 지식경제부·교육과학기술부·방송통신위원회·문화체육관광부·국방부·행정안전부가 참여하고 한국전자통신연구원(ETRI)이 기술 개발을 이끈다. 그 일환으로 KT는 다가오는 평창 동계올림픽 주관 통신사로서 5G 기술을 전 세계에 알리는 첨병이 될 것이다. 입체 영상인 홀로그램, 어느 각도에서도 영상을 볼 수 있는 초다시점 기술 등 몰입감과 현장감을 극대화할 수 있는 서비스가 제공될 것으로 기대하고 있다.

따라서 이 글에서는 유무선 네트워크의 진화과정을 간략히 소개하고 속도경쟁과 주파수 경매를 통해 현재 상용화 중인 서비스와 꿈의 기가속도를 위한 5G 요건 및 전망에 대해 기술하고자 한다.

유무선 네트워크의 진화 및 주파수 경매

무선 1G는 아날로그 시대로 9.6kbps~14.4kbps의 전송이 가능하였기에 음성만 가능했었다. 잡음과 혼선이 심해 1988년 국내 처음 도입된 이래 6년 만에 막을 내렸다. 표준은 AMPS(Advanced Mobile Phone System)이다. 유선은 공중교환 전화망(PSTN)을 이용하여 전화기의 다이얼을 돌리는 로타리식에서 누르는 버튼식으로 1G의 속도는 무선과 별 차이가 없었다. 2G에 들어서자 비로소 디지털 통신시대가 열렸다. 64kbps로 1G 대비 약 4~6배 성능이 향상되어 음성은 물론 간단한 문자 서비스가 가능했다. 필자도 이 시대 첫 휴대폰을 접했으며 표준은 그 유명한 CDMA(Code Division Multiple Access)이다. 유선은 종합정보통신망(ISDN) 시대로 단일통신망에서 음성, 문자, 영상 등의 서비스가 128kbps정도로 제공되었다.

