

4차 산업혁명 시대 인프라의 질적 제고 방향과 전략 : 스마트 인프라의 필요성과 추진 전략

2017. 6

최석인, 박수진, 최수영, 최은정, 박희대, 박철한

한국건설산업연구원

Construction & Economy Research Institute of Korea

<차 례>

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	3
제2장 우리나라 인프라 투자 실태와 경쟁력 평가	5
1. 공공 인프라 투자 계획과 적정성 논란	5
(1) 공공 인프라 투자 계획	5
(2) 공공 인프라 투자 계획의 적정성 검토 및 논란	6
2. 우리나라 인프라의 경쟁력 평가	8
3. 주요 시사점	11
제3장 지속 가능한 경제 성장과 스마트 인프라	13
1. 인프라의 생산성 향상이 경제 성장에 미치는 영향	13
(1) 총요소생산성(TFP)과 경제성장률의 관계	13
(2) 인프라 투자의 총요소생산성 제고 효과	19
2. 인프라의 질적 제고와 스마트 인프라 도입의 필요성	22
(1) 인프라의 현황과 효율성	22
(2) 인프라 효율성 제고의 효과와 스마트 인프라 구축의 필요성	27
3. 주요 시사점	33
제4장 선진국의 인프라 추진 정책과 동향	37
1. 세계 인프라 투자의 새로운 양적/질적 수요 조망	37
2. 선진국의 인프라 추진 정책 동향	41
(1) 국가별 인프라 투자 추이	41
(2) 국가별 장기 인프라 계획상의 질적 제고 방향	46
3. 주요 시사점	57

제5장 스마트 인프라 기술 동향	61
1. 4차 산업혁명과 스마트 인프라의 개념	61
(1) 4차 산업혁명 동향	61
(2) 스마트 인프라의 개념과 범위	62
2. 스마트 건설 기술 동향	65
(1) 건설생산 핵심 기술	65
(2) 새로운 개념의 인프라 상품	72
3. 주요 시사점	76
제6장 인프라의 질적 제고를 위한 스마트 인프라 추진 전략	79
1. 인프라에 대한 새로운 시각과 투자 필요성	79
2. 스마트 인프라 추진 전략	81
3. 정책 제언과 기업의 대응 방향	84
(1) 정책 제언	84
(2) 기업의 대응 방향	88
제7장 결론	91

〈표 차례〉

<표 I-1> 연구의 주요 내용과 방법	4
<표 III-1> 총요소생산성(TFP)의 개념과 측정	14
<표 III-2> 한국 전체 산업의 성장 요인 분해	15
<표 III-3> 최근 TFP 연구 결과 비교	15
<표 III-4> 총요소생산성 및 자본의 산출탄력성이 경제성장률에 미치는 영향	18
<표 III-5> SOC의 부문별 산출탄력성 및 한계생산성 추정 방법 요약	24
<표 III-6> 교통혼잡비용 추이 및 예측	25
<표 IV-1> 독일의 SOC 예산 규모	43
<표 IV-2> 독일의 부문별 SOC 배분 현황	43
<표 IV-3> 호주의 인프라 투자 규모	44
<표 IV-4> 호주의 교통 부문별 투자 규모	45
<표 IV-5> 일본의 SOC 예산 규모	46
<표 IV-6> 일본의 부문별 SOC 예산	46
<표 IV-7> 부문별 정부 예산 계획	47
<표 IV-8> 2016~17년 분야별 인프라 프로그램과 규모	51
<표 IV-9> FTIP 2030의 목표 및 세부 전략	53
<표 IV-10> FTIP 2030의 교통 분야별 투자 계획	54
<표 IV-11> 호주의 인프라 투자 계획	56
<표 IV-12> 선진국의 인프라 정책 추진 동향 비교	58
<표 V-1> 시설 생애주기별 스마트 기술 적용 예시	77

〈그림 차례〉

<그림 II-1> 국내 SOC 예산 추이 및 계획	6
<그림 II-2> 국내 SOC 투자 예산의 적정성 평가(2013~2017)	7
<그림 II-3> WEF 국가 경쟁력 상위 50개국의 국가 경쟁력·인프라 경쟁력 분포	9
<그림 II-4> 우리나라의 인프라·국가 경쟁력 평가 추이	10
<그림 II-5> WEF 인프라 주요 부문별 품질 순위	10
<그림 III-1> 국가별 전 산업 총요소생산성의 경제성장 기여도(2001~2005년)	16
<그림 III-2> 미국 공공부문 투자의 산출탄력성 추정 연구 결과 분포	20
<그림 III-3> 우리나라 자본스톡의 한계생산 추이	23
<그림 III-4> OECD 국가들의 평균 출퇴근 시간 비교	26
<그림 III-5> 한국과 주요 선진국의 도로 및 철도에 대한 여객 및 화물부하지수	27
<그림 III-6> 수송 부하지수와 교통사고 사망자 수 및 CO ₂ 방출량과의 상관관계	27
<그림 III-7> 인프라 효율성과 1인당 소득	32
<그림 III-8> 인프라 효율성과 1인당 인프라 스톡	32
<그림 III-9> 한계효용 체감과 투자 효율성 감소	34
<그림 III-10> 기술 진보를 통한 투자 효율성 증대	35
<그림 IV-1> 세계 인프라시장의 수요와 공급의 격차	38
<그림 IV-2> 미국의 총 지출 대비 SOC 투자 규모	41
<그림 IV-3> 미국의 부문별 SOC 재원 배분	41
<그림 IV-4> 영국의 SOC 예산 규모	42
<그림 IV-5> 영국의 부문별 SOC 재원 배분 현황	42
<그림 IV-6> 호주의 인프라 분야별 기성 추이	45
<그림 IV-7> 2016~17년부터 2020~21년까지 영국의 부문별 인프라 투자 계획	50
<그림 IV-8> 2020~21년까지 경제적 인프라와 사회적 인프라에 대한 투자 비중	52
<그림 IV-9> FTIP의 예산 배분	54
<그림 V-1> 건설 부문의 4차 산업혁명의 개념과 효과	62
<그림 V-2> 건설사업 생애주기별 BIM 적용 개념도	67
<그림 V-3> 스마트 기술 등 첨단 기술의 가능성과 영향도 평가	71
<그림 V-4> 영국 크로스레일 사업의 BIM 모델	75
<그림 V-5> Royal Mail Tunnel에 부착된 각종 센서	76

<그림 VI-1> 스마트 인프라의 투자 필요성과 기대 효과	81
<그림 VI-2> 스마트 인프라 세부 추진 전략과 영역별 주요 내용	82
<그림 VI-3> 스마트 인프라의 비즈니스 모델과 활용 기술의 예시	83
<그림 VI-4> 스마트 인프라의 추진을 위한 정부의 추진 체계와 투자계획 신설(안)	85
<그림 VI-5> 투자 방식에 따른 민간의 스마트 비즈니스 활성화 정책 개념	86
<그림 VI-6> 스마트 인프라 추진에 따른 건설기업의 역할 및 대응 방향	89

요 약

제1장 서론

- 최근 선진국은 인프라의 신설 및 재투자를 위한 각종 전략과 정책을 마련하고 있으며, 국내 건설산업도 사회안전망 확보를 위한 노후 인프라 투자의 필요성이 강조되고 있음.
 - 선진국은 장기간의 투자를 통해 구축된 인프라의 노후화와 신설 인프라 확보에 대응하기 위한 투자가 필요함. 우리나라의 경우 압축 성장 시기에 지어진 인프라의 안전과 시설 노후화에 대비한 예방적 투자가 필요함.
- 4차 산업혁명 시대에 인프라 투자 기조는 양적 중심에서 질적 제고를 도모할 수 있는 방향으로의 전환이 필요한 시점임.
 - 콘크리트와 철골 구조물로 대표되는 기존의 양적 중심 인프라 투자는 그 실질적인 효과와는 상관없이 매력이 없을 수 있음.
 - 선진국은 최신 기술과의 융합을 통해 미래 지향적인 사회안전망 구축과 더 높은 생산성에 기여할 수 있는 방향으로 인프라 투자가 추진되고 있음.
- 우리 건설은 미래형 인프라, 즉 ‘스마트 인프라’의 추진이 필요한 시점이며, 완성 시설뿐만 아니라 건설 과정의 스마트화를 이루어야 함.
 - 이를 통해 국민 생활의 불편함을 최소화하고 사용성, 편의성을 극대화할 수 있을 것으로 사료됨.
- 본 연구는 미래형 스마트 인프라의 추진 전략을 제안하기 위하여 1) 우리나라 인프라 투자 실태와 정책, 2) 인프라의 질적 제고의 필요성 분석, 3) 선진국의 관련 정책 동향, 4) 스마트 기술 동향, 5) 미래형 스마트 인프라의 추진 전략을 제안하고자 함.

제2장 우리나라 인프라 투자 실태와 경쟁력 평가

1. 공공 인프라 투자 계획과 적정성 논란

- 우리 정부는 SOC 스톡이 선진국 수준에 도달한 것으로 인식해 SOC 투자 예산을 2016년 23.7조원에서 2020년 18.5조원까지 연평균 6%씩 감축할 계획임.
 - 2016~2020년 국가재정운용계획은 SOC 투자를 단계적으로 감축하고 핵심 사업 위주로 투자하는 등 효율성 제고에 중점을 두고 있음.
 - 중앙 정부의 중장기 인프라 투자 감축 기조는 재정 자립도가 낮은 지자체의 신규 공사 예산 감축에 더욱 영향을 미칠 것으로 판단됨.
- 정부 SOC 예산 감축의 대표적 근거로 ‘국토면적당 SOC 연장’이 활용되었으나, SOC 스톡의 충분성을 설명하기 위한 지표인지 여부에 대해서는 논란이 있음.
 - ‘국토계수당 도로밀도’를 기준으로 할 경우 우리나라는 OECD 국가 중 최하위로 평가되어 SOC의 양적 수준을 판단하는 보다 객관적인 지표가 필요함.
- 2016~2020년 국가재정운용계획에서는 투자 예산을 연도별로 감축하는 것으로 계획하고 있는데, 이에 따른 SOC 투자 부족이 예상되고 있음.
 - 2016~20년 기간의 적정 SOC 투자 규모 추정값과 SOC 예산을 비교할 경우 5년 간 총 22.2조~47.2조원 정도가 부족할 것으로 예상됨.

2. 우리나라 인프라의 경쟁력 평가

- 2016년 WEF가 발간한 글로벌 경쟁력 평가 보고서에서 우리나라의 글로벌 국가 경쟁력은 전체 평가 대상 138개국 중에서 26위, 상세 부문별 경쟁력 중 인프라 경쟁력은 14위로 평가됨.
 - 인프라 경쟁력 순위는 2010년 12위를 차지한 뒤 2014년 23위까지 하락하였다

가 최근 14위까지 상승하였으나, 같은 기간 동안 국가 경쟁력 순위는 26위에 머물고 있음.

- 한편, 인프라 품질을 나타내는 인프라 경쟁력 지수에서 우리나라는 2011년 이후 5.5점(1-7, 7점 척도) 수준에 머물고 있음.

- 최근 인프라 경쟁력 순위의 상승에도 불구하고 국가 경쟁력이 25~26위에 머물고 있다는 사실은 우리나라 인프라가 질적인 개선을 이루지 못하고 있으며, 결국 국가 경쟁력 향상에 대한 긍정적 기여 또한 약화되었음을 시사함.

- 인프라의 부문별 품질 순위를 보면 ‘전력 공급’을 제외한 나머지 부문들의 품질 순위는 지난 9년 간 크게 변동하지 않음.

3. 주요 시사점

- 정부는 인프라 스톡 규모가 선진국 수준에 근접하였음을 근거로 SOC 예산의 감축 계획을 수립하였으나, 인프라 스톡이 적절한 판단 기준인지에 대해서는 논란의 소지가 있음.

- 또한 최근의 연구에 따르면 우리나라의 물가상승률을 고려한 인프라 재투자 비용만 향후 10년 간 53.4조원이 필요하며, 신설 투자와 성능 개량을 고려하면 훨씬 더 많은 투자가 필요할 것으로 예측됨.

- 따라서 정부는 우리나라의 인프라 특성과 향후 여건 변화, 선진국 수준으로의 수송 부하 저감 등 다양한 요소를 고려한 스톡 평가 및 인프라 투자 정책을 수립할 필요가 있으며, 인프라 경쟁력의 정체 양상을 감안할 때 인프라의 질적인 향상을 도모할 수 있는 방향으로의 투자가 필요함.

제3장 지속 가능한 경제 성장과 스마트 인프라

1. 인프라의 생산성 향상이 경제 성장에 미치는 영향

- 경제 성장 요인은 일반적으로 노동, 자본 등 양적 투입 요소와 생산성 증가 등 질적 요소로 구분할 수 있으며, 생산성이 성장에서 차지하는 비중을 측정하는 것은 경제 성장의 질과 지속 가능성을 짐작할 수 있게 함.
 - 노동, 자본, 에너지 등 총요소 투입량 단위당 초과 산출량의 변화율을 나타내는 총요소생산성은 국가경제가 가지는 생산 활동의 효율성 및 생산성, 경제 시스템의 질적 수준을 가늠하는 척도로 여겨짐.
- 국가 간 총요소생산성 비교 결과 우리나라의 경제 성장은 생산성보다 요소 투입에 의존하는 패턴을 유지하고 있어 경제의 효율성 제고(질적 성장)보다는 생산요소 투입량에 기반한 성장(양적 성장)을 지속해 온 것으로 분석됨.
- 미국의 대통령 경제자문위원회와 세계은행, 그리고 많은 연구는 인프라의 효율적 투자가 총요소생산성 향상에 기여해 국가의 장기적인 경제 성장을 뒷받침하기 위한 중요한 요소임을 뒷받침하고 있음.
 - 경제 규모와 소득 수준이 성숙 단계에 접어들게 되면 소득 성장률이 둔화되는데, 이 단계부터는 기술 진보를 포함한 요소생산성의 성장이 경제 성장을 견인하므로 ‘지속 가능한’ 경제성장률 증대를 위해서는 총요소생산성의 향상이 필요함.
 - 자본재 중의 하나인 인프라 투자 효율성의 향상은 인프라 투자로 인해 유발되는 제조업과 서비스업 생산성 증가로 이어져 ‘요소생산성 성장’의 일부를 구성하게 되며, 지속적인 경제 성장에 간접적으로 기여할 수 있음.
 - 인프라의 기여 효과는 기간 및 지역에 따라 상이할 수 있음.

2. 인프라의 질적 제고와 스마트 인프라 도입의 필요성

- 경제가 성장할수록 인프라에 대한 투자도 한계생산성 체감으로 인해 생산성에 기여하는 크기도 줄어드는 것이 일반적이나, 감소가 너무 빠르거나 탄력도 자체가 낮은 수준이라면 투자 정책의 변화가 필요함.
- 최근 연구에 따르면 우리나라 인프라의 한계생산성은 1970년 0.93에서 2013년 0.32까지 감소한 것으로 나타났으며, 타 자본 스톡에 비해 철도부문이 여전히 높은 한계생산을 보이는 것으로 나타남.
- 우리나라의 2015년 교통혼잡비용은 GDP의 2.16% 수준인 33.3조원 규모로, 2005년 이후 연평균 3.54% 비율로 꾸준히 증가하고 있음. 이는 우리나라 인프라의 효율성 감소를 실증적으로 뒷받침함.
- 우리나라는 국토 면적이 유사한 OECD 국가들에 비해 여객·화물수송 부하의 도로 혼잡도가 월등히 높는데, 이는 좁은 국토에 밀집된 인구가 야기한 집중적인 인프라 수요를 충분히 감당하지 못하기 때문인 것으로 판단됨.
- 인프라 투자 효율성이 1% 증가할 경우 1인당 국민소득은 0.091%, 인프라 스톡의 가치는 1.091% 증대를 기대할 수 있으며, 민간자본 투자 스톡도 함께 증가할 것으로 예상됨. 따라서 인프라 투자의 효율성 향상 방안에 대한 고민이 필요함.

3. 주요 시사점

- 지속 가능한 경제 성장을 위해서는 인프라 투자의 효율성을 향상시켜야 하는데, 다른 생산 투입 요소들과 차별되는 인프라의 특성을 고려해야 함.
 - 노동 및 타 자본재와 달리 인프라는 공간적 배치의 효율성과 투자의 질적 수

준(효율성)을 함께 고려할 필요가 있음.

- 인프라 투자의 질적 효율성 향상은 동일한 기술 조건에서 보다 효율적인 투자 대안을 선별하여 투자하는 것과, 기술적 진보를 통한 기존 투자 대안의 효율화 등을 통해 달성할 수 있음.
 - 효율적 대안의 선별은 한계효용 체감의 법칙에서 자유롭지 못하므로, 기술 융합과 진보를 통해 투자 대안 자체의 효율성을 높이는 방안이 보다 바람직함.
- 인프라의 효율성을 획기적으로 향상시키기 위한 대안으로 산업간 융·복합을 통한 ‘기존과 다른 방식’의 인프라 투자가 필요하며, 최근 각광받는 기술 진보와 4차 산업혁명의 맥락에서 ‘스마트 인프라 구축’을 전략으로 고려할 수 있음.
 - 새로운 기술과 인프라의 결합을 통한 인프라 생산성 향상은 타 생산 요소들이 효율성에 긍정적으로 작용할 것이며, 경제성장률 제고에 기여할 것임.

제4장 선진국의 인프라 추진 정책과 동향

- 전 세계적으로 인프라 투자의 양적/질적 투자의 중요성이 높아지고 있음. 주요 선진국의 인프라 정책을 살펴보면 다음과 같음.

1. 세계 인프라 투자의 새로운 양적/질적 수요 조망

- 선진국의 인프라에 대한 투자는 2012년 금융위기 이후 증가하고 있음. 이는 경제 활성화, 경제적 효율성 극대화를 위한 것으로 지속 가능한 인프라 구축을 목표로 함. 특히, 주로 교통 부문에 대한 투자가 주를 이루며, 구체적으로 도로, 철도에 집중적으로 투자를 하고 있음.
 - 미국은 글로벌 금융위기 이후 SOC 투자가 증가했는데, 특히 2009년에 「미국의 복구 및 재투자법(ARRA: American Recovery and Re-investment Act)」

을 제정해 교통 및 물류 부문에 중점 투자하기 시작함.

