

정책포럼 요약 자료

4차 산업혁명과 미래도시¹⁾

정창무(서울대학교 건설환경공학부 교수)²⁾

요약

- 일론 머스크의 미래도시는 **미래형 교통수단**인 초고속 진공튜브 캡슐열차인 **하이퍼루프(Hyper Loop)**와 **지하고속터널(loop)**, 도심형 농장인 **스퀘어루츠(Square Roots)**이 구축
- 제4차 산업혁명으로 CPS, 최적화, 자원낭비최소화, 수요대응적 생산, 다품종 소량생산, 공유경제, 제조업의 무인공장화 등 **사회 변혁**
- 미국의 SmartAmerica Challenge, 독일의 인더스트리 4.0, 일본의 Society 5.0, 중국의 중국제조 2025 등 제4차 산업혁명에 대해 준비
- 자율주행차량(AVs) 시대로 가는 4단계는 기술개발단계(1단계), 부분적으로 운전자 대체(2단계), 자율주행의 완성(3단계), 광범위한 채택(4단계)이며, **도시가 완전하게 재디자인**
- **모빌리티 서비스**를 제공하기 위해 도요타와 소프트뱅크는 모네 테크놀로지(MONET technologies)를 설립하고, 도요타와 NTT는 사람-건물-자동차-물건과 서비스의 정보가 모두 연결된 **우벤시티(Woven City)** 구축예정
- 미래 교통수단으로 독일의 볼로콥터(Volocopter), 중국의 이항184, 미국의 시티에어버스 등 **항공 교통수단 드론**이 개발 상용화 예정

1) 본 브리프는 제14회 국가정책대학원 정책포럼 '4차 산업혁명과 미래도시'의 발표 내용 중 일부 내용을 발췌하여 정리하였음.

2) 정창무 : 서울대학교 건설환경공학부 교수.

I . 과거, 현재, 미래 도시

1. 과거의 도시, 현재의 도시

- 고대 도시 우르(Ur)의 상상도(BC 4000년~2000)
 - 수메르의 12도시국가, 지그라트 유적



- 이탈리아 팔마노바(Palmanova)
 - 터키침공을 막기 위해 건설된 이태리 군사도시



- 18세기 영국 맨체스터(1760-1825)
 - 제1차 산업혁명 중심지



- 뉴욕 하워드백화점(1857년)
 - 세계 최초의 승객용 엘리베이터가 설치



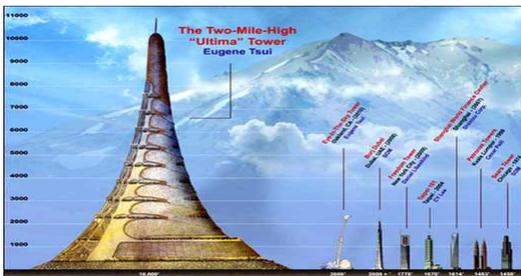
- 중국 교통정체(2010년)
 - 역사상 가장 긴 교통 체증으로 보도(The Daily Telegraph, The Guardian)
 - 2010년 8월13일 중국 110번 국도와 징짱 고속공로(베이징-라싸 고속도로)에서 차량 수천대가 100km(62mile) 선 채로 12일동안 정체



자료 : http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2014/03/18/2014031804848.html?Dep0=twitter

2. 미래도시에 대한 고민

- 파올로 솔레리(이탈리아 건축가)의 초고층빌딩



- 중국의 세계 첫 수직숲도시 건설
 - 류저우시에 3만명 수용, 100만개 식물 4만 그루로 건물 치장

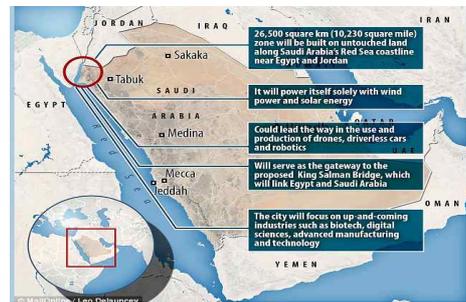


- Gilles Gauthier의 Linear City(선형도시)
 - Environmental & Social Solution
 - 도시의 편리함과 교외의 자연 친화공간을 합쳐 원하는 라이프스타일의 주거 창출
 - 각각의 층이 모듈화되어 작동(소방시설, 방송국, 워크샵, 보관 장소, 자동 판매기, 별도의 재활용처리 시설)