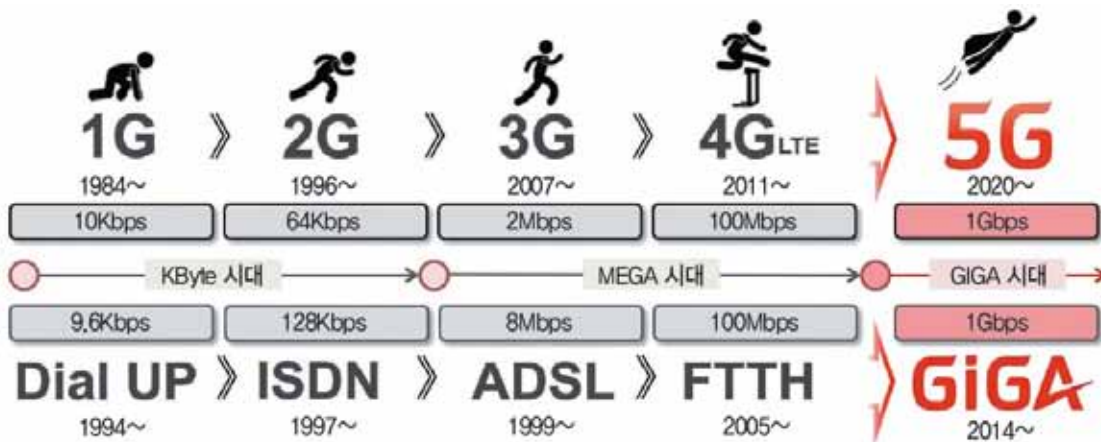


그림 1. 유무선 네트워크 진화과정 / 참조: KT경제경영연구소

이렇게 KByte 시대가 끝나고 3G 때부터 MEGA 시대가 태동하였다. 유선은 불과 2년 만에 ADSL로 넘어가게 되었는데 당시 PC 방이 전국으로 퍼져나갔고 인터넷 보급률도 가파르게 올랐던 시기다. 아직도 스티븐 유(?)의 “나는 ADSL이다”란 카피가 선명하다. 그 후 약 2년이 흘러 상·하향 속도가 더 증가한 VDSL이 나왔고 이윽고 100Mbps의 광랜 FTTH(택내 광 가입자망) 시대로 넘어가게 된다. 무선 또한 격동의 3G 때 스마트폰이란 작품을 내놓았다. 2009년 국내 최초로 KT가 애플의 아이폰 3GS를 도입하면서 본격적인 스마트 시대를 열게 되었다. 표준 또한 유럽의 비동기식 WCDMA와 미국의 동기식 CDMA로 나뉘어 국내 통신사도 두 부류로 나뉘게 된다. KT와 SK는 WCDMA 표준을 따랐고 이후 고속하향패킷접속(HSDPA)→고속상향패킷접속(HSUPA)→진화형 HSPA(HSPA+ or Evolved HSPA)로 진화되면서 2M에서 21M까지 전송속도가 획기적으로 향상되었다. LG는 홀로 CDMA를 선택하였고 CDMA2000은 EV-DO Rev.A와 B로 업그레이드되면서 154kbps의 전송속도가 9.3Mbps까지 늘게 된다.

이통사	통신규격	전송속도	
		하향 최대	상향 최대
KT/SKT	WCDMA	2Mbps	2Mbps
	HSDPA	14.4Mbps	2Mbps
	HSUPA	14.4Mbps	5.8Mbps
	HSPA+	21Mbps	11.5Mbps
LG	CDMA2000	154Kbps	154Kbps
	EV-DO Rev.A	3.1Mbps	1.8Mbps
	EV-DO Rev.B	9.3Mbps	5.4Mbps

표 1. 이동통신 3사 3G 통신 규격

무선은 유선보다 한 참 늦게 4G 시대에 접어들면서 100Mbps의 전송속도가 가능하였으나 이론상 최대치가 그러했고 체감은 수~수십 메가에 불과했다. 이때부터 이통 3사 모두 LTE란 공통 규격으로 통일되었고 ALL-IP라 외치며 단일망으로 음성과 영상 서비스가 가능하다는 본격적인 스마트폰 경쟁에 돌입하였다. 흔히 주파수를 차선에 비유하곤 한다. 다시 말해 주파수 대역폭을 넓혀 차선폭이 넓어져야 한 번에 많은 차(데이터)들이 이동할 수 있기 때문이다. 그래서 LTE 속도 경쟁우위를 위해 주파수 경매 때마다 치열한 눈치 싸움을 벌이고 있으며 (올해는 시시했지만) 할당받은 대역폭을 효율적으로 이용하기 위해 멀티캐리어(MC), 주파수집성(CA) 등의 기술이 이용되고 있다. 다음은 최근에 있었던 주파수 경매 결과와 바로 직전의 결과표이다.

이통사	대역	폭	낙찰금액	사용기간	최저경쟁가격
KT	800MHz	10MHz	2610억	10년	2610억
SK	1.8GHz	20MHz	9550억	10년	4455억
LG	2.1GHz	20MHz	4455억	10년	4455억

표 2. 2011년 주파수 경매 결과

주파수 경매제도가 처음 도입된 2011년 당시 1.8GHz의 광대역 20MHz를 차지하기 위해 KT와 SK는 최종 낙찰자가 나올 때까지 진행하는 옴 입찰방식으로 83라운드까지 진행되었다. 중간에 KT가 포기하면서 SK 몫으로 할당받았으나 최저가격의 2배가 넘는 금액이 들어 승자의 저주란 말까지 나왔다. 뒤에 설명하겠지만 LTE는 10MHz를 기준으로 75Mbps의 전송속도가 이론상 가능하다. 20MHz는 광대역이며 연속되어 있으므로 주파수 집성(CA)이 불필요해 기존 단말로 바로 이용이 가능하며 해당 1.8GHz 대역은 전국망 커버리지가 이미 완료된 상황이라 황금 주파수라 불렸다.