- 영국도 2013년 이후 SOC 투자 비중이 다시 증가하기 시작함. 특히, 교통 및 물류 부문에 대한 투자가 전체 예산의 80% 이상으로 대부분이며, 이 중에서도 철도가 전체 예산의 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하고 있음.
 - 독일은 2016년 SOC 예산이 크게 증가하였는데, 이 중 교통에 대한 투자가 전체 예산의 60% 이상을 차지하고 있음. 특히, 도로가 SOC 전체 예산의 40% 이상을 차지해 가장 많음.
 - 호주의 경우 전체 GDP 예산에서 인프라 투자 금액이 최근 6년 간 약 10%를 차지하고 있음. 특히, 도로, 철도 등 교통 분야는 전체 인프라 투자 금액의 50% 가까이로 가장 높은 비중을 차지함.
 - 마지막으로, 일본도 SOC 예산 비중이 2013년부터 증가하기 시작하였는데, 이 중 교통 부문 투자 금액이 7조 7,500억엔으로 전체 예산의 약 75%를 차지하고 있음.
- 반면, 우리나라의 SOC 예산은 매년 감소 추세에 있음. 특히, 최근 5년 동안 SOC 예산은 타 부문에 비해 소외를 받아오고 있어 선진국의 추세와는 반대되는 양상을 보이고 있는 것으로 나타남.

2. 선진국의 인프라 추진 정책 동향

- 선진국은 장기 계획 수립 하에 인프라에 대한 투자를 함으로써 인프라의 질적 수준 향상을 위해 노력하고 있음.
- 미국은 지난 2015년 국가 교통 예산법인 「육상교통정비법(FAST : Fixing America's Surface Transportation)」을 제정하여 이후 5년(2016~20년) 간 약 3,050억 달러를 도로, 안전, 대중교통, 철도, 연구개발 등의 분야에 투자하는 계획을 마련함.

- 영국은 2016년에 NIDP(National Infrastructure Delivery Plan)라는 이름으로 2020~21년까지 인프라 개발을 위해 600개가 넘는 프로젝트에 4,830억 파운드를 투자한다는 계획을 발표함.
 - 독일도 2030년까지 교통부문 인프라에 대한 투자를 늘릴 계획으로 'FTIP (Federal Transport Infrastructure Plan)'를 수립함. FTIP 2030에서는 2,696억 유로의 자금 투자 계획을 가지고 있음.
 - 호주는 'Infrastructure Australia Act 2008'을 발표해 향후 급변하는 환경 변화에 맞춰 인프라의 자동화와 첨단화, 그리고 인프라의 재건과 투자를 위한 장기 계획의 필요성을 강조하고 있음.
 - 마지막으로, 일본은 2012년 제3차 사회자본정비중점계획(2012~2016)을 수립하여 SOC 정책과 관련해 총 9개 과제 18개 시책을 제시해 전략적인 투자를 실시하고 있음.
- 우리나라의 경우 5년 단위로 중기교통시설투자계획을 수립하고 있음. 그러나 해외 선진국의 경우처럼 인프라에 대한 중장기적인 종합적인 계획, 즉 향후의 트렌드 변화에 맞춘 기술력 도입, 인구 통계학적 변화, 정치적 변화 등의 상황을 고려한 인프라의 분야별 투자 전략이 포함되지 않은 채 단순히 예산 계획만 세우고 있는 상황임.

3. 주요 시사점

- 선진국의 장기 투자 계획에서 나타난 공통점을 살펴보면, 기존의 노후 인프라를 재건하는 데에 초점을 두고 있음. 즉, 오래된 기존의 도로, 철도 등 교통수단을 보수하고 보완하는 데 투자를 집중하고 있음.
- 영국의 NIDP는 2020~21년까지 5년 간 전체 예산 중 약 3,000억 파운드를 에너지, 교통, 사회적 인프라 등에 집중적으로 투자할 계획임.
- 독일의 경우도 여타 선진국과 마찬가지로 노후 인프라에 대한 투자를 늘리고

있는 추세임. FTIP 2030에서도 인프라 투자의 최우선 순위로 기존 인프라 시설의 유지보수 및 대체를, 그 다음으로 새로운 인프라의 구축을 꼽음.

- 호주 또한 향후 급변하는 환경 변화에 맞춰 인프라의 자동화와 첨단화, 그리고 인프라의 재건과 투자를 위한 장기 계획의 필요성을 강조하고 있음.

- 인프라 재건 시 친환경적으로 경제적 효율성을 높이기 위한 방향을 중요시하고 있어 이를 위한 수단으로 첨단 기술의 도입 필요성을 언급하고 있음.

- 현재까지의 동향을 살펴보면, 신규 혹은 노후 인프라에 대한 질적 제고에 있어 선진국의 기본 정책 기조는 스마트 인프라 구축을 지향하는 것으로 판단되나, 아직까지 완성 시설물의 사례는 많지 않은 실정임.

- 반면, 우리나라는 기존에 진행되어 왔던 사업을 마무리하는 데 예산의 대부분이 편성되어 있으며, 시설물 노후화에 대한 재투자가 절실히 필요한 시점임에도 불구하고 아직까지 활발히 진행되지 못하고 있음.

- 또한, 다양한 정책 기조에서 4차 산업혁명 기술의 도입의 필요성이 강조되고 있지만, 중장기 인프라 추진 계획과 관련해서는 선진국과 같은 질적 제고, 즉 스마트 인프라 도입의 계획은 미흡한 실정임.

제5장 스마트 인프라 기술 동향

1. 4차 산업혁명과 스마트 인프라의 개념

- 4차 산업혁명은 2016년 다보스포럼 이후 본격적으로 논의되기 시작하였으며, 현재 진행되고 있는 정보화 및 기술의 진보를 설명하기 위한 키워드로 사용됨.

- ‘일자리의 미래(The Future of Jobs)’ 보고서는 4차 산업혁명을 인공지능, 로

봇공학, 사물인터넷(IoT), 자율주행차량, 3D 프린팅, 나노기술, 바이오기술 등 새로운 기술이 몰고 올 혁명적 변화라 설명하고 있음.

- 4차 산업혁명은 기계와 사물, 인간의 연결을 통해 정체되어 있던 산업의 생산성을 폭발적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 4차 산업혁명과 관련한 스마트 인프라는 크게 건설 생산 과정의 스마트화와 완성 건설 상품의 스마트화 두 가지로 구분할 수 있음.
- 내부 수요자(설계자, 시공자 등) 관점에서 건설 생산성 향상을 위한 스마트 기술 접목은 생산 과정의 스마트화에 해당하며, 외부 사용자 입장에서 스마트 기술이 적용된 스마트 도로, 교량 등은 상품의 스마트화에 해당함.
- 건설산업에서의 스마트 기술 범위는 4차 산업혁명에서 주로 논의되고 있는 첨단 기술과 3차 산업혁명의 핵심 기술인 정보통신 기술을 포함하여야 함.

2. 스마트 건설 기술 동향

- 건설산업은 타 산업에 비해 첨단 기술 활용이 더딘 산업이었으나, 최근 기술의 획기적인 발전과 함께 최신 기술 도입에 대한 움직임이 활발함.
- 해외 스마트 건설 기술 동향은 건설 생산 과정의 스마트화를 위한 핵심 기술과 새로운 개념의 스마트 인프라 상품으로 구분하여 최근 동향을 살펴보았음.
- 건설 생산 핵심 기술은 BIM, 모바일 기술, 드론, 3D 스캐너, 모듈러 공법, 가상/증강 현실, 3D 프린터, 센서, 빅데이터 기반 인공지능 등이 있음.
- 스마트 상품은 자율주행차와 스마트 도로, 스마트 그리드, 스마트 시티를 중심으로 동향을 살펴보았음.

3. 주요 시사점

- 최근 스마트 기술 동향은 획기적인 새로운 기술의 개발이 아닌, 기존 기술들 간의 융합으로 인해 사용자의 니즈를 만족시켜주는 형태로 나타나고 있음.

- 즉, 특수 목적으로 만들어진 생산자 중심의 기술이 타 기술과의 융합을 통해 사용자 중심의 기술로 상용화되어 가고 있다는 것임.
- 건설사업에서 스마트 기술 적용은 기획 및 설계 단계부터 스마트 건설에 대한 개념이 반영되어야 함.
 - 이는 기업의 혁신뿐만 아니라 발주자의 인식 변화, 예산 반영, 공공 제도 및 기준 등의 변화도 함께 이루어져야 함을 시사함.
- 스마트 인프라 상품은 궁극적으로 시설의 운영 및 유지관리의 스마트화, 즉 스마트한 자산관리에 있음.
 - 스마트 인프라 계획은 시설의 운영 및 유지의 프로세스와 방법, 관리 주체(민간/공공) 등 다양한 관점에서 심층적인 검토를 통해야만 성공할 수 있을 것임.

제6장 인프라의 질적 제고를 위한 스마트 인프라 추진 전략

1. 인프라에 대한 새로운 시각과 투자 필요성

- 양질의 인프라 확보는 국가 경쟁력 강화를 위한 필수 요소 중의 하나이나, 전통적인 방식의 인프라 투자는 현대 사회가 요구하는 양질의 기대효과를 충족시킬 수 없다는 시각이 존재함.
 - 미국 트럼프 정부의 대대적인 인프라 투자 정책은 일시적인 고용을 증대시킬 수는 있지만, 미국 정부가 가지고 있는 구조적 문제인 낮은 수준의 투자와 생산성 저하를 해결하기 어렵다는 지적도 있음.
- 4차 산업혁명 기술 등과 접목된 스마트 인프라의 투자 전략과 계획은 전통적인 인프라 투자 효과에 대한 논쟁을 잠재울 수 있음.
 - 미래형 스마트 인프라 투자 정책의 목적은 국가와 사회의 진일보된 안전망 확보, 편의성 제공, 아름다운 국토 만들기임.

- 미국의 Singer도 인프라 투자 정책의 효과를 거두기 위해서는 스마트 인프라를 포함한 ‘혁신 인프라(Innovation Infrastructure)’가 필요함을 지적하고, 트럼프 정부의 인프라 투자 정책의 핵심이 되어야 함을 주장함.
- ‘혁신 인프라’ 혹은 ‘스마트 인프라’는 선진국과 우리나라가 가지고 있는 격차를 줄일 수 있는 기회를 제공할 것임.
- 우리나라는 시차적으로 선진국보다 늦게 도래하는 인프라 투자 및 정비 시점을 앞당김으로써, 선진국에서 현재 겪고 있는 시설 노후화에 따른 각종 문제를 사전에 예방하여야 함.
- 동시에 첨단 기술과 접목한 인프라 투자 사업을 통해 전통적인 방식으로는 여간해서 매울 수 없는 선진국과의 격차를 단숨에 줄여야 함.

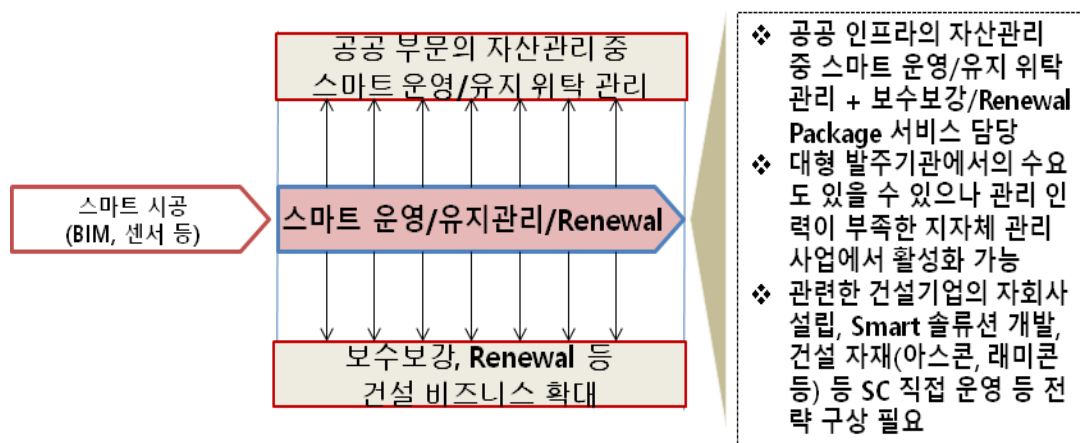
2. 스마트 인프라 추진 전략

- 스마트 인프라는 타 영역과 달리 공공 시설의 건설과 운영 및 유지관리의 스마트화를 도모하는 것으로 다음과 같은 추진 목표가 필요한 것으로 판단됨.
- 스마트 인프라 사업을 통해 첨단 일자리 창출과 실질적인 경제 성장, 생산성 제고를 유도해야 함.
- 스마트 인프라는 완성 시설의 스마트화뿐만 아니라 건설 생산 과정의 스마트화도 수반되어야 함.
- 스마트 인프라는 그동안 단절되어 왔던 건설사업과 완성 시설의 기획~운영/유지 단계의 다양한 기술 및 사업적 융·복합을 유도할 수 있어야 함.
- 스마트 인프라는 특정 첨단 기술의 건설사업 도입에 그치지 않고 건설과 운영 및 유지관리의 다양한 스마트 비즈니스와 연계되어야 하며, 이를 위해서는 공공뿐만 아니라 민간의 창의력과 재원이 필요함.
- 본 연구에서 제안하는 스마트 인프라 세부 추진 전략과 영역별 주요 내용은 다음과 같음.

- 스마트 기술 등 첨단 기술의 즉각적 활용 체계 마련
- 스마트 인프라 추진에 따른 정책/제도/기준 혁신
- 관련 정부 및 산업과 연계/협력/융합
- 사업과 기업 단위의 혁신
- 공급그룹의 혁신 : 기업의 기술 혁신과 새로운 비즈니스 조직 신설

3. 정책 제언과 기업의 대응 방향

- 스마트 인프라를 위한 정책 제언은 다음과 같음.
 - 정책 1 : 스마트 인프라 투자 계획과 국가 인프라 투자 및 관리 기구의 신설
 - 정책 2 : 민간투자 부문은 스마트 비즈니스와 연계하는 구상 필요
 - 정책 3 : 민간투자 유인 및 해외 진출을 위한 선도 스마트 인프라 사업의 발주
 - 정책 4 : 시설 조달 전략의 패러다임 변화
 - 정책 5 : 공공기관 및 지자체 관리 시설에 대한 스마트 인덱스(index) 신설
- 공공 인프라의 스마트화는 건설기업으로 하여금 소프트웨어 기술에 대한 경쟁력을 요구하고 있고 더 나아가 민간투자사업 등에서 기획 및 운영/유지 사업으로까지의 업역 확장을 가능케 할 것으로 예상됨.
- 스마트 인프라 관련 건설기업의 역할 및 대응 방향은 다음 그림과 같이 요약됨.



- 스마트 인프라의 활성화에 대비하기 위해 건설기업은 도급 사업의 범주에서 벗어나 과감한 사업 파이낸싱을 통한 투자, 스마트 기술에 기반한 운영 및 유지관리 역량의 배양, 설계 및 시공의 스마트화 및 지능화가 필요할 것으로 사료됨.

제7장 결론

- 본 연구는 전 세계적으로 경제 성장의 동력이 될 것으로 예상되는 확장적인 인프라 투자 정책에 새로운 부가가치와 유무형의 효과를 부여할 수 있는 스마트 인프라의 필요성과 추진 전략 등을 마련하기 위해 수행되었음.
- 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같음.
 - 그동안 충분하다고 평가받았던 국내 인프라 스톡은 실제 수요를 대표하기에 적절치 않으며, 현재 재정투자 계획 등을 감안해볼 때 인프라의 글로벌 경쟁력 하락은 불가피해 보임.
 - 경제모형 분석을 통해 인프라의 질적 제고는 1인당 국민소득을 증가시키고, 이 증가된 소득의 일정 부분이 다시 민간자본 투자로 이어져 결국 민간투자 스톡이 늘어날 수 있음을 밝혔다.
 - 국내 정책 기조와는 달리 선진국들은 인프라의 양적/질적 투자의 중요성을 인식하고 인프라의 투자 확대 정책을 진행하고 있음.
 - 스마트 인프라의 건설과 운영을 위한 기술 적용은 현재 개발된 개별 기술뿐만 아니라 향후 기술개발 방향을 고려한 선제적이고 융합적인 고려가 필요함. 특히 인프라의 운영 및 유지관리의 스마트화 부문에 다양한 부가가치가 발생될 것으로 예상됨.
 - 스마트 인프라는 우리나라와 선진국 간의 인프라 경쟁력 격차를 넘어설 수 있게 하는 수단으로 이해해야 하며, 본 연구에서는 추진 전략, 정책 제언, 그리고 건설기업의 역할 및 대응 방향을 제시하였음.

1. 연구의 배경 및 목적

최근 선진국은 인프라의 신설 및 재투자를 위한 각종 전략과 정책 등을 마련하고 있다. 물론, 지금까지 선진국의 경우 교통, 도시 및 지역개발, 수자원 등에 대해서 국가 총생산(GDP)의 일정 비율로 투자를 해왔다. 그럼에도 불구하고, 경제회복과 노후 인프라 정비, 새로운 성장 동력 마련 등을 위해 추가적으로 각종 투자계획을 마련하고 이에 따른 집행을 서두르고 있다.

국내 건설산업의 경우에도 미국과 영국의 인프라 투자 확대 정책의 벤치마킹과 사회 안전망 확보를 위한 노후 인프라 투자의 필요성이 강조되고 있다. 특히 미국의 트럼프 정부 출범 이후 발표된 1조 달러 규모의 투자계획은 우리나라의 인프라 재투자와 정비에 대한 논쟁적 이슈를 일으키고 있는 것으로 판단된다.