자료: <http://www.linearcity.ca/>

- 사우디아라비아의 미래 선형도시 '네옴(Neom)'
 - The Line 2021년 1월 사우디 왕세자 모하메드 빈 살만의 '비전 2030' 계획
 - 조화와 지속가능성, 건강, 혁신을 표상 '자동차 제로, 거리 제로, 탄소 배출 제로'
 - 사우디아라비아 북서쪽으로 요르단과 접경, 홍해를 접하며, 15km의 다리를 건설해 이집트와 연결 계획
 - 사업비 5,000억달러(약 564조원), 2만6,500km²(서울면적의 44배)



자료: <https://blog.naver.com/faas7777/221125440938>

3. 일론 머스크의 미래도시(Elon Musk's Future City)

- 테슬라와 스페이스X, 보링컴퍼니의 최고경영자(CEO)겸 창업자
 - Forbes(포브스)선정 2019년, 2020년 가장 혁신적인 인물로 선정

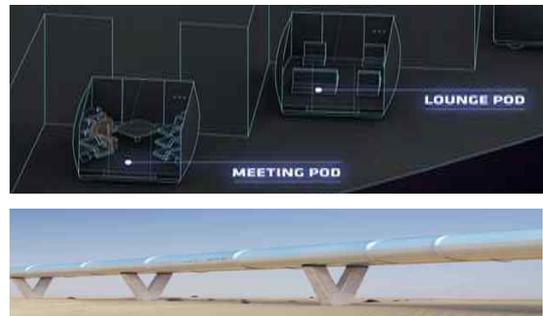
○ 미래의 교통수단: 하이퍼루프(Hyper Loop)

- 2013년 일론 머스크가 제안한 초고속 진공튜브 캡슐열차로 공기 마찰이 없는 진공튜브와 시속 1,300km 캡슐형 열차로 구분
- 2017년 5월 '하이퍼루프원'이 미국 네바다주 사막에서 96m구간 최고속도 111km 첫 시험 주행 성공

- <사례-인도의 Hyperloop 프로젝트>
 - Mumbai-Pune Hyperloop(뭄바이와 푸네) 200km
 - 이동시간 25분(기차 3.5시간)
 - 시스템 주파수: POD 자율소프트웨어 시스템
 - 트랙: Maglev(자기부상)트랙



자료: <https://www.youtube.com/watch?v=Q1mZ4ADUEZs>



자료: <https://www.youtube.com/watch?v=CUS2w4y2Qj4&t=5s>

Hyperloop vs 고속철도		
LA와 샌프란시스코 거리	600km	
추정건설비	8.6조원(115조 추정도 있음)	89조원
km당 건설비	144억원	1,476억원
운행소요시간	35분	2.5시간
편도요금	20달러	85달러
시간당 편도운송 승객수 (PPHPD: Passengers per hour per direction)	3,360명	12,000명
배차간격	30초(28인승 튜브)	10분

자료: Nath, Trevir, 20201203, "Hyperloop vs. High-Speed Rail Travel: What's the Difference?"
<https://www.investopedia.com/articles/investing/050815/elon-musk-hyperloop-economically-feasible.asp>

○ 지하고속터널: 보링컴퍼니(The Boring Co.)