이통사	대역	폭	낙찰금액	사용기간	최저경쟁가격
KT	1.8GHz	15MHz	9001억	8년	2888억
SK	1.8GHz	35MHz	1조 500억	8년	6738억
LG	2.6GHz	40MHz	4788억	8년	4788억

표 3. 2013년 주파수 경매 결과

두 번째 주파수 경매에서는 첫 번째의 과도한 입찰 경쟁을 피하기 위해 오름입찰과 밀봉입찰이라는 혼합방식으로 진행되었다. 관련 포인트는 타사가 기 보유 중인 대역에 인접한 광대역을 차지하지 못하게 하는 것이었으나 KT는 기존 전국망에 인접한 1.8GHz 대역 15MHz 폭을 포기할 수 없어 9,001억이라는 거금을 주고 할당받았다. SK(800MHz의 전국망 보유)로서는 1.8GHz 대역을 보조망으로 사용하고 있었기에 KT보다 저렴하게 C2 블록 35MHz 대역을 할당받았고, LG는 전국망은 800MHz, 보조망은 2.1GHz를 사용하고 있어 새로운 2.6GHz 대역의 B2 블록 40MHz를 가장 저렴하게 구입하였다.

이통사	대역	폭	낙찰금액	사용기간	최저경쟁가격
KT	1.8GHz	20MHz	4513억	10년	4513억
LG	2.1GHz	20MHz	3816억	5년	3816억
SK	2.6GHz	40MHz	9500억	10년	6553억
SK	2.6GHz	20MHz	3277억	10년	3277억

표 4. 2016년 주파수 경매 결과

2016년 경매는 2조5천779억 원이라는 역대 최대금액이 걸려있어 관심이 쏠렸지만 지난 두 번의 학습효과가 있었는지 이를 만에 상급게 끝났다. KT는 1.8GHz 대역 20MHz 폭을 4,513억에 할당받았고 SK텔레콤은 2.6GHz 대역 40MHz 폭, 20MHz 폭을 각각 9,500억, 3,277억에 얻었으며, LG유플러스는 2.1GHz 대역 20MHz 폭을 3,816억 원에 차지하였다. 기대가 컸던 700MHz 40MHz 폭은 간섭 등의 이유로 유찰됐다. 이번 경매의 관련 포인트이자 가장 대역폭이 넓은 SK의 2.6GHz 대역 40MHz를 저지하기 위해 가격이 조금 올랐을 뿐 나머지는 최저경쟁가격으로 할당받아 3사 모두 견제보다 실리를 택했다는 평이다.

현재 상용화 중인 서비스

다음 표에서 알 수 있듯 속도가 네 배(75→300)가 되기 위해선 대역폭이 네 배(10→40) 넓어져야 한다는 것을 의미한다. LTE의 경우 이론적으로 10MHz의 대역폭으로 최대 75Mbps의 전송속도가 가능한데 네 배인 300Mbps가 나오려면 대역폭이 40MHz가 확보되어야 한다. 하지만 위 주파수 경매 결과에서 보듯 연속된 광대역을 확보하기란 쉽지 않다. 이미 대부분 할당이 끝난 1.8GHz와 2.1GHz 대역에서는 더욱더 어렵다. 그나마 아직 전국망 확보가 끝나지 않은 2.6GHz 대역에서만 40MHz가 가능한 정도이다.

					
	LTE초기	광대역LTE	광대역 2-Band	광대역 3-Band	광대역 3-Band
속도(Mbps)	75	150	225	300	500
대역폭 구성	10MHz	20MHz	20+10MHz	20+10+10MHz	20+20+10MHz
1GB 다운(초)	110	55	37	28	20
상용화 시기	2011.7	2013.9	2014.6	2015.1	2016.6
커버리지	단일		Main+Sub		
단말	기존 단말 사용		별도 단말 필요(pro는 일부단말)		