최근 새롭게 제기되는 논리는 이렇다. 선진국은 장기간의 투자를 통해 구축된 인프라의 노후화와 신설 인프라 확보에 대응하기 위한 투자가 필요한 것이라면, 우리나라의 경우는 압축 성장 시기에 지어진 인프라의 안전과 시설 노후화에 대비한 예방적 투자가 필요하다는 것이다. 특히, 미국과 같은 인프라 경쟁력 하락을 겪지 않기 위해서는 선제적인 투자가 요구됨을 강조하고 있다. 일리 있는 지적이지만 이것만 가지고서는 재정당국의 복잡한 심정을 변화시키기에는 분명히 한계점이 있다. 특히, 우리나라는 인프라 투자에 있어 선진국에 대한 추종 전략을 지금까지 견지하여 왔으며, 이는 선진국과 우리나라의 성장 경로의 격차를 인정하는 것으로 이해된다. 즉, 선진국의 인프라 투자의 휴지기만큼 우리나라 역시 휴지기가 필요하다는 시각이다. 하지만 국가 인프라의 경쟁력 향상이 국가 경쟁력 제고에 미치는 영향을 감안할 때, 추종 전략만으로는 선진국을 추월할 수 있는 기반 마련에 한계가 있다.

양적 중심의 인프라 투자 특성상, 투자 사이클이 종료될 경우 추가적인 투자의 동력과 그 효과를 지속하기는 어려운 것이 사실이다. 더욱이 정보통신혁명을 넘어 4차 산업혁명을 논하고 있는 지금, 콘크리트와 철골 구조물로 대표되는 인프라는 그 실제적인

효과와 상관없이 매력이 없을 수 있다. 인프라 투자의 대표적 장점인 고용 창출 역시 저학력 남성 중심의 기능인력에만 국한되어 부가가치가 높은 인력 수요 창출을 유도하기 어렵다는 점에서 역시 신성장 동력으로서 인식되지 못하고 있다. 해당 투자 프로그램이 종료되면 고용은 다시 낮아질 수밖에 없다. 이와 같은 양적 중심의 인프라 투자 기조의 한계를 감안할 때, 인프라의 질적 제고를 도모할 수 있는 방향으로의 전환이 필요한 시점으로 판단된다.

최근 미국, 영국, 일본 등 선진국은 앞서 언급한 바와 같이 그동안 지지부진했던 인프라 시설 정비(신설 및 성능개선)에 나서고 있다. 최근 우리 정부의 인프라 투자 기조와 달리 인프라 정비를 통해 국가 경제 성장과 미래지향적인 사회적 편의를 도모하고자 하는 움직임으로 해석된다. 새로운 정부가 들어선 미국의 경우, D+ 등급으로 평가된 노후 인프라 시설 정비, 신규 수요에 따른 적극적인 투자 및 재원 확보 계획을 수립하고 있다. 특히 노후 인프라에 대한 투자는 국가와 국민의 사회 안전망 확보에 크게 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 최신 기술과의 융합을 통해 더 높은 생산성과 성장에 기여할 수 있는 방향으로 추진되고 있다.

우리나라 역시 미국 등 선진국들과 마찬가지로 노후 인프라 정비의 중요성이 매우 높아지고 있으며, 인프라 확충에 대한 신수요 또한 높은 실정이다. 하지만 최소한의 물리적 안전과 편의성 확보만을 위한 인프라 투자는 인프라와 국가 경쟁력 향상에 제한적일 수밖에 없다. 또한 우리 건설산업은 정보통신 기술의 적극적 활용과 생산 프로세스의 자동화 측면에서 타 산업에 비해 상당 부분 뒤처져 있음을 감안할 때, 전통적인 건설방식으로는 혁신적인 인프라 투자의 효과를 기대하기 어렵다.

이제 우리 건설은 도시를 포함한 국가의 미래형 인프라, 즉 ‘스마트 인프라’의 추진이 필요한 시점이며, 완성 시설뿐만 아니라 건설 과정의 스마트화를 이루어야 한다. 이를 통해 국민 생활의 불편함을 최소화하고 사용성, 편의성을 극대화할 수 있어야 한다.

이에 본 연구는 전 세계적으로 경제성장의 동력이 될 것으로 예상되는 확장적인 인프라 투자 정책에 새로운 부가가치와 유무형의 효과를 부여할 수 있는 스마트 인프라의 추진 정책과 전략 등을 제안하고자 한다. 특히, 인프라의 질적 제고가 생산성 향상을 비롯한 지속가능한 경제 성장의 축으로 기여할 수 있다는 점을 분명히 밝히고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 미래형 스마트 인프라의 추진 전략을 제안하기 위해 1) 우리나라 인프라 투자 실태와 정책, 2) 인프라의 질적 제고의 필요성 분석, 3) 선진국의 관련 정책 동향, 4) 스마트 기술 동향, 5) 미래형 스마트 인프라 추진 전략을 제안하고자 한다. 장별 주요 연구 내용을 기술하면 다음과 같다(<표 I-1> 참조).

첫째, 국내 인프라(SOC) 투자 실태와 최근 논란이 되고 있는 투자 규모에 대한 적정성에 대해 논의하고자 한다. 그리고 그동안의 인프라 투자가 국가 경쟁력 향상에 얼마나 기여하였는지를 간접적으로 알아보고자 세계경제포럼(World Economic Forum, 이하 WEF)에서 평가한 국내 인프라의 경쟁력 등을 살펴보았다. 이를 통해 인프라 투자에 대한 예산 감소와 질적 하락의 관계를 분석하고, 경쟁력 저하와 관련한 주요 시사점을 도출하였다.

둘째, 새로운 인프라 투자전략 중 하나인 스마트 인프라 구축의 필요성을 경제학적 관점에서 조망하고 이에 따른 정책적 시사점을 도출하였다. 구체적으로 생산성 향상과 경제성장과의 관계, 인프라의 질적 제고를 통한 생산성 향상 효과를 분석하여 새로운 인프라의 질적 제고가 지속가능한 경제성장의 주요 수단이 될 수 있음을 확인하였다.

셋째, 전 세계 인프라 투자와 관련한 양적/질적 변화 양상을 조망하였다. 그리고 주요 선진국(미국, 영국, 독일, 호주, 일본 등)의 인프라 정책을 투자 정책, 장기 계획상의 질적 제고 방향으로 구분하여 살펴보았다. 마지막으로, 조사 국가별 인프라 투자 정책 내용을 우리나라의 정책과 상호 비교를 통해 시사점을 제시하였다.

넷째, 4차 산업혁명을 스마트 기술이 적용된 인프라의 동향을 생산 기술과 상품 등 다양한 관점에서 조사하였다. 그리고 이를 바탕으로 스마트 인프라의 개념과 범위에 대한 주요 시사점을 도출하였다.

다섯째, 스마트 인프라의 투자에 대한 시각 및 투자 필요성을 논의하였다. 그리고 상술한 각종 조사 및 분석을 통한 시사점을 기반으로 우리나라의 스마트 인프라의 추진 전략을 제안하였다. 마지막으로, 정책 및 제도적 개선 방향과 기업의 대응 방향도 함께 제시하였다.

<표 1-1> 연구의 주요 내용과 방법

Chapter	주요 내용	비고
1장 서론	연구 필요성 및 주요 내용	
2장 우리나라 인프라의 투자 실태와 경쟁력 평가	국내 인프라의 투자 실태, 최근 이슈와 비판 WEF의 인프라 경쟁력 평가 고찰 및 시사점	문헌연구
3장 지속가능한 경제성장과 스마트 인프라	인프라의 생산성 향상이 경제 성장에 미치는 영향 인프라의 질적 제고 효과 분석 스마트 인프라 도입 필요성	문헌연구 경제모형
4장 선진국 인프라 추진 정책과 동향	세계 인프라 투자의 양적/질적 수요 조망 미국, 영국, 독일, 호주 일본 등의 인프라 추진 정책 동향 국내 인프라 추진 동향과 비교	문헌연구
5장 스마트 인프라 기술 동향	4차 산업혁명과 스마트 인프라 개념 건설 생산 핵심 기술 동향 새로운 개념의 인프라 상품 동향	문헌연구
6장 인프라의 질적 제고를 위한 스마트 인프라 추진 전략	인프라에 대한 새로운 시각과 투자 필요성 스마트 인프라 추진 전략 정책 제언과 기업 대응 방향	
7장 결론	주요 연구 결과 요약 및 향후 연구 내용	

제 2 장 우리나라 인프라 투자 실태와 경쟁력 평가

본 장에서는 우리나라의 인프라 투자 실태 및 정책 기조를 검토하였다. 그리고 우리나라 인프라에 대한 경쟁력을 WEF 평가 등을 통해 살펴보았다. 이를 통해 우리나라의 인프라 투자 및 계획에 따른 성과와 향후 영향을 확인하고 관련한 시사점을 도출하고자 한다.

1. 공공 인프라 투자 계획과 적정성 논란¹⁾

(1) 공공 인프라 투자 계획

우리 정부는 2016년 23.7조원의 SOC 투자 예산을 2020년까지 18.5조원으로 연평균 6%씩 감축하는 것으로 계획하고 있다(<그림 II-1> 참조). 2016~2020년 국가재정운용계획은 SOC 스톡이 선진국 수준에 도달한 것으로 인식하고 있는 실정이다. 향후 단계적으로 투자를 감축시키면서 꼭 필요한 핵심 사업 위주로 투자하는 등 효율성 제고에 중점을 둘 것임을 밝히고 있다.

2013년에 수립한 2013~2017년 국가재정운용계획의 SOC 예산은 5년 간 24.3조원에서 19.2조원으로 크게 삭감하는 것으로 계획되어 최소 22조~23조원대를 유지했던 이전 정부의 계획보다 크게 축소된 양상을 보였다.²⁾ 2013~2017년 중장기 정책에서 SOC 예산과 산업·중소·에너지 항목은 5년 간 각각 연평균 5.7%, 3.9% 감소하는 계획을 세운 반면, 문화·체육·관광은 이례적으로 5년간 연평균 11.7% 증가하는 계획이 수립되었다.

2013년부터 매년 중장기 계획이 세워질 때마다 SOC 예산은 타 부문에 비해 소외를 받았다. 매년 예산 삭감으로 계획상 5년 후에는 20조원 이하를 기록하도록 수립되었다.

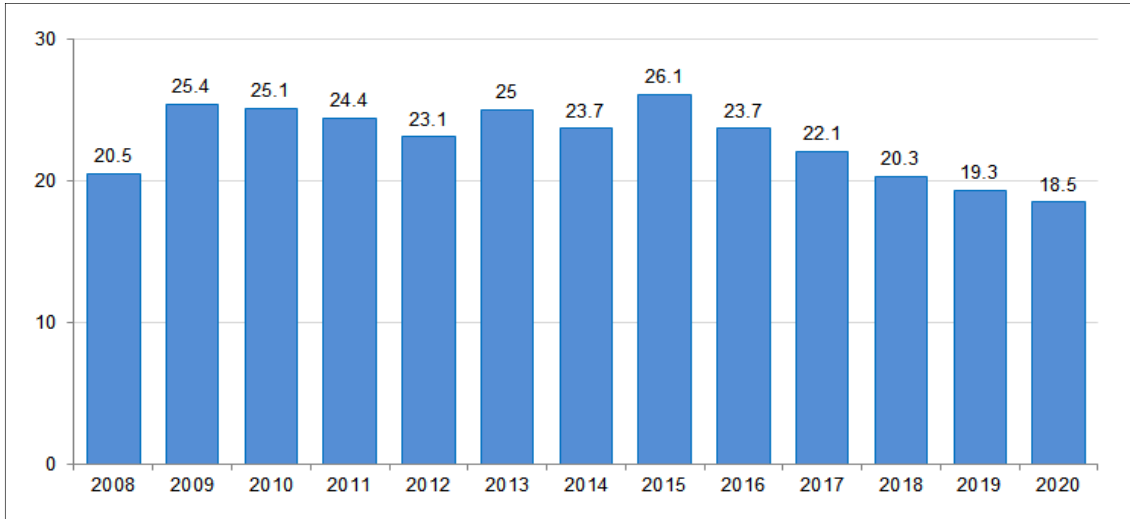
1) 본 절은 다음의 연구 내용을 발췌하여 요약 재구성한 것임.

박수진, 새로운 SOC 패러다임과 투자 전략, 건설이슈포커스, 한국건설산업연구원, 2017. 3.

2) 2013년 이후 실제 투입된 SOC 예산 규모는 추경 등의 이유로 재정 투자 계획상의 SOC 예산보다 높음.

<그림 II-1> 국내 SOC 예산 추이 및 계획

(단위: 조원)



주 : 2011~2017년은 예산(추경포함) 기준, 2018~2020년은 「2016~2020년 국가재정운용계획」 기준.
 자료 : 국회예산정책처(2017), 대한민국 재정 2017 ; 국회예산정책처(2016), 국토교통위원회 재정통계.

중앙 정부의 중장기 인프라 투자 감축 기조는 재정 자립도가 낮은 지자체의 신규 공사 예산 감축도 초래하였다. 중앙 정부 SOC 예산 지출 금액은 계획보다 감소하지 않았더라도, 전반적인 인프라 감축 기조는 다른 발주자들보다 지자체에 더욱 영향을 미친 것으로 판단된다.

(2) 공공 인프라 투자 계획의 적정성 검토 및 논란

정부가 SOC 예산을 줄여나가는 대표적인 근거에는 ‘국토면적당 SOC 연장’이 활용된다. 이에 따르면 G20 국가 중 우리나라는 고속도로 1위, 국도 3위, 철도 6위로 상당히 높은 수준으로 평가된다. 하지만 ‘국토면적당 SOC 연장’ 지표는 혼잡도(인구밀도)와 시설물 성능(노후화 정도를 포함한)을 평가하지 못하므로 SOC 스톡의 충분성을 비교하기 위한 지표로 사용하는 데 한계가 있다. 참고로 우리나라의 ‘국토계수당 도로밀도³⁾’ 순위는 OECD 국가 중 최하위로 상기 평가와는 상반된 결과를 보인다.

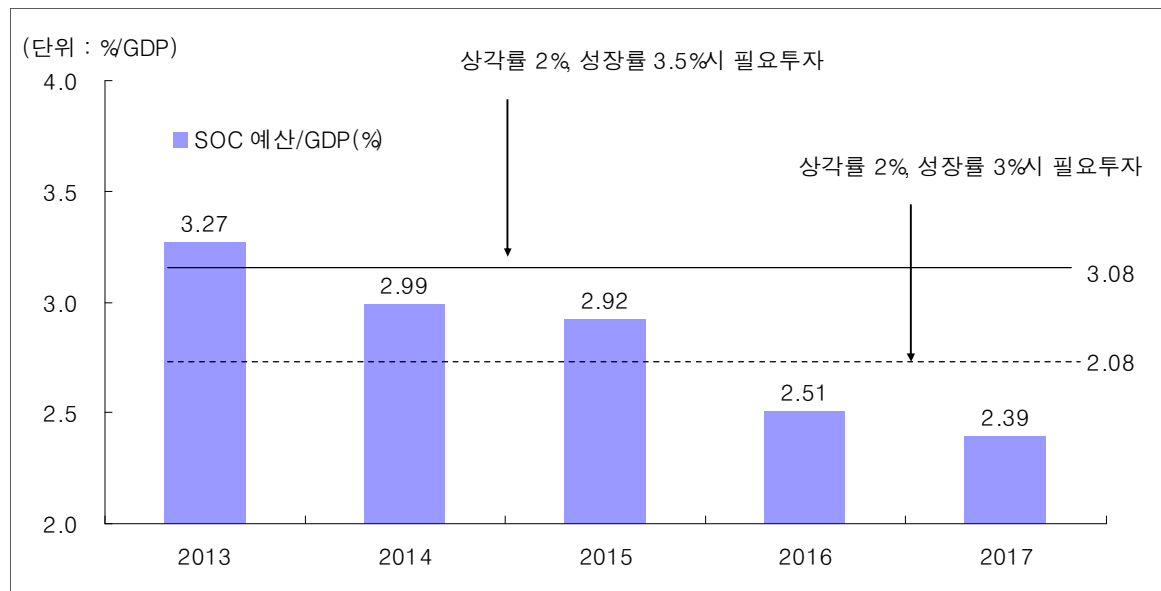
최근 국토연구원이 발간한 연구⁴⁾는 정부가 주로 활용하고 있는 SOC의 양적 수준을

3) 도로 연장(km)을 $\sqrt{\text{인구수} \times \text{국토면적}}$ 으로 나누어서 산출한 지수.

판단하는 근거 지표의 한계점을 지적하고 보다 객관적인 지표의 필요성을 제기한 바 있다. 이러한 지표의 활용은 매우 중요한 것으로 향후 인프라 투자, 즉 SOC 투자의 적정 규모를 산정하는 데 있어 주요 근거가 되기 때문이다. 이렇듯 현재 우리나라의 경우 적정 SOC 규모에 대한 관련 주체간의 논쟁이 발생하고 있는 실정이다.

정부의 SOC 작업반 보고서(2014)에 의하면 2016년과 2017년부터 이미 SOC 투자 규모가 부족할 것으로 예상되는데, 2016~2020년 국가재정운용계획에서는 <그림 II-2>와 같이 투자 예산을 연도별로 감축하는 것으로 계획하고 있기 때문이다. 해당 보고서는 경제성장률 3~3.5%, 감가상각률을 2%로 가정할 경우, 2016년~17년 SOC 예산이 적정 투자 규모에 못 미칠 것으로 분석하였다. 공기업 및 지방정부의 가용재원 감소로 투자액이 감소할 경우 적정 투자 수준을 확보하기 위하여 민간투자사업의 투자비 부담 비중이 높아질 수 있다고 예측하였다. 이와 관련하여 최근 한국건설산업연구원의 연구⁵⁾(2017)는 2016년~20년 기간의 적정 SOC 투자 규모 추정값과 SOC 예산을 비교할 경우 5년 간 총 22.2조~47.2조원 정도가 부족할 것으로 예상하고 있다.

<그림 II-2> 국내 SOC 투자 예산의 적정성 평가(2013~2017년)



자료 : 국가재정운용계획 SOC 작업반, 2014, 그래프로 재구성.

- 4) 이상건, 최재성(2016), 사회간접자본의 한국적 특성을 고려한 투자정책 방향, 국토정책 Brief, 2016. 9.
 5) 박수진, 새로운 SOC 패러다임과 투자 전략, 건설이슈포커스, 한국건설산업연구원, 2017. 3.