- 굴착기업, 지하 고속터널 '루프(loop)'가 주된 사업
- 도시 곳곳에 승용차 한 대가 다닐 수 있는 소규모 지하터널을 통해 시속 200km속도로 이동
- 캘리포니아 서부 LA에서 굴착기 '고도 Godot' 405번 주간 고속도로 지하 2.7마일 터널 뚫을 계획



자료: <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=20067749&memberNo=38890623&vType=VERTICAL>

자료: <https://www.youtube.com/watch?v=Q1mZ4ADUEZs>

○ 도심형 농장: 스퀘어루츠(Square Roots)

- 일런머스크 동생 김발리브 머스크(Kimbal Reeve Musk)는 뉴욕 브루클린 도심형 농업회사 Square Roots를 2016년 창업
- 수경재배, 실내, 기후 제어 선적 컨테이너에서 120종 식물 재배
- 25개의 기후조절식 선박 용기, 저온 저장 장치, 바이오 시큐리티 인프라, 수직농장 구축 계획

4. 도시 및 주거환경 변화의 단서

○ 3D 프린터 혁명의 시작

- ① 의료보건산업: 두개골, 피부, 연결, 임플란트
- ② 항공산업: 3D 프린팅된 부품 사용 군사용 비행기 시험비행 성공, 무게절감 가능
- ③ 항공우주산업: 2013년 5월 NASA는 3D 프린팅된 식용 가능한 피자 개발지원, 2014년 10월 국제 우주정거장에 3D프린터 설치
- ④ 소매산업: 3D프린터 소유 가정-장난감, 신발, 전화기케이스 등의 디자인 파일 송부
- ⑤ 식품산업: EU는 노인들을 위해 특별히 제공되는 음식을 개발하기 위해 3D프린팅 프로세서를 개발하는 프로젝트에 400만달러를 지원한다고 최근 발표

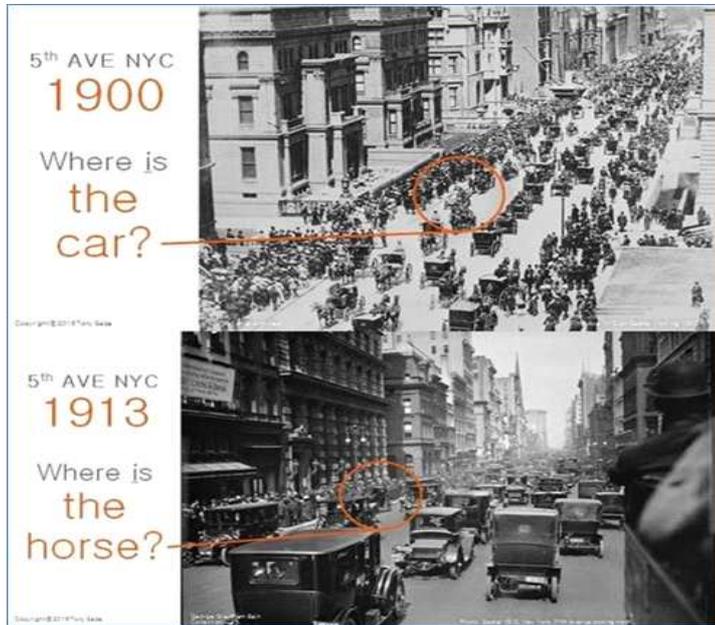
II. 4차 산업혁명과 사회변혁

1. 4차 산업혁명의 의미와 준비



「에너지혁명 2030」
·저자: 토니세바
·화석연료 고갈로 인해 앞으로 20년 후 에너지와 교통산의 발전을 예측

- '에너지혁명 2030' 저자 토니세바*는 1900년과 1913년 거리를 비교
 - 13년만에 자동차는 마차를 사라지게 함.
 - *토니세바는 에너지와 전기자동차 전문가로 스탠퍼드 대학교의 경영 및 에너지, 운송의 미래 등 강의



○ 4차 산업혁명의 승자들: Who are the likely winners?