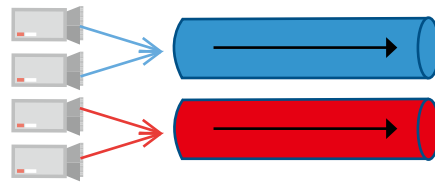
표 5. LTE와 CA가 사용된 LTE-Advanced & LTE-Advanced pro 비교

올해 새롭게 추가로 배정받은 주파수 대역으로 이통3사는 기존 광대역 3-Band CA에서 광대역 하나를 더 추가한 LTE-Advanced pro를 상용화했거나 준비 중에 있다. 앞서 설명했듯 연속된 광대역을 확보할 수 없어 떨어져 있는 대역을 가상적으로 인접한 채널로 인식하게 해주는 기술이 바로 주파수 집성 CA(Carrier Aggregation)다.

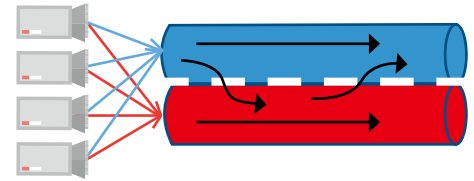
이동통신사	전국망	보조망	2013년 할당	비고
KT	1.8GHz	900MHz	1.8GHz	인접대역으로 바로 광대역 서비스 가능
SK	800MHz	1.8GHz	1.8GHz	1.8GHz 대역에서 광대역 서비스 가능
LG	800MHz	2.1GHz	2.6GHz	2.6GHz 대역에서 광대역 서비스 가능

표 6. 이동통신 3사 2013년 LTE 주파수 보유 현황

위 표를 보면 LTE 초기 이동3사들은 새로운 주파수 대역을 할당받기 전 데이터 트래픽을 효율적으로 관리하기 위해 멀티캐리어(MC) 방식을 사용하였다. 기존 전국망에 보조망을 사용하여 특정 주파수 대역의 부하를 조절하여 데이터를 분산시키는 로드 밸런싱(Load Balancing)과 단말의 이동에 따라 최적의 주파수 대역으로 변경 시 끊임없이(Seamless) 원활하게 이어주는 주파수 간 핸드오버(Inter-frequency Handover)가 핵심 기술이다. 하지만 이 역시 대역폭 자체가 늘어나는 것이 아니라 똑같은 다른 대역을 사용하는 방식이라 체감속도가 줄어드는 것을 막아 줄뿐 늘어나는 트래픽에 근본적인 해법이 되지 못했다.



MC (Multi Carrier)



CA (Carrier Aggregation)

그림 2. 멀티 캐리어와 캐리어 어그리게이션 비교

그래서 등장한 기술이 바로 CA다. 위 그림은 추가 설명이 필요 없을 정도로 MC와 CA를 쉽게 비교하고 있다. LTE-A pro는 광대역 2개와 일반 1개를 묶어 총 50MHz를 확보하였기에 375Mbps(75×5)의 전송속도가 나와야 하나 그보다 높은 500Mbps다. 이유는 256QAM 적용되었기 때문이다. 기존 64QAM은 한 번에 6비트씩 보냈으나 256QAM은 8비트씩 전송이 가능하기에 33% 가량 데이터 전송량이 늘어난 만큼 속도가 개선되었기 때문이다. 여기서 만족하지 않고 2018년쯤에는 5밴드 CA와 4×4 MIMO를 이용하여 최대 1Gbps까지 끌어 올린다는 계획이다. 2011년 LTE 초기 75Mbps에서 1Gbps까지 무려 7년에 걸쳐 진화에 진화를 거듭해야 가능한 '오랜 기간 진화(Long Term Evolution)' 이름 한번 잘 지은 듯하다. 그럼 최종적으로 기본 1Gbps가 가능한 5G에 대해 기술하고자 한다.