최근 전 세계적으로 국가 인프라에 대한 투자는 양적 측면과 질적 측면이 모두 강조되고 있다. 양적 측면에서는 신규 시설뿐만 아니라 노후화된 인프라 정비를 위한 투자가 강조되고 있다. 특히 미국토목학회(ASCE)의 인프라 등급 평가와 정비 소요 예산 추정을 참조할 필요가 있는데, 장기간의 SOC 시설 투자(신설 및 유지보수)의 감소는 미래에 더 큰 리스크를 가져올 수 있음을 시사한다. 질적 측면에서는 4차 산업혁명 등의 첨단 기술 적용과 사회와 경제적 발전에 따른 시설의 성능 제고가 강조되고 있다. 특히 질적 부문의 투자 확대는 양적인 인프라 투자가 가지는 한계점을 해결할 수 있는 중요한 방법으로 이해되고 있다.

2. 우리나라 인프라의 경쟁력 평가

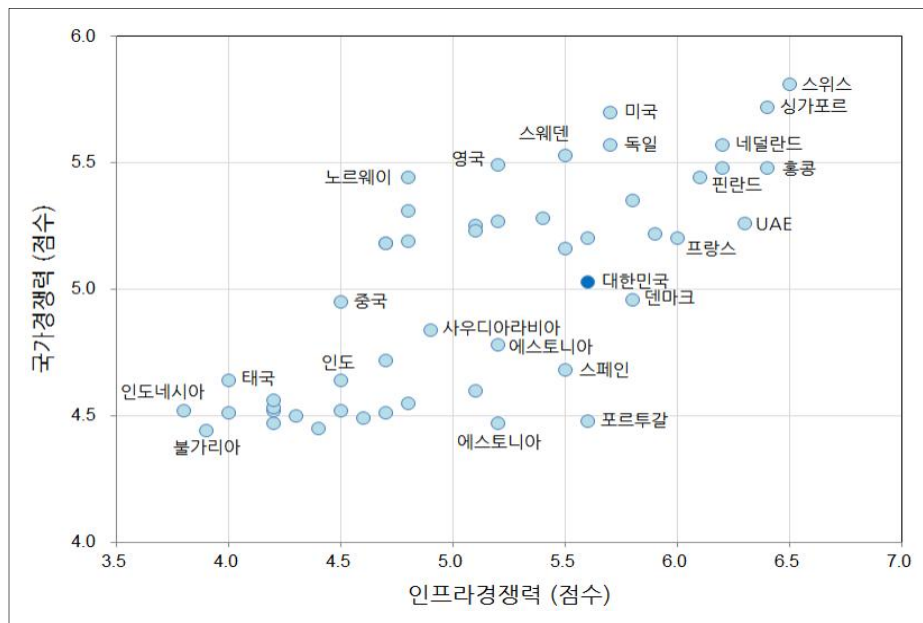
한 국가의 인프라 수준과 품질은 해당 나라의 국가 경쟁력과 높은 관련을 가진다.⁶⁾ 우리나라의 경우에도 인프라 투자는 산업화 시기 이후 지금까지 경제 성장을 견인하는 역할을 해왔으며, 특히 교통 인프라 부문은 생산·고용유발 등 경제 활성화와 고용 안정화, 복지증진에 기여해 왔다. 지난 40년간 국내 인프라 투자 중 가장 많은 부분이 교통 부문에 투입되었으며, 이것이 급속한 경제성장의 뒷받침이 되었음은 부인할 수 없는 사실이다. WEF가 발표한 글로벌 국가 경쟁력 상위 50개국의 인프라 경쟁력 및 국가 경쟁력 점수 분포를 살펴보면 스위스, 싱가포르, 홍콩 등 인프라 경쟁력이 높은 국가들이 국가 경쟁력도 높은 양(+)의 상관관계를 갖는 형태로 나타난다(<그림 II-3> 참조).

최근 WEF가 발간한 글로벌 경쟁력 평가 보고서⁷⁾에서 우리나라의 글로벌 국가 경쟁력은 전체 평가 대상 138개국 중에서 26위, 상세 부문별 경쟁력 중 인프라 경쟁력은 14위로 평가되었다(<그림 II-4> 참조). 인프라 경쟁력 순위는 2010년 12위를 차지한 뒤 2014년 23위까지 하락하였다가 최근 14위까지 상승하였으나, 같은 기간 동안 국가 경쟁력 순위는 26위에 머물고 있다. 한편, 인프라 품질을 나타내는 인프라 경쟁력 지수에서 우리나라는 2011년 이후 5.5점(1-7, 7점 척도) 수준에 머물고 있다.

6) 이상건, 최재성(2016), 사회간접자본의 한국적 특성을 고려한 투자정책 방향, 국토정책 Brief, 2016. 9.

7) Schwab K.(2016), The Global Competitiveness Report 2016-2017, World Economic Forum.

<그림 II-3> WEF 국가 경쟁력 상위 50개국의 국가 경쟁력 · 인프라 경쟁력 분포



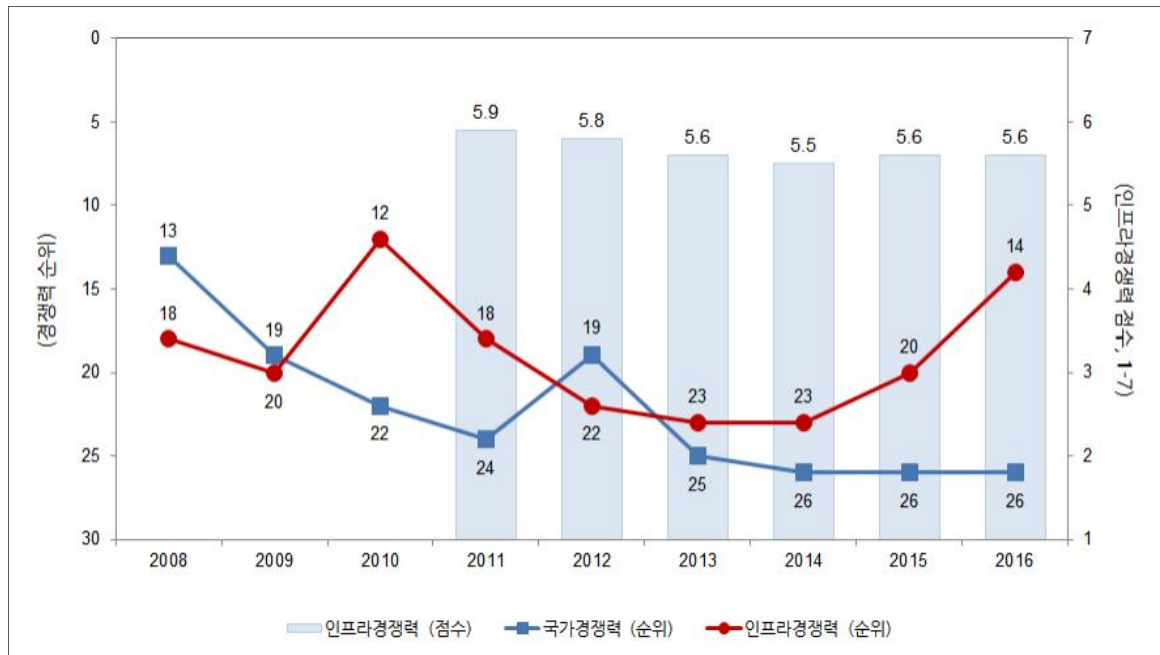
주 : 인프라 경쟁력은 인프라 전반의 품질(quality of overall infrastructure) 점수를 적용함.
 자료 : World Economic Forum(2016), Global Competitiveness Report 2016-2017.

최근 인프라 경쟁력 순위의 상승에도 불구하고 국가 경쟁력이 25~26위에 머물고 있다는 사실은 우리 인프라가 질적인 개선을 이루지 못하고 있으며, 결국 국가 경쟁력 향상에 긍정적 기여 또한 약화되었음을 시사한다.

한편, 인프라 경쟁력을 구성하는 세부 항목⁸⁾의 주요 부문별 순위를 살펴봐도 유사한 결론을 얻을 수 있다. <그림 II-5>에 나타난 주요 인프라의 부문별 품질 순위를 보면 ‘전력 공급’을 제외한 나머지 부문들의 품질 순위는 지난 9년 간 크게 변동하지 않고 있으며, ‘전력 공급’의 품질 순위는 2014년 44위까지 하락하였다가 2016년 29위로 회복하였다. 우리나라의 인프라 중 가장 경쟁력이 높게 평가되는 부문은 철도 인프라로 7~10위 사이를 유지하고 있으며, 이어 도로, 항구·항공 인프라 순으로 경쟁력이 높게 평가받고 있다.

8) WEF의 인프라 경쟁력은 1) 인프라 전반(quality of overall infrastructure), 2) 도로 (quality of roads), 3) 철도 인프라 (quality of railroad infrastructure), 4) 항구 인프라(quality of port infrastructure), 5) 항공 인프라 (quality of air transport infrastructure), 6) 여객기 운송능력(available airline seat kilometers), 7) 전력 공급 (quality of electricity supply), 8) 무선전화 등록 수(mobile-cellular telephone subscriptions), 9) 유선전화 (fixed-telephone lines) 등 9개 부문의 평가를 종합해 인프라 경쟁력을 평가하고 있음.

<그림 II-4> 우리나라의 인프라·국가 경쟁력 평가 추이

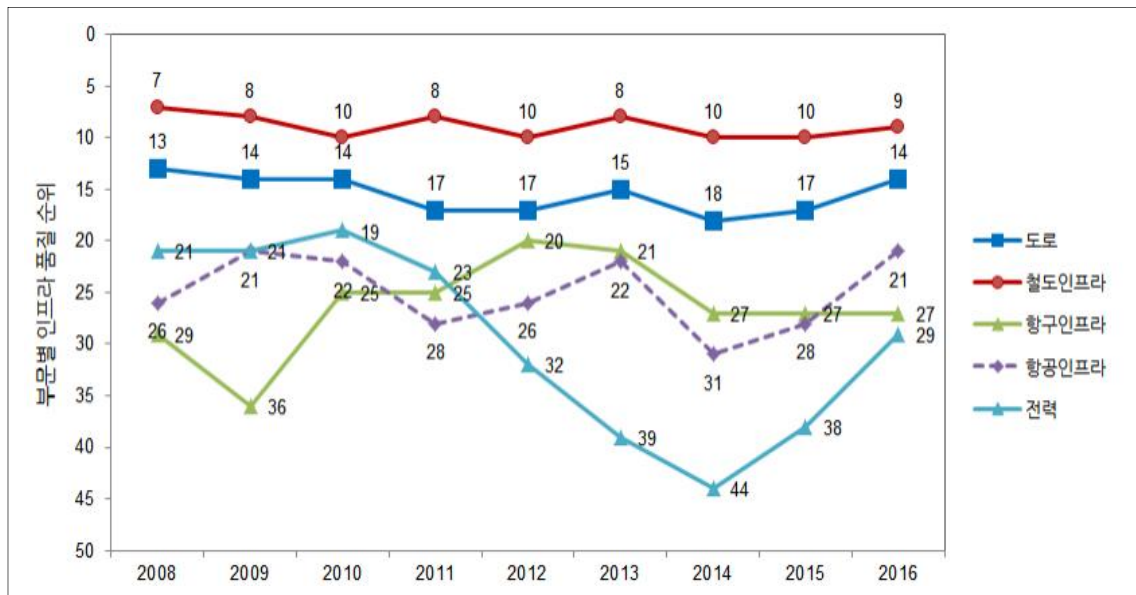


주 : 1) 인프라 경쟁력은 인프라 전반의 품질(quality of overall infrastructure) 점수를 적용함.

2) 2010년 이전의 국가별 인프라 경쟁력 점수는 공개되지 않음.

자료 : World Economic Forum(2007-2016), The Global Competitiveness Report 각 연호.

<그림 II-5> WEF 인프라 주요 부문별 품질 순위



자료 : World Economic Forum (2007-2016), The Global Competitiveness Report 각 연호.

3. 주요 시사점

정부는 인프라 스톡 규모가 선진국 수준에 근접하였음을 근거로 2020년까지 SOC 예산을 연평균 4.9% 감소할 계획을 수립한 바 있다.⁹⁾ 그러나 우리나라의 인프라는 스톡 비교 대상인 선진국 대비 2~3배의 수송부하를 감당하고 있으며, 도로교통혼잡비용이 연간 5.93%의 지속 증가를 보이고 있다. 게다가 우리나라는 통근시간도 OECD 회원국 중 최하위권에 해당되는 등 특성으로 인해 양적인 인프라 스톡 평가를 기준으로 선진국과 비교하는 것은 적절하지 않다(이상건 및 최재성, 2016). 또한 최근의 연구는 우리나라의 물가상승률을 고려한 인프라 재투자 비용만 향후 10년 간 53.4조원이 필요하며, 신설투자과 성능 개량을 고려하면 훨씬 더 많은 투자가 필요할 것으로 예측하고 있다.

따라서 정부는 우리나라의 인프라 특성과 향후 여건 변화, 선진국 수준으로의 수송부하 저감 등 다양한 요소를 고려한 스톡 평가 및 인프라 투자 정책을 수립할 필요가 있으며, 앞서 살펴본 인프라 경쟁력 정체 양상을 감안할 때 인프라의 질적인 향상을 도모할 수 있는 방향으로의 투자가 필요하다. 이러한 고려 없이 수년 내에 우리나라는 인프라 투자 감소와 단기간에 집중 건설된 대규모 인프라의 집중적인 유지보수 수요 급증 현상을 함께 맞이하게 될 것이므로 신규 인프라 개발, 기존 인프라에 대한 재투자 및 개량 등을 기대하기 어려울 전망이다. 이는 결국 인프라 품질 저하로 이어져 국가 경쟁력에도 직간접적으로 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

9) 국회예산정책처(2017), 대한민국 재정, 2017.

제 3 장 | 지속 가능한 경제 성장과 스마트 인프라

우리 경제의 구조적 문제들이 경제 성장의 발목을 잡기 시작했다. 그 결과, 실업률 증가와 저성장의 고착화 등의 문제들이 이미 나타나고 있다. 경제성장률의 추세적 하락이 진행되면서 성장 동력 약화에 대한 우려가 커지고 있다. 이러한 상황에서 지속 가능한 경제성장률 제고를 위해 새로운 인프라 투자 전략이 절실히 요구되고 있다. 본 장에서는 지속가능한 경제성장을 위한 인프라의 질적 제고와 스마트 인프라 추진의 전략적 필요성을 검토하고 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

1. 인프라의 생산성 향상이 경제성장에 미치는 영향

(1) 총요소생산성(TFP)과 경제성장률의 관계

경제성장의 요인은 일반적으로 노동, 자본 등 투입 요소의 양적 증가에 의한 경우와 생산성 증가에 의한 경우로 구분할 수 있다. 특히, 각 투입 요소와 더불어 생산성이 성장에서 차지하는 비중을 측정하는 것은 경제성장의 질과 지속 가능성을 짐작할 수 있는 지표이므로 중요한 의미를 가진다. 총요소생산성(Total Factor Productivity, TFP)이 경제성장 요소 중 하나의 개념으로 정립되고 측정되기 시작한 것은 Solow(1957), Kendrick(1961)의 논문 및 저서가 발표된 이후이다. 1960년대에 들어서 Denison(1962, 1967)은 미국과 서유럽 국가들의 총요소생산성을 측정하며 있으며, Jorgenson 등도 총요소생산성 측정 방법의 개선과 응용에 공헌하였다. 1990년대 이전 우리나라를 포함한 동아시아 국가의 급속한 경제 발전 요인을 분석한 Young(1995), Krugman(1994), Kim and Lau(1994) 등은 동아시아 국가들의 고도성장이 생산성 증가보다는 주로 요소 투입 증가에 의존한 것으로 분석하고, 요소 투입에는 한계생산물 체감의 법칙이 작용하므로 요소 의존형 발전이 지속 가능하지 않을 것으로 예견한 바 있다(<표 III-1> 참조).

<표 III-1> 총요소생산성의 개념과 측정

총요소생산성의 개념은 노동, 자본, 에너지, 등 총 요소투입량 단위당 초과 산출량의 변화율을 의미한다. 이는 한 국가경제가 가지는 생산 활동의 효율성 및 생산성, 경제 시스템의 질적 수준을 가늠하는 척도로 여기지기도 한다. 이를 측정하기 위한 방법으로 성장방정식(Growth Accounting)을 사용하는데, 어느 국가의 경제성장률에 기여하는 요소를 노동, 자본, 에너지 등 증가율에 각국의 고유한 가중평균 비율이 작용한다고 가정하고 있으며, 이때 수식에서 설명되지 않는 잔차항¹⁰⁾을 총요소생산성이라고 해석한다. 총요소생산성에 대한 기본적인 논의는 (1)과 같은 콥-더글러스 생산함수의 가정으로부터 시작한다. Y_t 는 t 기의 총생산, A_t 는 기술진보를 포함한 총요소생산성, K_t 는 t 기 자본투입, L_t 는 t 기 노동투입량을 의미하며, α 는 자본의 한계생산을 의미한다.