[그림 1] 4차 산업혁명; 세계 각국



- 초연결망사회에 대한 준비와 대응이 잘 된 국가
- 151개국 중 스위스, 싱가포르, 네델란드, 핀란드, 미국, 영국, 홍콩, 노르웨이, 덴마크, 뉴질랜드 순
- 일본 12위, 독일 13위, **한국 25위**, 중국 28위

자료: https://www.ubs.com/global/en/about_ubs/follow_ubs/highlights/davos-2016.html

2. 4차 산업혁명과 사회변혁

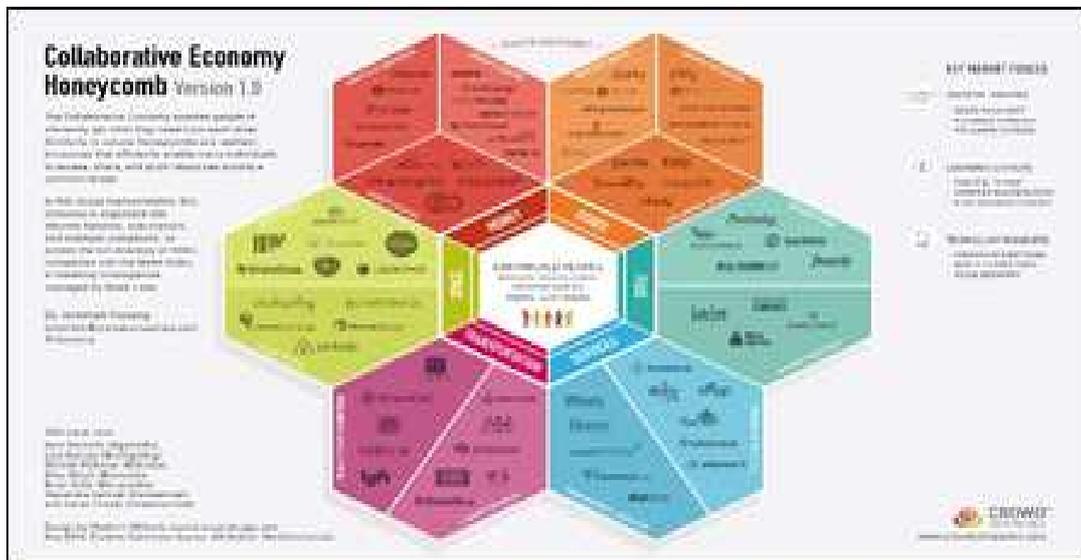
○ 미래 일자리전망

- 세계경제포럼(WEF-World Economic Forum)의 제4차 산업혁명에 따른 미래(2015-2020) 일자리 변화 전망에서 인공지능, 로봇공학 발전으로 현재 초등학교에 입학하는 아이들의 65%가 기존에 없던 새로운 일자리에 종사
- 프로젝트 이코노미(Project Economy) 시대
- 사물인터넷, 전지구적 연결이 가능한 광통신으로 원격근무, 협업공간, 원격화상회의 가능
- 전 세계적인 개인 및 강소기업 단위의 분업이 보편화

○ 공유경제벌집 프레임워크(Collaborative Economy Honeycomb)

- 제레미아 왕(Jeremiah Owyang) Crowd Company 창립자이자 산업 분석가로 2014년 5월 블로그를 통해 인포그래픽 보고서 발행
- 6개 공유경제영역: Transportation, Service, Food, Goods, Money, Space

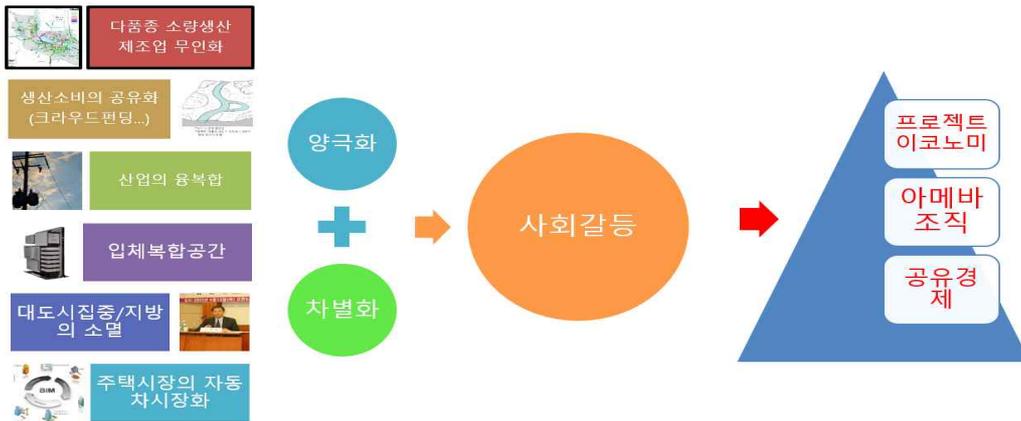
[그림 2] 공유경제벌집(Collaborative Economy Honeycomb)