5G 요구사항

5세대 이동통신 환경은 상상하던 모든 그것(IT)이 현실이 되어가는 가능성을 열어줄 수 있어야 하기에 요구사항 또한 까다롭다. 한국전자통신연구원 산업전략연구부에 따르면 세계 이동통신 시장은 2013년 약 1조 4,000억 달러에서 연평균 3.2%의 성장률을 기록하여 2018년에는 1조 7,000억 달러 수준에 이를 전망이다. 국내의 경우 같은 기간 37~52조원의 시장규모가 형성될 전망이다. 또한 2014년 5,600만 명인 이동통신 가입자 수는 2018년 6,830만 명으로 증가하여 2014년 기준 월 3.3GB 트래픽을 사용할 경우 5G 상용화가 예상되는 2020년경에는 기하급수적으로 증가가 예상돼 5G 요구사항에도 이를 대비하고 있다. 시스코의 전망치에 따르면 전 세계 모바일 데이터 트래픽이 2013년 월 1.5EB에서 2018년 15.9EB로 연평균증가율(CAGR) 61%, 약 11배 증가할 것이라고 하니 엄격한 요구사항은 당연한 듯하다. 이동통신기술 표준의 요구사항 및 승인 등을 담당하고 있는 ITU-R은 5G 이동통신을 무제한의 멀티미디어 서비스를 위한 모바일 광대역 서비스, 신뢰성 높고 저지연 통신 및 대규모 기계 형태의 통신 총 3가지로 정의하고 있다. 이를 위한 5G 요구사항을 다음 표의 8가지 파라미터로 제시하고 있다.

	ITU-R	5G 포럼	ETRI
최대전송속도(단위 Gbps)	0.1~1	50 이상	100
이동속도(단위 km/h)	500	350 이상	500
사용자 체감속도(단위 Gbps)	10~50	상향 1, 하향 0.5	1
주파수 효율(IMT A.대비)	5배	상,하향 10, 5bps/Hz	15배
에너지 효율(IMT A.대비)	50~100배	추후결정	100배
전송용량(IMT A.대비)	1~10Tbps	추후결정	1000배
전송지연(단위ms)	1(무선구간)	무선 1, 코어 50	무선 1, 코어 5
연결밀도(UE/km ²)	백만~천만	추후 결정	백만

표 7. 각 단체가 요구하는 5G 파라미터 / 참조 : 한국전자통신연구원

차세대 통신기술 선도와 ICT 산업 발전을 위해 산·학·연 등 다양한 주체가 참여하고 있는 5G 포럼은 '5G를 통한 창조지식사회 실현'이라는 비전 아래, 지식창출 서비스 고도화와 개인 모바일 편의성 극대화, 5G 네트워크 인프라 구축을 목표로 요구사항을 제시하고 있다. ETRI는 5G 통신을 '언제 어디서나 환경의 제약 없이 사람과 사물을 포함한 모든 사용자에게 지연 없이 Gbps급 서비스를 비용, 에너지 효율적으로 제공하는 통신'으로 정의하였다. 삼성은 5G 비전으로 다음 4가지를 제시하고 있는데 첫째 'Everything on Cloud'이다. 클라우드 전송지연은 50ms 이하로 이동 중에도 데스크톱과 같은 경험이 가능하며 네트워크 전송 지연은 5ms, 전송률은 1Gbps 이상이다. 둘째 'Immersive Experience' 몰입형 경험 즉 'Lifelike media everywhere' 어딜 가도 실감형 미디어 체험이 가능해야 한다. HD는 최소 5Mbps, 8K UHD는 최소 85Mbps의 전송률이 필요하며 셀은 10Gbps를 지원해야 한다. 셋째 'Ubiquitous Connectivity' 사람 중심의 초연결성이다. 모든 사물이 지능형 웹 안에서 언제 어디서든 자유로이 연결이 가능해야 한다. 끝으로 넷째 'Intuitive Remote Access'로 기존 단거리 제한적 제어에서 직관적으로 실시간 원격 제어가 가능해야 한다.