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{(1-\alpha)} \quad (1)$$

식 (1)의 양 변에 로그를 취하고 t 기와 $(t-1)$ 기의 1차 차분을 하면 다음과 같은 산식이 만들어진다.

$$\ln Y_t - \ln Y_{t-1} = \ln A_t - \ln A_{t-1} + \alpha(\ln K_t - \ln K_{t-1}) + (1-\alpha)(\ln L_t - \ln L_{t-1}) \quad (2)$$

위의 식(2)를 현실에 적용하면 다음 (3)과 같이 해석될 수 있다. 식 (2)에서 왼쪽 항은 소득(GDP)의 증가율과 유사한 개념이다. 오른쪽 두 번째 항의 K 의 변화율은 자본투입량의 변화율과 유사한 개념이며, 오른쪽 세 번째 항의 L 의 변화율은 노동투입량의 변화율과 유사한 개념이다. 이들은 아래 식 (3)에서 각각 'Capgrowth'와 'Laborgrowth'로 표현되었다.

$$GDP\ growth = TEP\ growth + S_K \times Capgrowth + (1 - S_K) \times Labor\ growth \quad (3)$$

↓	↓	↓
(Real value added growth)	(Capal share of income)	(Labor share of income)

마지막으로, 우리가 측정하고자 하는 목표인 총요소생산성의 경제 성장 기여도는 식 (2)에서 $(\ln A_t - \ln A_{t-1})$ 로 표현되는 A 의 변화율을 의미한다. 하지만 이것은 직접 관찰하는 것이 불가능하므로 경제성장률에 대한 자본과 노동의 증가율의 상관계수를 추정하고, 결과적으로 나타나는 '잔차'로써 다음 (4)와 같이 추정한다.

$$TFP\ growth (\epsilon_t) = GDP\ growth - S_K * Capgrowth - S_L * Labor\ growth \quad (4)$$

우리나라의 총요소생산성의 최근 국제 비교 연구들로는 국회예산정책처(2013)¹¹⁾ 보고서, 한국생산성본부(2010, 2015)¹²⁾, 현대경제연구원(2013)¹³⁾ 보고서 등이 있다. 국회예

10) 이를 Solow Residual이라고 부른다.

11) 국회예산정책처(2013), 총요소생산성 추이와 성장률 변화요인 분석.

12) 한국생산성본부(2010), 생산성의 경제성장 기여도 둔화와 요소투입 의존 성장 지속 ; 한국생산성본부(2015), 총요소생산성 국제비교.

13) 현대경제연구원(2013), 총요소생산성 영향 요인의 국제 비교.

산정책처(2013) 보고서에 의하면 한국의 성장 요인 중 총요소생산성이 경제성장에 기여한 비중이 1970년대 약 10%였으나 1980년대 4%, 1990년대 8%를 기록하고 2000년대에는 2%까지 낮아진 것으로 추정하고 있다(<표 III-2> 참조).

<표 III-2> 한국 전체 산업의 성장 요인 분해

구분	1971~80	1981~90	1991~00	2001~10
Y(총소득)	8.5	9.3	6.0	3.8
L(노동)	2.4(0.28)	2.2(0.24)	1.3(0.22)	1.4(0.37)
K(자본)	5.3(0.62)	6.7(0.72)	4.2(0.70)	2.3(0.61)
TFP(총요소생산성)	0.9(0.10)	0.4(0.04)	0.5(0.08)	0.1(0.02)

자료 : 국회예산정책처(2013).

현대경제연구원(2013) 보고서는 한국 생산성본부 보고서(2012)와 EU KLEMS 보고서들을 바탕으로 하여 KLEMS 방식으로 재추정함으로써 비교 가능성을 높였다.

<표 III-3> 최근 TFP 연구 결과 비교

(단위 : %)

변수	기간	한국	미국	독일	일본
TFP 증가율	1981~90년	0.13	0.21	0.54	0.54
	1991~2000년	0.33	0.34	0.45	-0.15
	2001~05년	0.31	0.91	0.19	0.08
	전체 기간	0.25	0.40	0.43	0.17
TFP 경제성장 기여율 (경제성장률 =100)	1981~90년	1.32	8.41	27.28	12.86
	1991~2000년	4.85	9.70	17.06	-12.65
	2001~05년	5.70	51.10	24.37	8.93
	전체 기간	3.15	14.58	21.65	7.39

- 주 : 1) 한국생산성본부와 EU KLEMS의 연구에서 전 산업에 대하여 자본, 노동, 에너지, 원재료, 서비스를 포함하는 생산함수를 가정한다(KLEMS 방식).
- 2) EU KLEMS는 1970년부터 2005년까지 25개의 유럽연합 국가들과 한국, 미국, 일본, 캐나다, 호주의 총요소생산성 관련 데이터를 제공하고 있고, 한국의 2010년 추정 값은 EU KLEMS와 동일한 방법으로 계산된 한국생산성본부의 KIP DB(Korea Industrial Productivity Database)를 이용해 구해진 수치이다.
- 3) 위 결과는 전산업에 대한 결과이며, 한국생산성본부와 EU KLEMS의 분석에는 산업별, 업종별 TFP가 포함되어 있다.
- 4) 한편 한국의 2001~2010년 TFP 증가율은 0.13% 경제성장 기여율은 2.55%로 추정되어 2005년 이후에 급격히 낮아진 것으로 추론 가능하다.

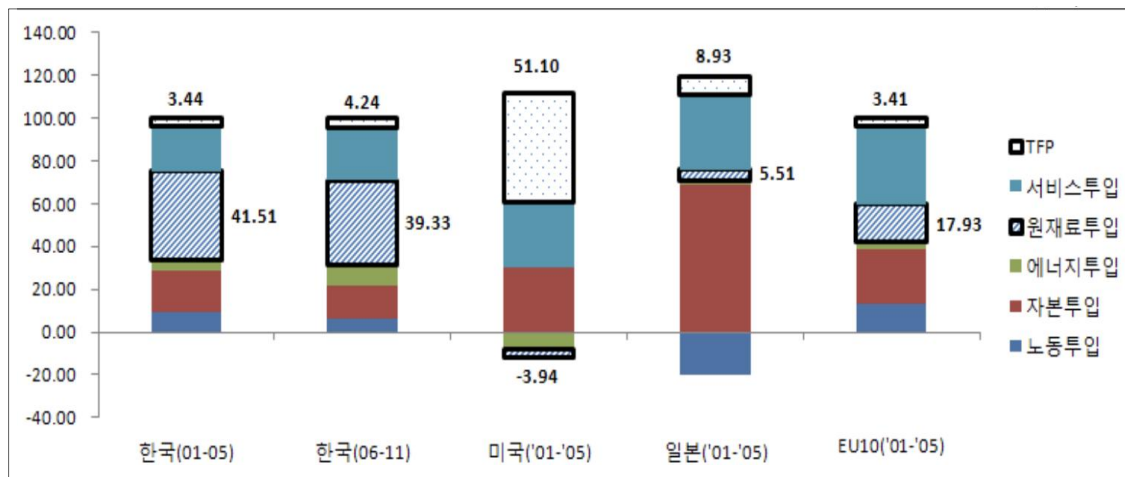
자료 : 현대경제연구원(2013).

<표 III-3>에서 총요소생산성의 경제성장 기여율을 살펴보면, 우리의 경제성장에서 총요소생산성의 역할 비중이 비교 대상국들보다 매우 작았다는 것을 알 수 있다. 1981~2005년 중 우리 총요소생산성의 경제성장 기여율은 3.15%로 미국(14.58%), 독일(21.65%), 일본(7.39%)에 비해 크게 낮았으며, 2001~2005년 기간을 비교하더라도 한국은 5.7%로 미국, 독일 그리고 일본에 비해 낮은 수치를 기록하였다.

또한 총요소생산성 증가율은 <표 III-3>에서 1991~2000년 연평균 0.33%를 기록한 것에 비해 <표 III-2>에서 2001~2010년에는 연평균 0.1%로 1990년대에 비해 크게 낮아진 것으로 나타났다. 국가별로 1990년대와 2000년대의 총요소생산성 증가율의 변화를 살펴보면, 독일은 한국과 비슷하게 총요소생산성 증가율이 둔화되는 모습을 보이며, 일본은 1990년대에 총요소생산성 증가율이 음의 값까지 떨어졌다가 2000년대 양의 값으로 회복하는 모습을 보인다. 총요소생산성 수준이 높아지면 일반적으로 증가율이 둔화되지만, 독일 및 일본과 비슷한 수준까지 다다르지도 못한 상황에서 비슷한 수준의 증가율을 보이는 것은 상대적으로 우리 총요소생산성의 증가율 둔화 속도가 빠름을 의미한다.

<그림 III-1> 국가별 전 산업 총요소생산성의 경제성장 기여도(2001~2005년)

(단위 : %)



주 : 경제성장 기여도(총산출 기여율) = TFP 및 요소투입증가율/총산출증가율 X 100.

자료 : 한국생산성본부(2013).

산업통상자원부와 한국생산성본부가 2010년 발표한 국제비교 결과를 보아도 2001년에서 2005년 기간¹⁴⁾ 동안 총요소생산성 증가가 각국의 경제성장에 미친 기여도는 한국

(3.44%), 미국(51.10%), 일본(8.93%), EU10(3.41%)으로, 한국이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이 보고서에서도 한국의 경제성장 원천이 생산성이 아니라 요소투입에 의존하는 패턴을 유지하는 것으로 기술하고 있다. 위 결과들을 종합하여 보면, 총요소생산성 증가율과 경제성장기여율 수준을 통해 한국이 과거부터 현재까지 경제의 효율성 제고(질적 성장)보다는 생산요소의 투입의 양을 바탕으로 한 성장(양적 성장)을 지속하고 있다는 결론을 얻을 수 있다.

그렇다면 총요소생산성의 증가는 ‘지속가능한’ 경제성장을 증대로 이어질 수 있는가? 라는 질문에는 Solow의 경제성장이론을 통해 직관적으로 설명할 수 있다. 장기 균형 상태에서 1인당 소득의 증가율은 기술진보와 효율성 증대와 같은 요인에 의하여 지속적으로 달성될 수 있다. 여기서 ‘지속적으로’라는 부분이 중요한데, 경제성장의 초창기에는 한계수확체감의 법칙이 크게 작용하지 않으므로 자본 또는 노동의 투입량을 늘리는 방식(규모의 경제 달성)으로 1인당 소득 성장이 가능하다. 하지만 경제 규모와 소득 수준이 성숙단계에 접어들면 점점 이러한 효과가 사라지면서¹⁴⁾ 1인당 소득 성장률이 둔화된다. 이 단계부터는 결국 기술 진보를 포함한 요소생산성의 성장률이 경제성장을 견인하게 되는 것이다.

기술진보를 포함하는 요소생산성의 성장은 자본이나 노동과 같은 물리적인 제약이 있는 것도 아니며, 한계수확체감의 법칙을 따르지도 않으므로 지속적인 경제성장을 가능하게 할 수 있다. 여기서 더 주목할 점은 ‘자본의 산출탄력성’이다. 이는 ‘1인당 소득 증가율’과 정(+)의 관계에 있다. 예를 들면, 같은 숙련도를 가진 2명의 노무자가 동일하게 1시간씩 노동을 더 투입한다고 하더라도 생산성이 좋은 자본재를 사용하는 쪽에서 1인당 소득증가율이 더 높게 증가하는 것과 같은 것이다. 인프라도 자본재 중의 하나로 이의 산출탄력성은 경제성장률에 직간접적으로 영향을 끼친다. 따라서 인프라 투자의 효율성을 증가시켜서 산출탄력성을 높일 수 있다면 (1인당) 경제성장률을 증가시킬 수 있다. 동시에, 효율적인 인프라 투자로 인하여 유발되는 제조업과 서비스업의 생산성 증가는 ‘요소생산성 성장’의 일부를 구성하여 지속적인 경제성장률 개선에 간접적으로 기여하게 될 것이다.

14) 본 보고서는 2006년부터 2009년의 기간에 대한 분석 자료도 제공하고 있으나, 이는 글로벌 경제위기가 있던 기간이므로 정상적인 경제 상태에서의 생산성 비교를 위한 목적에 부적합하여 제외하였다.

15) Solow 성장모형에서는 이 상태가 결국 균제상태를 의미한다.

<표 III-4> 총요소생산성 및 자본의 산출탄력성이 경제성장률에 미치는 영향

총요소생산성의 증가가 경제성장을 증가에 기여할 수 있다는 것은 Solow의 경제성장이론을 통해 설명할 수 있다. 이를 위하여 콥-더글러스 생산함수를 다음 (5)와 같이 가정한다.

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (5)$$

(Y_t = t기의 총생산, A_t = 기술진보를 포함한 t기의 총요소생산성, K_t = t기의 자본투입량, L_t = t기의 노동투입량, α =자본의 한계생산성)

‘표 III-1>총요소생산성의 개념과 측정’의 식 (2)와 같이 양변에 자연로그를 씌우고 1개 연도를 차분한 후 각 항을 소득성장률(G_t^Y), 요소생산성 성장률(G_t^A), 자본투입 성장률(G_t^K) 노동투입 성장률(G_t^L)로 각각 나타내면 다음 (6)와 같다.

$$G_t^Y = G_t^A + \alpha G_t^K + (1-\alpha)G_t^L \quad (6)$$

논의의 편의를 위하여 요소생산성 성장률(G_t^A)을 ‘g’, 노동투입 성장률(G_t^L)을 ‘n’으로 표현하면 다음 (7)과 같은 식을 얻게 된다.

$$G_t^Y = g + \alpha G_t^K + (1-\alpha)n \quad (7)$$

식 (7)에서 αG_t^K 을 왼쪽으로 옮기면 다음 식 (8)을 얻게 된다.

$$G_t^Y - \alpha G_t^K = g + (1-\alpha)n \quad (8)$$

한편, Solow의 성장모형에 의하면 경제가 소비를 최적화 하는 균형상태에 다다르면 자본투자와 소득의 관계는 $\frac{K_t}{Y_t} = \frac{s}{\delta}$ 으로 수렴된다¹⁶⁾(s = 경제성장률을 감안한 저축률, δ = 감가상각률).

따라서 결국 $G_t^Y = G_t^K$ 가 되고, 위의 식 (8)은 다음 (9)와 같이 변형된다.

$$G_t^Y = \frac{g}{1-\alpha} + n \quad (9)$$

우측의 n을 왼쪽 항으로 넘기면 최종적으로 식 (10)을 얻게 된다.

$$G_t^Y - n = \frac{g}{1-\alpha} \quad (10)$$

식 (10)이 의미하는 바는 명확하다. 왼쪽항의 ($G_t^Y - n$)은 경제성장률에서 인구증가율을 뺀 것이므로 인구 단위당 경제성장률 (즉, 1인당 소득증가율)의 개념과 유사하다. 오른쪽 항 ‘g’는 앞에서 ‘요소생산성(TFP)의 성장률(G_t^A)’로 정의한 바 있다. 따라서 경제가 균형상태(steady state)에 다다른 경우 1인당 소득증가율($G_t^Y - n$)은 결국 ‘요소생산성의 성장률(g)’ 및 ‘자본의 산출탄력성(α)’에 직접적으로 좌우된다는 결론을 얻을 수 있다.

16) 자본스톡 K의 변동은 $\Delta K_t = s Y_t - \delta K_{t-1}$ 과 같이 표현할 수 있다. 이때 자본스톡 K의 수준이 균형상태 K^* 보다 작을 경우는 $s Y_t > \delta K_{t-1}$ 이므로 K가 증가되고, 반대로 $s Y_t < \delta K_{t-1}$ 이면 K가 감소된다. 따라서 양쪽 모두 균형상태인 $K=K^*$ 로 수렴하게 되고, 이때 $\Delta K_t = 0$ 이므로 $\frac{K_t}{Y_t} = \frac{s}{\delta}$ 가 된다.

(2) 인프라 투자의 총요소생산성 제고 효과

경제성장률을 지속적으로 유지하기 위한 인프라 투자 전략을 논의하기 위해서는 인프라에 대한 투자가 총요소생산성에 어떤 영향을 미치는지와 더불어 그 영향의 경로가 무엇인지를 조금 더 면밀하게 검토해볼 필요가 있다. 2016년에 발행된 미국 대통령 경제자문위원회 보고서¹⁷⁾는 인프라에 대한 투자가 총생산을 증대시키는 경로를 구체적으로 다음과 같이 제시하고 있다.

- 민간부문이 규모의 경제를 달성할 수 있게 만들어주고, 투자비용을 줄여주어 생산량을 증가시키게 만들어준다.
- 기업과 가계의 운송비용을 줄여주고, 저장과 운송수단의 유지비용을 감소시킨다.
- 동일한 자본투자금액에 대한 생산성을 높여준다.
- 노동력의 접근성을 높여주어, 노동시장의 유연성을 증대시킨다.

이 보고서는 인프라 투자가 경제성장에 미치는 영향을 구체적으로 제시하고 있다. 효율적으로 투자된 인프라는 총요소생산성을 증가시킴으로써 장기적인 경제성장을 뒷받침 한다는 것이 이 보고서의 결론이다. 단기적인 투자효과는 재정승수효과(Multiplier Effect)를 제시하고 있다. 이는 1원의 재정투자를 했을 때 단기적으로(건설로 인하여) 몇 배의 산출이 증가될 수 있는지를 측정하는 것으로, Bureau of Economic Analysis(2007) 자료를 바탕으로, 도로 등 교통시설은 2.0배, 전기 통신시설 1.8배, 환경과 수자원시설 1.6배의 효과가 있다고 제시하였다. 더 중요한 효과로, 인프라 투자가 장기적인 총 산출 증대에 얼마나 영향을 미쳤는지를 <그림 III-2>와 같이 제시하고 있다.

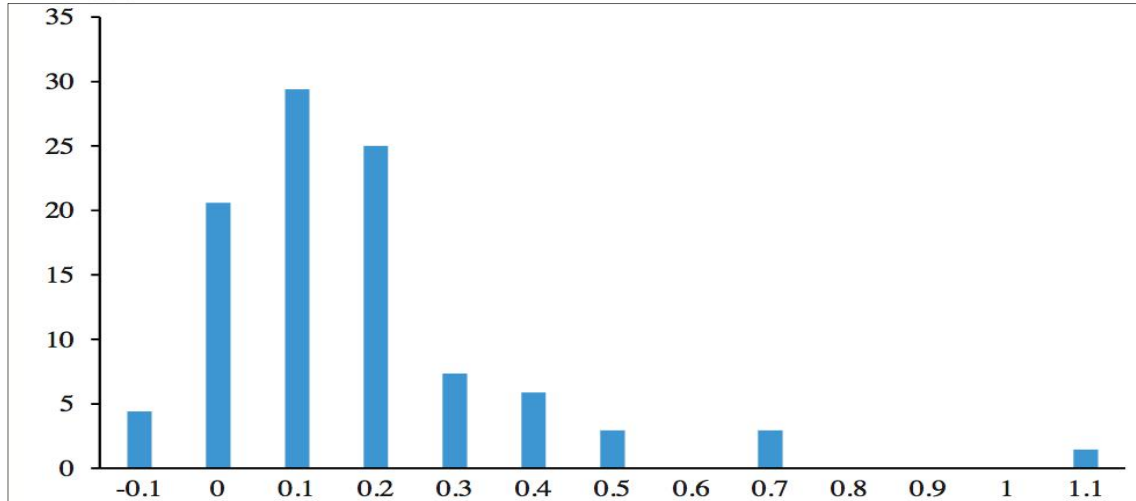
Auchauer(1989)가 미국의 공공부문 투자의 산출탄력성을 0.39로 추정한 이후 여러 연구 결과들이 발표되었는데, 추정결과의 분포는 (-)0.14로부터 1.14 까지 다양하다고 제시하였다.¹⁸⁾ 대다수의 연구보고서들의 추정치는 <그림 III-2>와 같이 0.1~0.2 사이의 범위에 있다는 내용을 근거로 제시하였다.