자료: http://www.web-strategist.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/honeycomb_collab_econ.jpg
<http://verticalplatform.kr/archives/4375>

○ 사회 변혁

- CPS(Cyber-Physical Systems, 가상물리시스템)로 촉발될 시스템혁명(예. 스크린골프)
- 최적화, 자원낭비최소화
- 시행착오 최소화
- 신속, 수요대응적 생산
- 유연하게 민첩하게
- 다품종 소량생산
- 대량고용시스템 축소
- 고용양극화
- 부익부, 빈익빈(소득양극화)
- 공유경제
- 시공간의 압착
- 제조업의 무인공장화

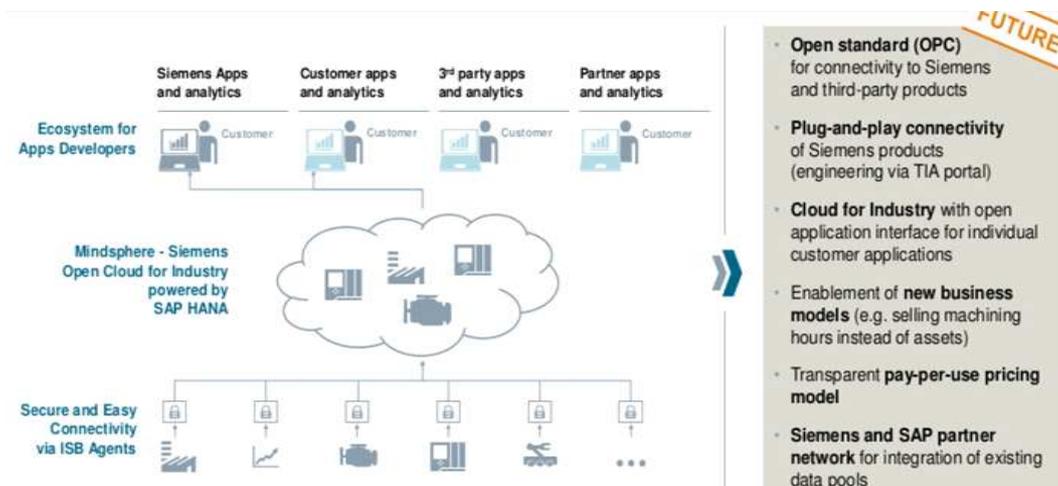


3. 4차 산업혁명에 대한 준비

○ 미국

- SmartAmerica Challenge
- 미국 내 각 사업 및 산업영역에서 CPS시스템 상호구축(CPSNet)하여 기술적·사회적 이슈 도출하기 위한 연구 프로젝트

[그림 3] Big Data > Smart Data > Business Data



자료: https://www.slideshare.net/WMG_HVMCatapult/britains-4th-industrial-revolution-vision-to-reality-alan-norbury-71996978

○ 독일

- 독일의 인더스트리 4.0
- 독일 경제의 4가지 성공요인: 경쟁력있는 시장과 고용의 안정성, 기술혁신, 전문 기술교육을 통해 양성된 기술직 노동력의 수급, 경쟁력 있는 독일의 중소기업
- 인더스트리 4.0, 노동 4.0, 레퍼런스 아키텍처 모델 인더스트리 4.0 등 4차 산업혁명담론 형성