	한국(삼성)	일본(ARIB2020)	중국(IMT2020)
최대전송속도(단위 Gbps)	초기 6, 후기 50	10 이상	수십
이동속도(단위 km/h)	500	500 이상	500 이상
사용자 체감속도(단위 Gbps)	1(셀 경계)	1	0.1~1
주파수 효율(IMT A.대비)	10bps/Hz	-	-
에너지 효율(IMT A.대비)	50~100배	-	-
전송용량(IMT A.대비)	50배(비용효율)	1000배 이상	수십 Tbps/km ²
전송지연(단위ms)	1(무선구간)	1	수ms정도
연결밀도(UE/km ²)	10배(동시연결)	만/셀	백만

표 8. 각 국이 요구하는 5G 파라미터 / 참조 : 한국전자통신연구원

일본은 'ARIB2020 and Beyond Ad Hoc group'을 구성하여 5G 백서를 작성하였다. 5G의 프레임워크로 일반 사용자 수율(Typical User Throughput)이라는 다양한 사용자 밀도에 따른 사용자 경험을 표현하는 단위를 사용하였다. 사용자 밀도가 낮은 지역에서는 커버리지를 확장하고, 일반적으로는 4G 대비 100배의 전송속도를 보장해야 하며, 고밀도 지역에서는 간섭제어를 통한 용량 증가로 대응이 가능해야 한다는 요구사항을 제시하고 있다. 중국은 5G 기술 개발과 공조를 위해 2013년부터 정부의 3개 부처가 설립한 IMT-2020 Promotion group을 중심으로 5G 요구사항과 기술을 개발하고 있다. 요구사항은 위의 표와 같으며 장기적 관점에서 6GHz 이상 대역을 활용할 것을 제시하고 있다. 각 단체나 국가가 요구하는 파라미터는 대동소이하며 다음 그림에서 4G와 5G의 차이를 확연하게 확인할 수 있다.

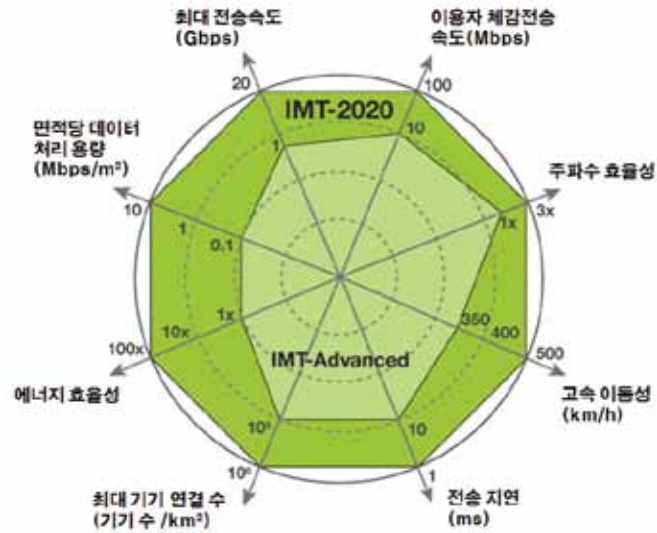


그림 3. IMT-Advanced(4G)와 IMT-2020(5G) 비교 1



그림 4. IMT-Advanced(4G)와 IMT-2020(5G) 비교 2 / 출처 : 한국전자통신연구원

5G 전망 및 과제

북한이 올해 벌써 14번이나 미사일을 쏘았다고 한다. 물론 단거리 미사일도 있으나 대륙 간 탄도 미사일(ICBM) 실험도 있었다. 갑자기 5G 얘기를 하다 ICBM이 생뚱맞을 수 있지만 우리도 추진하고 있다. 물론 국방부가 아니라 미래창조과학부 얘기다. ICBM(IoT, Cloud, Bigdata, Mobile)은 미래부가 밝힌 사업으로 사물인터넷 센서가 정보를 수집하여 클라우드에 저장하면 빅데이터 분석으로 가치를 추출하여 특정 서비스를 모바일로 소비가 가능한 환경을 조성하는 것이 핵심이다. 다음 그림은 ICBM 데이터 흐름과 서비스 측면에서의 기본적 개념도이다.