17) White House Council of Economic Advisers(2016), Economic Report of the President.

18) 추정치에 차이가 많이 발생하는 이유는 추정 대상 기간과 범위에 기인한다. 인프라 투자는 자본재이므로 그 효과가 발생하는 기간이 장기간이다. 따라서 연구 대상의 기간이 길수록 그 효과가 크게 나타나는 경향을 보인다. 또한 인프라는 여러 지역을 연결하는 속성을 가지므로 그 효과가 광범위하게 퍼지는 경향이 있다. 따라서 좁은 지역 범위에 대한 추정치보다 전국 단위의 추정치가 더 큰 값을 제시하는 경향이 있다.

<그림 III-2> 미국 공공부문 투자의 산출탄력성 추정 연구결과 분포

(단위 : %)



Note : Values on the horizontal axis represent medians of 0.1 percentage point bins. The mean output elasticity of public capital is used from 68 unique papers. Each analysis included incorporates a production function approach that results in a single output elasticity and assesses the capital stock using some measure of public output.

자료 : Bom and Ligthart(2014) ; 미국 경제자문회의 보고서(2016)에서 재인용.

세계은행(2008)¹⁹⁾은 인프라에 대한 투자가 경제성장에 미치는 영향을 연구한 일련의 보고서를 바탕으로 문헌조사를 수행하였다. 이 연구에서 제시하는 인프라 투자의 경제성장 효과도 미국 경제자문회의가 제시하는 내용과 유사점이 많다. 예를 들어서 정부가 도로 및 전기 등 인프라를 제공하면 기존에 공장을 세울 수 없었던 곳에 산업단지가 입주할 수도 있고, 신규 고속도로는 운송시간을 감소시켜 민간부문 자본투자의 생산성 향상을 가져올 수도 있다는 것 등을 사례로 제시하였다. 이 외에도 간접효과로 운용비(민간의 교통시설과 투자 대상 공공 시설물) 절감 효과, 산업의 비용 절감 효과, 노동생산성 증대 효과, 인적자원 개발 효과, 규모와 범위의 경제 달성 효과 등을 예시하고 있다. 세계은행 보고서도 효율적인 인프라 투자는 총요소생산성을 증대시켜서 지속적인 경제성장을 달성할 수 있도록 하는데 중요한 역할을 한다고 언급한다.

생산함수를 바탕으로 하여 인프라 투자가 총요소생산성에 미치는 효과를 연구한 국내의 연구들도 있다. 박철수 등(1994)의 연구는 1970~92년 기간 중에 인프라 투자가 제조업의 총요소생산성에 미치는 영향(인프라의 총 요소생산 탄력성)을 0.58로 추정하였

19) WBG (2009), Infrastructure and Growth in Developing Countries, (Policy Working Paper 4460).

다. 김상호 등(1997)도 인프라를 생산함수에 포함하여 탄력성을 분석하였는데, 그 결과는 0.512로 추정되었다. 강대창(2006)은 한국 공공자본의 총 요소생산에 대한 탄력성을 0.2~0.23으로 추정하였다. 이 결과들을 종합하여 보면 인프라에 대한 투자가 우리나라의 총요소생산성에 상당히 긍정적인 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다.

KDI²⁰⁾는 마이크로 수준의 기업데이터와 광공업 통계 자료를 바탕으로 교통인프라가 제조업 생산성에 미치는 영향을 구체적으로 측정하였다. 2001년까지 전 구간이 단계적으로 개통된 서해안고속도로가 1997~2003년 기간 동안 주변 제조업체의 총요소생산성 증가율에 미친 영향을 계량적으로 측정하였다. 그 결과 서해안고속도로 IC로부터의 거리 변수는 모든 제조업체의 생산성 증가율과 부(-)의 효과를 가지는 것으로 나타났다. 이는 신규로 개통된 고속도로에의 접근성이 제조기업들의 생산성 증가에 기여했다는 것을 의미한다. 특히, 신규로 입지한 제조업체들의 경우 그 효과가 50% 정도 크게 나타났다. 하지만, 이러한 생산성 증가효과는 3년 정도 후에는 급속히 감소되는 것으로 조사되었는데, 이 보고서는 그 원인을 개통 후 3년이 경과하면 당해 고속도로가 다시 혼잡해 지므로 산출탄력성 증가 효과가 다시 상쇄되기 때문인 것으로 해석하였다.

이상 논의 내용들을 종합하면, 인프라에 대한 투자는 총요소생산성을 증가시키고 지속적인 경제성장을 제고에 기여할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 하지만, 그 효과는 기간 및 지역에 따라 상이하다. 특히, KDI 보고서에서 언급된 바와 같이 인프라의 공급보다 교통수요가 더 크게 증가하는 경우에는 다시 혼잡도가 증가하여 인프라 시설의 효율성이 떨어지고, 총요소생산성에 미치는 영향이 다시 감소되는 것을 볼 수 있다. 추가적으로, 비효율적인 인프라 투자는 총요소생산성 증가에 그다지 기여하지 못할 수도 있다는 것도 미루어 짐작할 수 있다.²¹⁾

20) 김형태 및 안상훈(2013), 교통인프라 투자가 제조업체 생산성에 미치는 영향, 정책연구 시리즈 2013-17, 한국개발연구원.

21) 수요가 없는 곳에 투자하거나, 투자를 했는데 제 기능을 발휘하지 못하여 투자 효과가 없는 경우를 의미한다. 구체적인 효과는 다음 절에서 논의한다.

2. 인프라의 질적 제고와 스마트 인프라 도입의 필요성

(1) 인프라의 현황과 효율성

경제가 성장할수록 인프라에 대한 투자도 한계생산성 체감의 법칙이 작용하므로 생산성에 기여하는 크기도 줄어드는 것이 일반적이다. 하지만 민간부문과 비교하여 탄력도 감소가 너무 빠르거나, 탄력도 자체가 낮은 수준이라면 인프라에 대한 투자가 비효율적이거나 투자 정책에 변화를 주어야 한다는 의미로 볼 수 있다. 따라서 우리나라 인프라 투자의 방향을 논의하기 위해서는 시계열에 따라 인프라의 생산성이 어떻게 변화되고 있는지를 확인할 필요가 있다.

1970~90년대 기간을 대상으로 한 연구들을 종합해보면 우리나라 인프라 투자의 총요소생산성에 대한 탄력성은 0.58에서 0.2의 범위로 추정되어 상당히 경쟁력 있는 수준을 보여 왔다. 하지만, 시간이 경과할수록 인프라 투자가 생산성에 기여하는 크기가 감소하고 있는 것으로 나타났다.

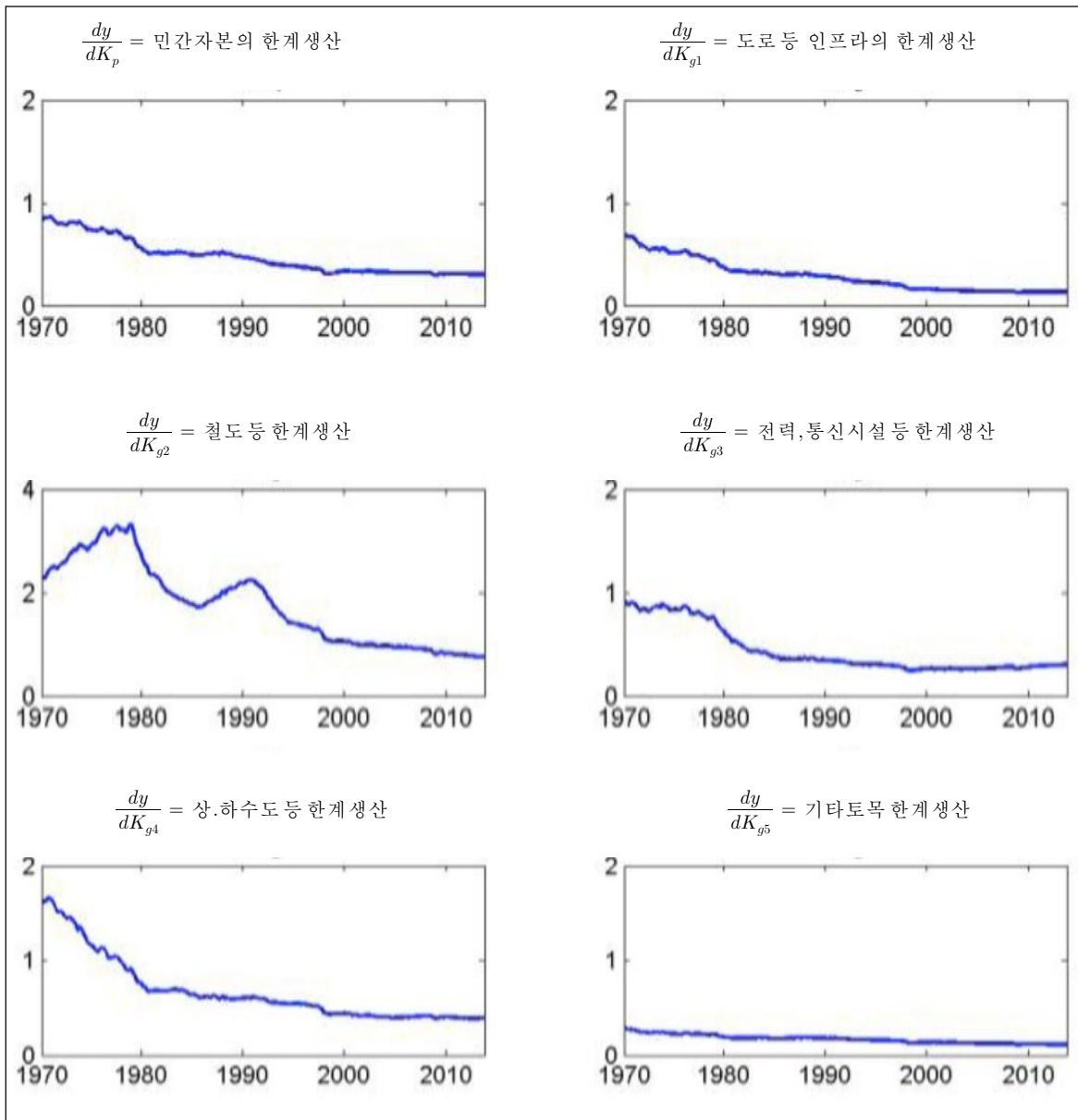
우리나라 인프라의 한계생산성에 대한 가장 최근 연구는 송준혁(2016)²²⁾이다. 특히, 이 연구는 SOC 자본의 국내총생산에 대한 탄력성의 변화를 시계열로 연구하여 우리 인프라가 경제성장률에 기여하는 정도가 어떻게 변화되었는지에 대한 추세를 분석하였다.

추정 결과를 살펴보면, 민간자본의 한계생산성은 1970년도 0.93에서 2013년 0.32까지 감소한 것으로 나타났다. 이는 앞 절에서 논의한 우리 경제의 총요소생산성 감소와 그 맥락을 같이한다. 도로·항만·공항(k_{g1}) 분야는 1970년도에 0.8이었던 한계생산이 1980년도에 약 0.5, 2013년도에는 약 0.15로 하락한 것으로 추정되었다. 철도부문(k_{g2})의 경우 1970년도에 약 3으로 추정된 한계생산이 2013년에 1 수준을 보였다. 철도부문의 경우 하락의 속도는 빠르지만 타 자본스톡에 비해 상대적으로 여전히 높은 수준의 한계생산을 보이고 있는 것으로 판단된다. 전력 및 통신(k_{g3})의 경우 1970년도에 0.8 수준이었던 한계생산이 2013년도에는 0.26 수준인 것으로 추정되었고, 수자원 및 상하수도(k_{g4})의 한계생산은 1970년도에 1.9였는데 2013년도에는 0.47 수준이 된 것으로 추정되었다. 이상 결과를 종합하면 모든 SOC 분야에서 2013년도에는 시설 유형별로 한계생산이 1970

22) 송준혁(2016), SOC 자본의 부문별 한계생산성 추정, 경제연구.

년의 1/3~1/6 수준까지 지속적으로 하락했음을 알 수 있다. <그림 III-3>은 우리 민간 자본과 분야별 SOC의 한계생산 하락 추세를 그래프로 나타낸 것이다.

<그림 III-3> 우리나라 자본스톡의 한계생산 추이



자료 : 송준혁(2016).

<표 III-5> SOC의 부문별 산출탄력성 및 한계생산성 추정 방법 요약

송준혁(2016)의 연구는 I-hori et. al.(2001)과 Doi et. al.(2009)의 방법론과 같이 민간자본과 사회간접자본으로 구성된 콥-더글러스 생산함수를 바탕으로 한다. 이 함수의 양변을 경제활동인구로 나누고 로그를 취하여 다음 (10)과 같은 식을 얻는다.

$$\ln y_t = \ln A + \alpha t + \beta \ln k_{p,t-1} + \sum_{i=1}^5 \gamma_i \ln k_{gi,t-1} + \varepsilon_t \quad (10)$$

(yt= 1인당 소득, kp,t-1= t-1기의 민간자본스톡, kg1,t-1- kg5,t-1= 부문별 SOC 스톡)

이 변수들을 시계열로 일차 차분하면 다음과 같은 기본모형을 얻게 된다.²³⁾

$$\Delta \ln y_t = \alpha + \beta \Delta \ln k_{p,t-1} + \sum_{i=1}^5 \gamma_i \Delta \ln k_{gi,t-1} + e_t \quad (11)$$

위 식에서 추정된 계수값인 γ_i 가 SOC의 부문별 산출탄력성을 의미한다. 분석 자료는 1970~2013년 기간의 국민대차대조표 등을 사용하였고, SOC 자본은 도로·항만·공항(kg1), 철도·지하철(kg2), 전력·통신(kg3), 하천사방·상하수도(kg4), 기타토목(kg5)으로 분류하였다. 베이지안 분석²⁴⁾ 결과 민간자본의 산출탄력성은 0.146, 도로 등(kg1)은 0.071, 철도 등(kg2)은 0.053으로 각각 추정되었다. 이 산출탄력성에 각 기간별 소득과 SOC 스톡을 대입하여 다음과 같이 기간별 한계생산성을 도출하였다.

$$\frac{\partial Y_t}{\partial K_{gi,t-1}} = \gamma_i \frac{Y_t}{K_{gi,t-1}} \quad (12)$$

우리나라 인프라의 양과 질적 수준을 실질적으로 가늠해볼 수 있는 또 다른 판단 기준 중 하나는 교통혼잡비용이다. 교통혼잡비용은 교통수요 증가에 따른 사회적 비용을 의미하며, 차량운행 비용과 시간가치 비용의 합으로 계산된다.

한국교통연구원(2014) 및 한국건설산업연구원(2017)에 의하면 우리나라의 교통혼잡비용은 2015년에 33.3조원인 것으로 추산되었다. 이는 GDP 대비 2.16%에 달하는 것으로 2005년부터 2015년까지 연평균 3.54% 증가한 수치이며 매년 꾸준히 늘고 있는 추세이다. 혼잡비용이 증가하고 있다는 것은 전술한 바와 같이 우리나라 인프라의 효율성이 지속적으로 감소되고 있다는 것을 실증적으로 뒷받침한다. 특히, 우리나라의 최근 혼잡도 증가 경향은 특이한 면이 있다.

일반적으로는 혼잡도가 높은 곳에 투자를 하면 투자 단위당 혼잡도 완화 효과가 높으

23) 송준혁(2016), SOC 자본의 부문별 한계생산성 추정, 경제연구.

24) 단순회귀분석 결과 통계적으로 유의미하지 않은 추정 값이 도출되어 베이지안분석을 사용하였다.