자료: 김주희, 201803.16, “제4차 산업혁명과 독일의 미래국가전략,” 서울대 국제문제연구소.정보통신정책연구원 주최, 4차산업혁명 전략의 새로운

○ 일본

- Society 5.0는 2016년 1월 과학기술정책 기본지침 「제5기 과학기술기본계획」
- 수렴사회 > 농경사회 > 산업사회 > 정보사회 > 슈퍼스마트사회(사이버공간과 물리적 공간 융합)
- ① 분야와 지역을 넘는 개별시스템의 고도화
- ② 3차원 지리, 인간행동, 교통, 환경관측, 공산품과 농작물 등 생산 및 배분데이터 등 빅데이터 분석 및 활용
- ③ 필요한 서비스를 필요한 사람에게, 필요한 때에 필요한 만큼 제공하고 사회의 다양한 요구에 효율적이고 섬세하게 대응
- ④ 모든 사람이 양질의 서비스를 받을 수 있으며, 연령, 성별, 지역, 언어 등에 관계없이 편안하게 살 수 있는 사회

[그림 4] 일본 Society 5.0

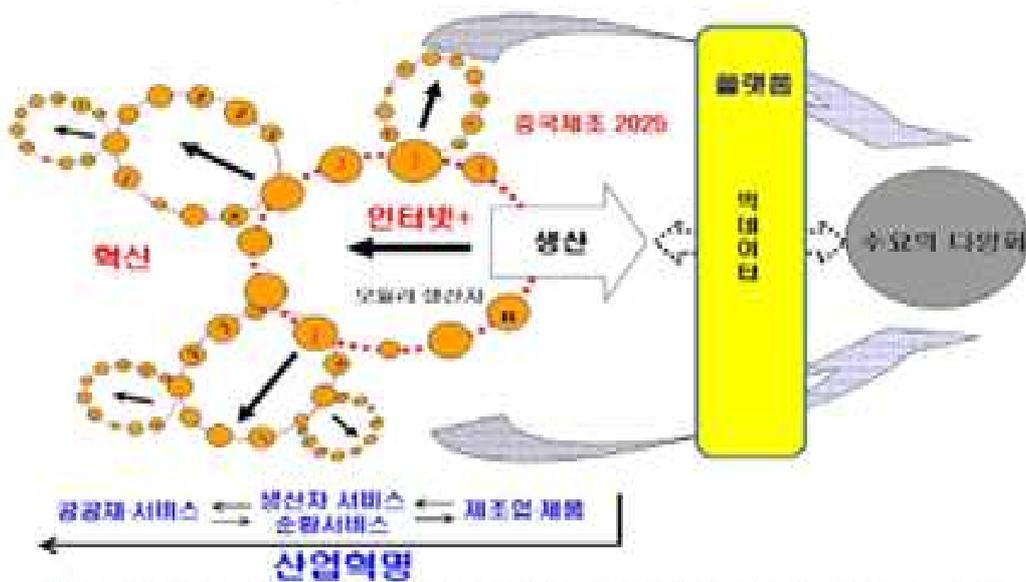


자료: 김주희, 201803.16, “제4차 산업혁명과 독일의 미래국가전략,” 서울대 국제문제연구소.정보통신정책연구원 주최, 4차산업혁명 전략의 새로운 지평: 미래국가전략의 모색

○ 중국

- 원바이오사회 > 샤오캉사회 > 다통사회
- 원바이오사회(2000년까지, 중국국민들이 따뜻하게 지내고 배부르게 먹을 수 있는 사회), 샤오캉사회 (2021년까지, 국민 모두가 기본적인 풍요를 누리고 소외된 계층 없음), 다통사회(2049년까지, 모든 국민들이 이상적인 복지사회)
- 2001년부터 2020년까지 GDP 5조달러 목표
- 중국의 경제발전계획인 13.5 계획에서 중국제조 2025(2015.5)은 제조업 혁신정책으로 기술집약형 스마트제조강국 구축을 위한 전략