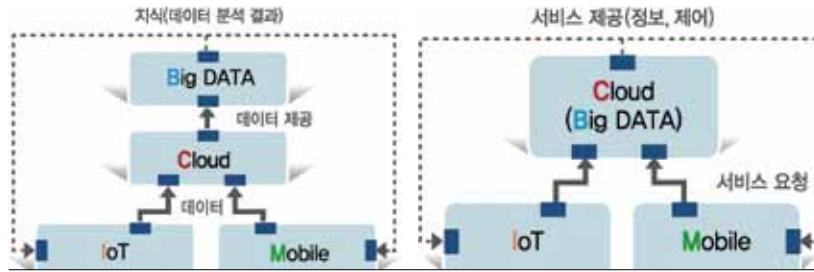


그림 5. 데이터 흐름과 서비스 측면에서의 ICBM 기술관계도 / 출처: 사물인터넷의 미래

5G는 ICBM의 핵심축으로 자리 잡을 것이며 ICBM은 5G의 무수히 많은 ICT 융복합 서비스 중 하나가 될 것이다.



그림 6. 5G 서비스를 통한 산업발전 효과와 경제적 가치 / 참조: KT경제경영연구소

지금까지 사용자가 네트워크를 따라 다녔다면 5G에서는 네트워크가 사용자를 따라 다니며, 사용자가 이해하는 서비스만 사용한다면 사용자를 이해하는 서비스가 찾아오는, 사용자 중심의 개방형 생태계가 열리는 새로운 패러다임을 5G가 제공할 것으로 기대된다. 미래부는 2020년 5G 통신이 상용화되면 향후 7년 동안 스마트 카, 스마트 에너지, 지능형 교통관제, 헬스케어, 바이오 신산업 장비와 홀로그램, 초고화질 콘텐츠, 실감형 교육 등 서비스 분야에서 552조 원의 생산 유발효과와 144조 원의 부가가치 유발효과를 전망했다. 또한 청년 고용 절벽이라는 사회적 문제도 58만 명의 고용 창출로 어느 정도 해결될 것으로 보인다. 이렇듯 세계 경제위기가 날로 심화될수록 5G와 같은 고부가가치 산업은 그 활로로써 각국의 경쟁 또한 치열해 질 것으로 예상된다. 한국(삼성, LG), 미국(인텔, 퀄컴), 일본(NEC, 파나소닉), 유럽(노키아, 에릭슨), 중국(화웨이, ZTE) 등 단말업체부터 한국(KT), 미국(버라이즌), 중국(차이나모바일), 일본(NTT도코모) 등 통신사까지 합종연횡으로 협력하면서 독자적인 기술표준 획득을 위해 노력하고 있다. 다행히 우리나라는 정부 부 시절부터 ICT 강국이라는 인프라와 기술력을 인정받아왔다. MWC(세계이동통신대회)만 보더라도 매해 혁신기술을 선보이는 등 이미 단말제조와 통신서비스는 세계 최고 수준이다.

얼마 전 국내 통신 전문가가 5G 표준을 만드는 아태지역 준비회의(APG-19) 총회 의장과 이동통신작업반 의장으로 선출되었다고 한다. 따라서 5G 국제표준대역 선정에 있어 대한민국의 입김이 일정부분 작용할 것으로 보인다. 분명 기회는 맞지만 위기가 될 요인도 많다. 과거 일본이 그랬듯 독자적인 표준만 고집했다가 고립되었던 갈라파고스를 겪지 않게 협력을 강화해 나가야 한다. 또한 5G의 핵심기술 특허출원을 늘려야 한다. 하지만 무엇보다도 삼성과 LG 위주의 대기업 중심의 성장은 언제나 불안한 요소 중 하나이다. 정부도 표준 특허를 확보하고, 강소기업을 육성하는 '미래성장동력 표준화 추진 전략'과 '미래성장동력 종합실천계획'을 세우며 이를 대비하고 있다. 5G 주도권 전쟁은 시작되었다. 산학연관의 시너지를 내는 나라가 승자가 될 것이다. 그게 한국이었으면 한다. 