므로 한계생산성이 높아야 한다. 하지만 우리나라의 경우는 인프라에 투자를 해도 오히려 혼잡도가 더 악화되는 현상을 보이고 있다.²⁵⁾ 즉, 투자는 했지만 더 증가되는 혼잡도로 인하여 투자의 한계생산성이 떨어지는 것처럼 보일 수도 있다는 것이다.²⁶⁾ 최근 노후 인프라가 야기하는 생산성 저하가 심각한 문제로 인식되고 있는 미국의 경우에도 교통혼잡비용은 GDP 대비 0.83%에 불과하다. <표 III-6>에서 보는 바와 같이 우리나라의 교통혼잡비용은 도시부가 전체의 63.8%를 차지하고 있으며 연평균 증가율도 3.96%로 가장 심각하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

<표 III-6> 교통혼잡비용 추이 및 예측

(단위 : 십억원, %)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	증가율
계	23,540	24,621	26,172	26,903	27,706	28,509	29,097	30,315	31,420	32,385	33,350	3.54
지역간	9,094	9,180	9,684	9,881	10,064	10,436	10,742	11,130	11,418	11,737	12,057	2.86
도시간	14,446	15,441	16,488	17,022	17,641	18,073	18,355	19,185	20,002	20,647	21,293	3.96
GDP 비중	2.56	2.55	2.54	2.44	2.41	2.25	2.18	2.20	2.20	2.18	2.16	-

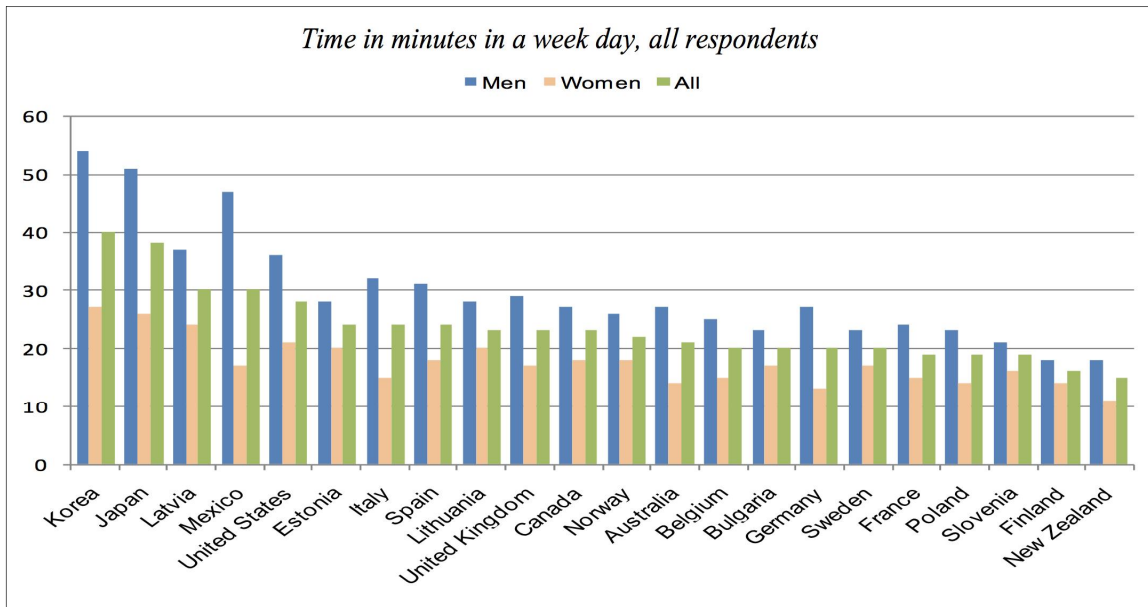
자료 : 한국교통연구원(2014), 건설산업연구원(2015) 재인용.

우리나라의 인프라 효율성이 높지 않은 것은 타 국가들과 비교하면 더 명확히 알 수 있다. <그림 III-4>는 주요 국가들의 평균 출퇴근 시간을 비교한 OECD(2010) 자료이다. 우리나라가 평균 40분(남자 평균 53분)으로 가장 긴 출퇴근 시간을 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 수도권에 집중된 인구밀도와 신도시 개발 정책에 의한 출퇴근 거리 증가를 감안하더라도, 다른 모든 국가들보다 출퇴근 시간이 가장 길다는 것은 우리나라의 교통 인프라의 생산성이 높지 못함을 단적으로 보여준다.

25) 이러한 원인은 여러 가지를 생각해볼 수 있다. 그 예로, 차량 증가율이 인프라 증가율보다 더 높았거나, 인구가 도시로 집중된 비율이 더 높아졌거나, 지역균형발전 등 정책적인 목표를 달성하기 위하여 비효율적인 곳에 투자가 이루어졌던 것들을 고려해볼 수 있다.

26) 이해를 돕기 위하여 굳이 부연 설명하자면, 인프라 투자의 한계생산성이 개선되기 위해서는 투자에 따라 혼잡도가 완화되고, 그것이 타 부문의 생산성 증가로 이어져야 하는데, 결과적으로는 오히려 혼잡도가 증가하였으므로 인프라 투자의 효과가 낮은 것과 같은 효과가 나타난 것이다.

<그림 III-4> OECD 국가들의 평균 출퇴근 시간 비교



자료 : OECD Family database(2010).

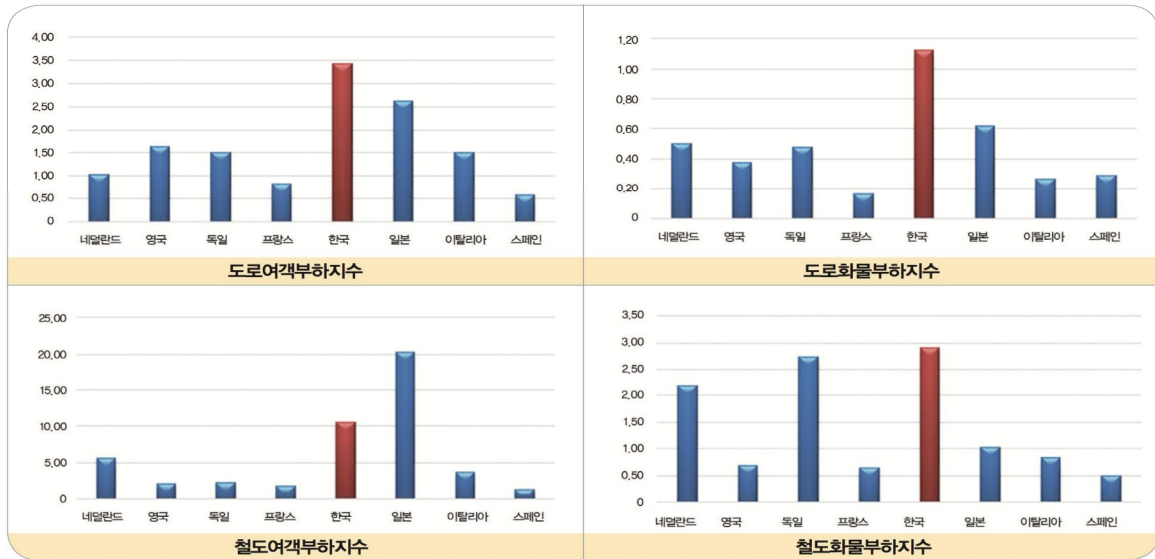
우리 인프라가 과밀도로 인해 생산성이 낮은 현상은 최근 발표된 국토연구원(2016)²⁷⁾ 보고서를 통해서도 짐작할 수 있다. 이 보고서에서는 인프라의 효율성을 국제 비교하기 위하여 ‘수송부하지수’ 지표를 사용하였다. 수송부하지수는 연간 승객수송 실적(인·km)을 총도로연장(km)으로 나누어 도출한 인프라의 혼잡도 지표의 개념이다. 결과를 살펴보면 우리나라의 경우 유사한 국토면적을 갖는 타 OECD 국가들에 비하여 여객과 화물 모두 도로의 혼잡도가 월등히 높은 것을 알 수 있다.

철도의 경우도 여객부하지수는 일본보다는 낮고 화물부하지수는 독일 및 네덜란드와 유사한 수준이지만 여전히 타 국가들 평균보다는 높은 수준이다. 이는 좁은 국토에 밀집된 인구밀도가 야기하는 집중적인 인프라 수요를 공간적인 제약이 있는 인프라가 충분히 감당하지 못하고 있기 때문인 것으로 보인다. 특히, 수도권과 비수도권 간에 인프라 혼잡도는 큰 차이를 보이고 있다. 또한, 우리 인프라의 과도한 부하지수로 인하여 비교대상 국가들보다 높은 교통사고 사망자 수 및 CO₂ 방출량을 초래하는 데 영향을 주고 있는 것으로 언급하였다.²⁸⁾

27) 이상진, 최재성(2016), 사회간접자본의 한국적 특성을 고려한 투자정책 방향, 국토정책 Brief, 국토연구원.

28) 인프라 부하지수와 교통사고 사망자 수 및 CO₂ 방출량과의 상관관계는 각각 0.74와 0.44를 보였다.

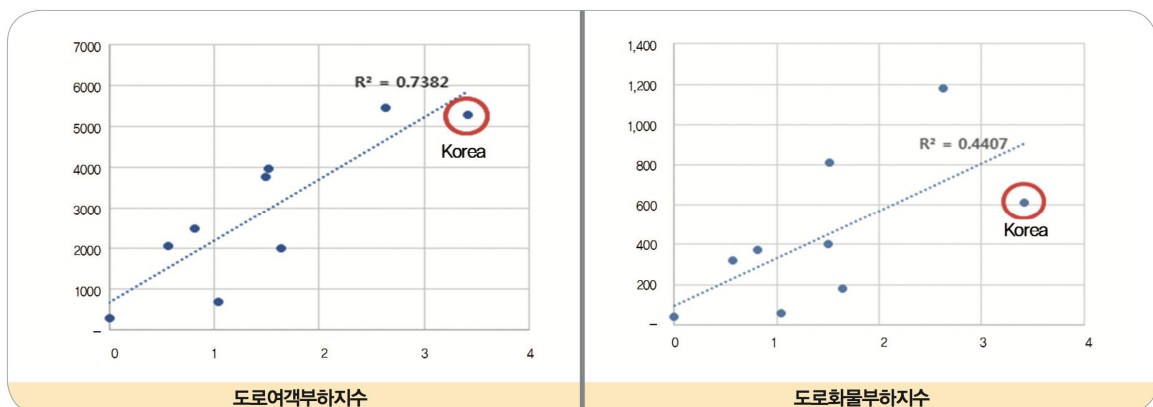
<그림 III-5> 우리나라와 주요 선진국의 도로 및 철도에 대한 여객 및 화물부하지수



자료 : 국토연구원(2016).

<그림 III-6> 수송 부하지수와 교통사고 사망자 수 및 CO2 방출량과의 상관관계

왼쪽 : 교통사고 사망자 수, 오른쪽 : CO₂ 방출량



자료 : 국토연구원(2016).

(2) 인프라 효율성 제고의 효과와 스마트 인프라 구축의 필요성

경제가 성숙기에 다다랐을 경우 생산요소의 투입량보다 요소생산성(효율성)이 지속적인 경제발전에 더 중요한 역할을 담당한다. 하지만, 우리나라 인프라의 산출탄력성 및 경제 전체의 총요소생산성이 심각하게 떨어지고 있는 것을 여러 연구를 통해 확인하였

다. 그렇다면, 우리 경제 성장률의 모멘텀이 꺾이는 것을 그대로 받아들여야 하는 것인가? 이제 인프라 구축의 새로운 방향 정립을 통하여 이러한 추세를 전환할 수 있는 방법이 없는 것인지를 논의해야 할 것이다.

인프라의 효율성이 경제성장률에 미치는 영향 또는 최적 인프라 스톡 수준에 관한 국내 연구들이 다수 있으나, 많은 연구가 인프라 투자는 민간투자를 정확히 1 : 1의 비율로 구축한다는 엄격한 가정을 전제로 하고 있다. 하지만 이 가정은 노동과 자본 같이 상호 대체재로서의 관계가 뚜렷하게 나타나는 요소들이 아닌 경우 정치하지 않은 결론을 도출할 가능성이 있다.²⁹⁾ 따라서 본 연구는 Barro와 Sala-i-Martin(1996)이 인적자본 축적의 경제발전 기여 효과를 분석한 모형을 응용하여 인프라의 효율성 향상이 경제성장뿐만 아니라 다른 자본의 축적에도 기여함을 설명하고자 한다. 본 연구의 목적이 인프라의 경제적 효율성을 추정하는 실증 연구는 아니므로 이론적인 모델만 제시하지만, 조금 더 구체적인 이해를 도모하기 위하여 인프라의 효율성 향상이 경제성장률에 어떤 영향을 주는지에 대한 간단한 시뮬레이션도 함께 제시한다.

먼저 논의의 시작은 다음 식 (13)과 같이 효율성을 고려한 τ 기의 인프라 스톡의 가치를 정의하는 것으로부터 한다. G_τ 는 τ 기까지 투자된 금액이 투자된 만큼 효율을 발휘한다고 가정할 경우 감가상각만 고려된 (효율성 계수가 적용되지 않은) 순 인프라 스톡의 가치이다.

$$G_\tau = \sum_{t=1}^{\tau} [(1-\delta)^t \sum_{i=1}^j I_{i,t}] \quad (13)$$

($I_{i,t}$ = t기의 i 인프라에 투자된 금액, δ = 감가상각률)

그리고 다음 식 (14)에서 인프라의 기대 투자가치 $G(e)$ 는 인프라 스톡 i의 효율성 계수 $\eta_{i,t}$ 가 고려된 순 인프라 스톡의 가치이다. 이는 단순히 물량적인 측면이 아니라 실제 투자금액으로부터 기대되는 인프라 순편익의 현재가치의 합계를 나타내는 것이다.

29) 예를 들어, 공공자본스톡과 민간자본스톡의 최적 비율을 도출하는 모델에서 부분 균형만 분석함으로써 공공부문의 산출탄력성이 높아질수록 1인당 소득성장률이 떨어지는 이상한 결과를 도출할 우려가 있다.

$$G(e)_\tau = \sum_{t=1}^{\tau} [(1-\delta)^t \sum_{i=1}^j \psi_{i,t} I_{i,t}] \quad (14)$$

위 식 (13)과 (14)로부터 순 인프라 스톡 자산가치의 가중평균 효율성 계수 θ 를 식 (15)와 같이 정의할 수 있다. 인프라의 효율성 계수 θ 의 의미는 실제 인프라에 투자된 비용 대비 기대되는 사회적 편익의 비율이라고도 설명할 수 있다. 따라서 현재 우리나라 기획재정부가 인프라 투자의 평가 기준 가운데 하나로 사용하고 있는 비용편익분석(Cost-Benefit-Analysis)의 결과를 투자금액으로 가중평균한 개념으로 해석할 수 있을 것이다.

$$\theta = \frac{G(e)_\tau}{G_\tau} \quad (15)$$

한편, 식 (16)과 같은 콥-더글러스(Cob-Douglas) 생산함수와 식 (17), (18)과 같은 자본 축적 공식들을 정의한다.

$$Y_t = K_t^\alpha G(e)_t^\beta (A_t L_t)^{1-\alpha-\beta} \quad (16)$$

(Y_t = 총생산, K_t = 민간자본, $G(e)_t$ = 순 인프라 스톡의 투입가치, A_t = 기술수준, L_t = 노동)

t+1기 민간자본 스톡의 증분은 t+1기의 투자에서 감가상각을 빼서 계산하며, t+1기 민간투자는 t기의 총생산에 민간부문 자본투자를 위한 저축률 s_k 를 곱하여 계산한다. 같은 논리로 (t+1)기 인프라 자본의 증가는 t+1기의 인프라 투자에서 감가상각을 빼서 계산하며, t+1기 민간투자는 t기의 총생산에 인프라 투자를 위한 저축률 s_g 를 곱하여 계산한다. 단, 인프라의 기대 투자가치 증가는 효율성 계수 θ 가 추가로 고려되어야 하므로, 저축률에 추가로 효율성 계수 θ 를 곱해주어야 한다. 모델의 단순화를 위하여 민간부문과 인프라 자산의 감가상각률 δ 는 같다고 가정한다.

$$K_{t+1} - K_t = s_k Y_t - \delta K_t \quad (17)$$

$$G(e)_{t+1} - G(e)_t = s_g \theta Y_t - \delta G(e)_t \quad (18)$$

1인당 노동생산성을 감안한 분석을 위하여 위의 식 (16)에서 양변을 $A_t L_t$ 로 나누어 다음과 같이 1인당 노동생산성을 기준으로 한 생산함수로 변형한다.

$$y_t = k_t^\alpha g_t^\beta \quad (19)$$

$$(y_t = Y_t/(A_t L_t), \quad k_t = K_t/(A_t L_t), \quad g_t = G(e)_t/(A_t L_t))$$

기술진보 함수는 $A_{t+1} = (1+z)A_t$ 로, 연간 z 의 일정한 기술 진보율을 가정한다. 위 식 (17)와 (18)의 좌변에서 각각 K_t 와 $G(e)_t$ 를 우변으로 이항하고, 모든 항을 $(A_{t+1} L_{t+1})$ 로 나누면 식 (20) 및 (21)과 같이 t+1기 민간과 정부 부문의 (노동생산성이 고려된 1인당) 자본스톡을 얻을 수 있다.

$$k_{t+1} = \frac{1}{(1+n)(1+z)} [s_k k_t^\alpha g_t^\beta + (1-\delta)k_t] \quad (20)$$

$$g_{t+1} = \frac{1}{(1+n)(1+z)} [\theta s_g k_t^\alpha g_t^\beta + (1-\delta)g_t] \quad (21)$$

위 식 (20)과 (21)로부터 t+1기와 t기의 차분을 통하여 (1인당 노동생산성이 감안된) 민간자본과 정부부문의 인프라 스톡 증가분을 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k_{t+1} - k_t = \frac{1}{(1+n)(1+z)} [s_k k_t^\alpha g_t^\beta - (n+\delta+z+nz)k_t] \quad (22)$$

$$g_{t+1} - g_t = \frac{1}{(1+n)(1+z)} [\theta s_g k_t^\alpha g_t^\beta - (n+\delta+z+nz)g_t] \quad (23)$$

Solow 경제성장모형으로부터 경제가 효율 극대화를 달성할 수 있는 균제상태에 이른 경우의 자본스톡 증가율 '0'을 가정하면 다음과 같은 식이 도출된다.

$$s_k k_t^\alpha g_t^\beta - (n + \delta + z + nz)k_t = 0 \quad (24)$$

$$\theta s_g k_t^\alpha g_t^\beta - (n + \delta + z + nz)g_t = 0 \quad (25)$$

식 (24)와 (25)를 연립하여 풀면 식 (26) 및 (27)과 같이 노동생산성을 고려한 1인당 최적 자본스톡인 k^* 와 g^* 를 얻을 수 있으며, k^* 와 g^* 를 위 식 (19)에 대입하면 균제상태의 1인당 균형소득 y^* 를 얻을 수 있다.

$$k^* = \left[\frac{s_k^{1-\beta} (\theta s_g)^\beta}{(n + \delta + z + nz)} \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \quad (26)$$

$$g^* = \left[\frac{s_k^\alpha (\theta s_g)^{1-\alpha}}{(n + \delta + z + nz)} \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \quad (27)$$

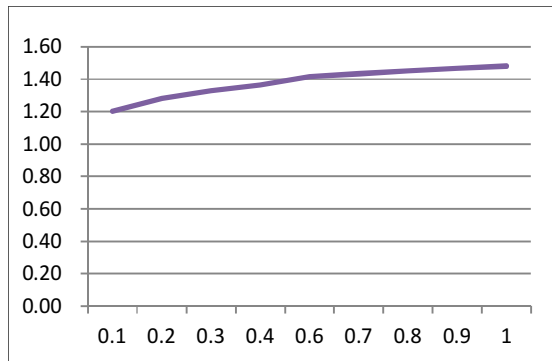
$$y_t^* = \left[\frac{s_k^\alpha (\theta s_g)^\beta}{(n + \delta + z + nz)^{\alpha+\beta}} \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \quad (28)$$

이제 식 (26)~(28)을 사용하여 가중평균 효율성 계수 θ 로 표시된 인프라 스톡의 효율성이 기술수준을 감안한 1인당 국민소득, 민간부문의 자본스톡, 정부부문의 인프라 자본스톡 등에 어떠한 영향을 미치는지를 분석해볼 수 있다. <그림 III-7>과 <그림 III-8>은 인프라 투자의 효율성을 의미하는 θ 값의 변화가 1인당 소득(y^*)과 1인당 인프라 스톡(g^*)에 어떤 영향을 미치는지를 그래프로 나타낸 결과이다.³⁰⁾ 그래프를 도시하기 위한 목적으로 X축(θ 값)의 범위를 0.1부터 1의 범위로 제한하였다.³¹⁾ 다른 조건이 일정하다고 가정할 때, 인프라 투자의 효율성 θ 가 증가할수록 1인당 국민소득(y^*)과 1인당 인프라 스톡(g^*)은 공히 증가되는 결과를 보였다.