[그림 5] 중국 13.5 계획의 네트워크 메커니즘



자료: Lill Ma(2016.5.13.), "The 13th Five-Year Plan and the International Cooperation Choices of the Belt and Road initiative of China"

III. 새로운 도시공간의 출현

1. 새로운 도시공간의 출현 - 제조업 민주화

○ 세계 10대 스마트도시*

- 뉴욕(1위), 런던, 파리, 샌프란시스코, 보스턴, 암스테르담, 시카고, 서울(8위), 제네바, 시드니
- 서울은 교통 1위, 기술분야 2위

*Forbes에서 스페인 IESE비즈니스스쿨의 CIMI(Cities in Motion Index)(2016)자료 참조

○ 메이커스페이스(Makerspace)

- 공구나 장비를 갖춘 커뮤니티센터로써 설계, 엔지니어링, 조립, 기술교육 등 기술개발공동체로써 손쉽게 제품제작가능한 제조업의 민주화를 의미

- 'Maker Movement': 컴퓨터 스캐너, 3D프린터, 레이저 커터 등의 디지털 제조기술을 활용해 제품 생산

- 팹랩(Fablab): 제조연구실(Fabrication Laboratory)의 약자로 미국 MIT 원자비트연구소의 닐 거센 필드교수가 대학 커리큘럼의 일환인 ‘How to make almost anything’에서 시작하여 2005년 일반인을 대상으로 확대

- ① 디지털 제조 기술을 활용한 저가 제작시스템: 디지털 제조기술을 통해 깊은 설계지식이 없이도 저가 비용으로 제품구현
- ② 사용자 참여형 혁신모델: 팹랩은 사용자가 CAD모델링, 3D스캐닝, 프린팅 등 디지털 기반생산기술을 직접 배워 자신의 아이디어를 디자인으로 설계하고 시제품으로 구현해보는 개인제조 혁신활동을 지원
- ③ 오픈 디자인(Open Design)을 통해 혁신성과 공유: 전세계 팹랩의 정보가 DB화되어 공유

2. 4차 산업혁명과 토지이용

○ 앵커산업 육성, 주거 상업 산업의 혼합 개발, 창업 지원 및 IT, IoT 플랫폼, 4차 산업혁명 전진기지

뉴욕 혁신경제센터 (2009-2017)	런던 테크시티(2011-)	텍사스 오스틴(2008-)	베를린 동독지역(2013)
			
코넬대학이 개발 담당 쇼핑몰 인근 작업공간 건립(탄력적 공간활용)	3.4만개 이상의 디지털 테크놀로지 기업이 활동 가이드라인을 통해 문화, 주거, 상업용 건물의 믹스	‘그린위터 프로젝트’ 호텔, 주거, 오피스, 관공서, 공연장이 복합적으로 개발	‘더 팩토리 갤러리’ 폐공장과 노후 주택지역에 벤처창업공간 및 젊은 예술가 활동공간 조성 서울 홍대와 같은 복합 공간 조성

자료: 벨코지식정보, 도시 지역 복합개발, 지식정보

○ 2030년 LA의 미래 모습 전망(Michael Maltzan, Gensler, 시티랩-UCLA)*

- LA의 건축밀도는 높아지고 입체복합공간과 같은 다용도 건물 증가
- 주거와 고용의 분리대신 모든 지역을 연결하는 주거와 업무 복합 중심허브 등장
- 통근노선은 공원, 수영장, 쇼핑센터 등을 통해 연결됨
- 일과 생활이 구분없이 하나로 연결되는 세상

*뉴스위크에서 마이클 말찬 아키텍처, 겐슬러, 시티랩-UCLA 등 3대 건축업체에 LA의 미래 모습을 요청



자료: 뉴스위크 한국판(2010.9.1.) “LA. Residential-일과 생활의 경계가 사라진다”

IV. 교통수단과 도시

1. 자율주행차량 시대

○ 자율주행차량 시대로 가는 4단계 전망

- **1단계** 기술개발단계(2016-2020): 운전면허 있는 운전자에게 차량에 대한 완전한 법적 책임을 요구
- **2단계** 부분적으로 운전자 대체(2020-2025): 법적으로 책임을 지는 운전자에게 요구하는 것들을 완화
- **3단계** 자율주행의 완성(2025-2029): 차량 스스로 운전하고 주차, 그러나 운전자가 개입할 수 있음
- **4단계** 광범위한 채택(2029이후): 차량은 완전하게 자율주행, 운전자가 운전 개입 못하게 제한, 자동차소유는 운행거리당 지불방식(pay-per-mile)으로 전환, 경제가 상당부분 전환

○ 자율주행차량(AVs)으로 도시디자인 변화

도시 재 디자인 방향	도시가 완전하게 재디자인 ① 자율주행 차량간 car-to-car 통신은 부드러운 교통흐름에 기여 ② 교차로 신호등은 불필요 ③ 추가적인 도로 확보도 불필요
AVs 장점	- 스스로 얼마나 빠르게 달려야 하는지 정확히 인식 - 교통 혼잡을 방지하면서 차량간격을 얼마나 유지하는지 인식 - 출퇴근 시간 단축 - 교통사고 방지, 모든 자동차 사고의 93%는 사람 실수로 발생 - 공기오염 감소
전용 AV 도로에서 HOV 주행	- 고속도로 디벨로퍼들은 전용 AV도로를 가까운 시일 내에 구현할 전망 - 이는 지금의 버스처럼 많은 승객이 탈 수 있는 High-Occupancy-Vehicle(HOV) 전용 도로

2. Spaces on Wheels

○ MONET technologies(모네 테크놀로지)

- 2018년 10월 4일 도요타(Toyota)와 소프트뱅크(Softbank)의 설립
- 모빌리티서비스, 라이드 셰어링, 'e-Palette(MaaS; Mobility as a Service 플랫폼) 등 이동이 관련된 모든 비즈니스영역을 포괄하는 서비스 제공 목표

[그림 6] 도요타와 소프트뱅크의 MONET



자료: <http://w.astroman.biz/index.php?mod=magazine&a=read&id=2674&printer=true>

○ 도요타의 Woven City

- 도요타(Toyota)와 NTT가 자본제휴를 통해 스마트시티 플랫폼 공동개발 발표
- 위치는 시즈오카현 도요타의 기술연구소 히가시후지공장 부지 설립예정
- 사람-건물-자동차-물건과 서비스의 정보가 모두 연결(CASE, Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric)
- 자율주행 차량만이 다니는 빠른 속도의 차량 전용 도로, 보행자와 속도가 느린 개인 모빌리티가 공존하는 도로, 보행자만 다니는 도로로 구성

3. 드론

○ 독일의 볼로콥터(Volocopter)

- 2013년 독일 이볼로(E-volo)는 ‘볼로콥터’ 개발
- 9개의 배터리, 18개의 전기모터, 18개 회전날개로 구성
- 내비게이션에 표시되는 정보를 따라 일반적인 드론과 마찬가지로 조이스틱을 조정하여 운행하는 시스템



○ 중국의 드론

- 드론제작사 이항(Ehang)의 ‘이항184’
- 세계 최초의 유인자율비행체(Autonomous Manned Vehicle)
- 시속 약 100km으로 23분간 운행 가능하며, 300~500m의 저고도(최대 3,500m)로 비행 가능
- 최대 1인 탑승 가능하며, 주차가능(승용차크기)



○ 미국의 에어버스

- 미국 에어버스 그룹의 운전자없는 자율주행 비행 택시인 ‘시티에어버스(Cityairbus)’ 개발 상용화 예정



자료: <http://volocopter.com/index.php/en/e-volo-en/timeline-en>

<http://www.esquireme.com/content/19725-dubai-to-launch-flying-taxis>

<http://www.ehang.com/ehang184/gallery/>

<http://www.airbusgroup.com/int/en/news-media/corporate-magazine/Forum-88/My-Kind-Of-Flyover.html>