30) 시나리오 분석의 현실성을 위하여 각 계수들은 여러 연구들을 참고하여 현실적인 범위의 수치를 입력하였다. 민간자본의 산출탄력성(α)=0.146, 인프라의 산출탄력성(β)=0.071, GDP 대비 민간자본형성 비율(sk)=26%, GDP 대비 인프라 형성비율(sg)=3%, 인구증가율(n)=0.45%, 감가상각률(δ)=2.0%.

31) 현실적으로 θ 의 범위는 1 이상이거나 0 이하의 범위를 가질 수도 있다. 이는 특정 프로젝트에 대한 비용편익 분석 결과가 1 이상을 나타내거나, 부의 편익이 더 큰 경우도 있을 수 있기 때문이다.

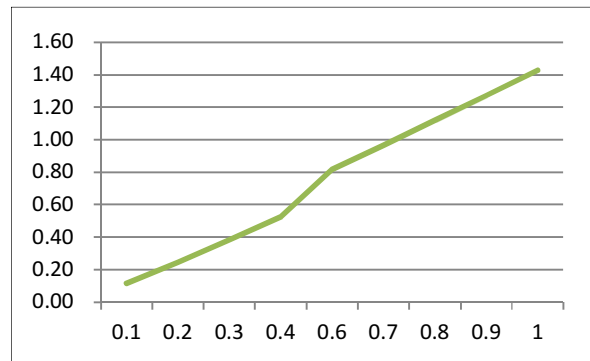
<그림 III-7> 인프라 효율성과 1인당 소득



X축 = 인프라의 효율성 계수(θ)

Y축 = 노동생산성이 고려된 1인당 소득(y^*)

<그림 III-8> 인프라 효율성과 1인당 인프라 스톡



X축 = 인프라의 효율성 계수(θ)

Y축 = 노동생산성이 고려된 1인당 인프라 스톡 가치(g^*)

인프라 투자의 효율성 θ 가 1% 증가할 경우 1인당 국민소득과 인프라 스톡의 크기가 몇 % 정도 변화될지는 각각 식 (29) 및 (30)과 같이 탄력성 개념을 이용하여 수치로 추정해볼 수도 있다.

$$\frac{\partial y^*}{\partial \theta} \times \frac{\theta}{y^*} = \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} \quad (29)$$

$$\frac{\partial g^*}{\partial \theta} \times \frac{\theta}{g^*} = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha - \beta} \quad (30)$$

최근 송준혁(2016)의 연구에서 제시한 민간자본의 산출탄력성 0.146과 도로인프라 부분의 산출탄력성 0.071을 적용하면, 인프라 투자 효율성 θ 의 소득에 대한 탄력성은 0.091로, 인프라 투자 효율성 θ 의 인프라 스톡에 대한 탄력성은 1.091로 계산된다. 이는 인프라 투자의 효율성을 1% 증가시킬 경우 1인당 국민소득이 0.091% 정도 증대할 수 있으며, 인프라 스톡의 가치는 1.091% 증대시킬 수 있음을 의미하는 것이다.³²⁾

또한, 식 (26)에 의하면, 인프라 투자의 효율성을 증가시키면 민간자본 투자 스톡도 함께 증가될 것으로 예상된다. 그 이유는, 다른 모든 조건이 동일하다고 가정할 경우 균

32) 인프라 투자의 효율성을 1% 증가시켰는데 인프라 스톡의 가치는 1% 이상 증가되는 이유는 증가된 민간자본 스톡과 증가된 소득이 다시 인프라 자산으로 투자되는 것이 반복되는 데 원인이 있다. 같은 이유로 인프라 투자의 효율성이 1% 감소할 경우에는 인프라 스톡의 가치는 1% 이상 떨어지는 효과를 가져 올 것이라는 것을 짐작할 수 있다.

제상태의 경제 하에서, 인프라의 효율성 증가가 1인당 국민소득을 증가시키고 이 증가된 소득의 일정 부분이 다시 민간자본 투자 증가로 이어져 결국 민간투자 스톡이 함께 증가되는 결과를 가져오기 때문이다.

3. 주요 시사점

지금까지 우리는 지속가능한 경제성장을 위해서는 인프라 투자의 효율성을 증대시켜야 한다는 결론을 얻었다. 그렇다면 인프라 투자의 효율성을 증대시키는 방안을 고려해 보아야 할 것이다.

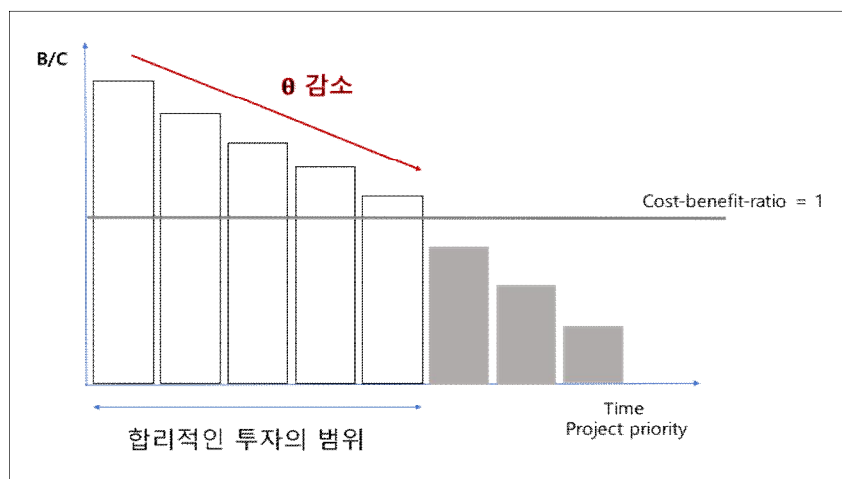
이에 앞서 인프라가 다른 생산 투입요소들과 차별되는 특성을 논의할 필요가 있다. 노동이나 (인프라 이외의) 자본재는 생산에 필요한 양을 증가시킴으로써 규모의 경제를 달성하는 것이 상대적으로 용이하다. 하지만 인프라의 경우에는 사용자의 접근성을 고려해야 할 뿐만 아니라, 부동산이라는 자산의 성격과 유사한 물리적 특성으로 인하여 단위 면적당 투자 규모에 제약이 있다. 예를 들어 아무리 도로 투자가 많이 필요해도 온 국토를 도로로 뒤덮어 버릴 수는 없는 노릇이다. 따라서 인구가 매우 밀집된 지역인 경우라고 하더라도 모든 사람들이 원활하게 사용할 수 있는 도로를 단위 면적 내에 건설하기는 매우 어렵다.

그러므로 인프라는 타 생산요소와 다르게 공간적 배치의 효율성과 투자의 질적 수준(효율성)을 함께 고려할 필요가 있다. 다시 말하면 인구 밀집도를 고려한 인프라의 단위당 효율성(투자의 집적도)이 반드시 고려되어야 한다는 것이다. 특히, 우리나라와 같이 국토가 협소하고 인구밀도가 높은 경우일수록 단위 인프라가 감당해야 하는 부하지수가 높기 때문에 인프라의 질적 효율성을 높이기 위한 노력이 더 중요하다.

인프라 투자의 질적 효율성을 향상시키는 방법은 (동일한 기술 조건 하에서) 효율적인 투자 대안을 우선적으로 선별하여 투자하는 것과, 기술적 진보를 통하여 기존 투자 대안을 더 효율적으로 만드는 방법들이 있을 것이다. 첫 번째 대안은 한계효용 체감의 법칙에서 자유롭지 못하다. <그림 III-9>와 같이, 우선순위가 높은 투자 대안부터 잘 선별하여 투자하여도, 기술적 진보를 통한 투자대안 자체의 효율성을 높이지 못한다면 우선순위를 가지는 투자대안이 소진될수록 투자의 효율성은 떨어질 수밖에 없다. 또한 <그림 III-9>에서 표현된 합리적인 투자의 범위만큼 투자가 이루어진 후에는 비용편익

비(B/C)가 너무 낮아져서 더 이상 투자안을 실행하는 것이 불합리한 선택이 될 수도 있는 문제도 있다.

<그림 III-9> 한계효용 체감과 투자 효율성 감소



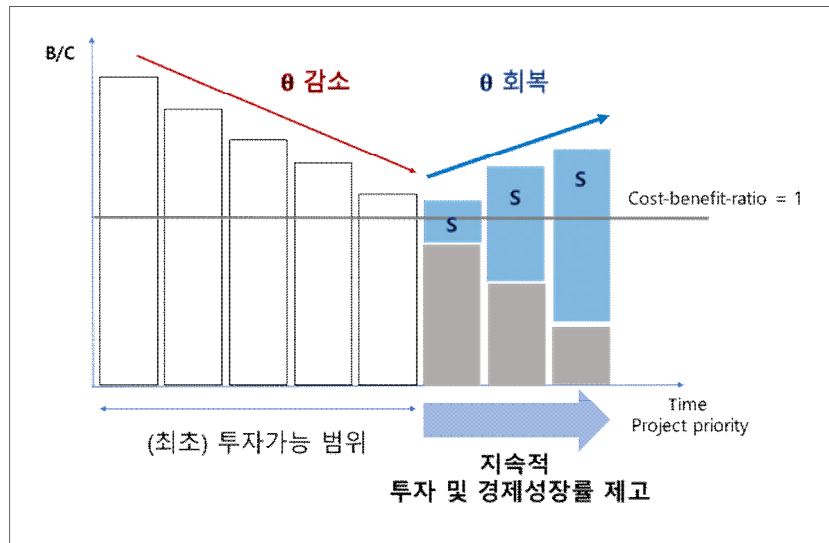
이에 반하여, 두 번째 대안은 기술 융합과 진보를 통하여 투자대안 자체의 효율성을 다시 높이는 것이다. 구체적으로 표현하면 <그림 III-10>과 같이 최초에 합리적인 투자 가능 범위가 소진되었을 때 그림에서 S로 표현된 부분과 같이 투자대안 자체의 (투자 및 운용비용 대비) 경제적 효익 자체를 높이는 것이다. 이로 인하여 지속적 인프라 투자와 경제성장률 제고 효과를 기대할 수 있다.

위 논의에 근거하여 최근 각광받는 기술진보와 4차 산업혁명의 맥락에서 ‘스마트 인프라 구축’을 바람직한 전략으로 고려할 수 있을 것이다.³³⁾ 인프라의 효율성을 획기적으로 증가시키기 위한 구체적 대안으로, 산업간 융·복합을 통한 ‘기존과 다른 방식’의 인프라 투자가 절실히 요구된다. 예를 들면 디지털 기술이 접목된 도로를 건설할 경우 기존 도로보다 약 60% 정도 생산성이 증가되었다는 조사 결과가 있으며, 스마트 인프라 건설과 관련된 차량 및 로지스틱 연관 산업으로의 추가적인 파급효과도 기대할 수 있다.³⁴⁾

33) 반면에, 인프라의 효율성 증가 목표만을 고려한다면 혼잡 지역의 차량 진입을 통제하거나, 인프라에 대한 투자 비중을 줄이는 등의 네거티브 방식들도 고려할 수 있을 것이다. 하지만 추가적인 정책이 없다면 이 방식들만으로는 장기적인 경제성장률 제고에 도움이 된다고 하기는 어려울 것이다.

34) “Singer(2017), Investing in Innovation Infrastructure to Restore U.S. Growth, ITIF”를 소개한 최석인(2017), 경제 회복을 위한 미국의 인프라 투자 정책 방향, 건설동향브리핑 597호, 한국건설산업연구원 재인용.

<그림 III-10> 기술 진보를 통한 투자 효율성 증대



구조적 저성장기에 진입한 우리 경제가 성장률을 회복하기 위해서는 기술 발전과 혁신에 의한 인프라의 생산성 향상을 지속적으로 추구해야 한다. 구체적으로, 인프라의 생산성 향상을 위해서는 기존 방식을 탈피한 ‘스마트 인프라 추진’ 전략이 필요하다. 특히, 새로운 기술과 인프라의 결합으로 인한 인프라의 생산성 향상은 타 생산요소들의 효율성에 긍정적으로 작용하여 경제성장률 제고에 기여하는 효과가 있을 것으로 기대된다.

더군다나 우리나라의 경우 현대적 의미의 인프라 투자를 시작한 1960년대부터 (통상적으로 인프라 자산의 수명주기로 알려진) 약 50년이 경과하였으므로 기존 시설에 대한 재투자 수요가 도래하기 시작하였다. 물리적·기술적 진부화로 인하여 낮아진 기존 인프라 시설물의 효율성을 제고하기 위해서도 스마트 인프라 구축을 통한 재투자가 절실히 필요한 시점이다.

IT 기술의 적용을 통한 스마트 인프라 구축도 중요하지만 추가적으로 효율적인 인프라에 우선적으로 투자될 수 있는 평가 시스템 개선도 필요하다. 지금까지는 비용편익분석으로 대표되는 경제적 타당성평가를 통하여 신규 인프라의 투자를 결정하였지만 이제는 현존하는 인프라의 실질적·물리적 혼잡도 평가를 위한 목표 성능 인덱스 도입과 이를 활용한 투자 우선순위 결정 프로세스 도입이 필요할 것으로 보인다.

제 4 장 선진국의 인프라 추진 정책과 동향

본 장에서는 세계 인프라 시장의 새로운 양적/질적 투자 수요를 조망하고, 선진국(미국, 영국, 독일, 호주, 일본)의 인프라 질적 제고를 포함한 투자 정책을 살펴보고자 한다. 그리고 선진국의 주요 관련 정책과 국내 정책의 비교를 통해 주요 시사점을 도출하였다.

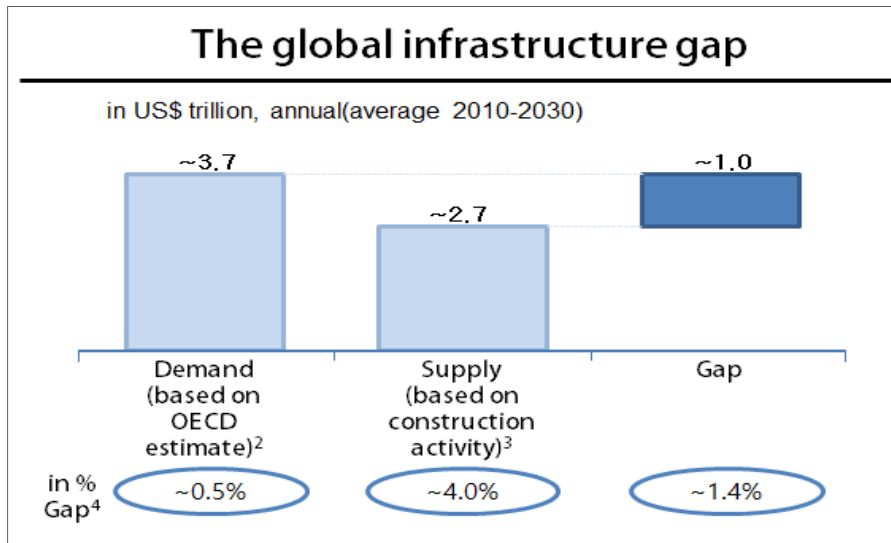
1. 세계 인프라 투자의 새로운 양적/질적 수요 조망

WEF는 세계적으로 인프라 투자의 양적 수요가 연간 약 3.7조 달러 수준인 것으로 추산하였다. 특히 개발도상국의 경우 인구 및 경제성장, 도시화 및 산업화에 따른 투자수요가 높은 반면, 선진국의 경우 노후 인프라에 대한 유지관리 및 재투자에 대한 관심이 큰 것으로 나타났다. 하지만 실제 투자는 약 2.7조 달러 수준에 불과해 수요에 대한 대응은 아직 미흡한 실정이다. 즉, 새로운 인프라의 공급은 수요를 따르지 못하고 있는 것이다. 이는 세계적인 금융위기와 민간 자본의 투자 유인 부족에 따른 공공 재정의 부족에 기인한다.

맥킨지의 보고서³⁵⁾도 이러한 인프라 투자의 격차를 지적하고 있다. 이 보고서에 따르면 전 세계적인 교통, 에너지, 수도, 통신 분야의 인프라에 투자된 금액은 2013년 기준 약 2.5조 달러로, 이는 세계 GDP의 약 3.5%에 해당한다. 하지만 이러한 투자는 증가하는 인프라 수요를 충족시키기에는 부족한 금액이며, 인프라에 대한 투자 부족은 미래 경제성장률의 둔화로 이어질 수 있음을 강조하였다. 즉, 2016년부터 2030년까지 추정 경제성장률 달성을 위해서는 세계적으로 GDP의 약 3.8%(약 3.3조 달러)가 투자되어야 할 것으로 전망하고 있다. 하지만 현재의 추세로 볼 때 매년 전체 필요금액의 약 11%인 3,500억 달러 정도 부족한 상황인 것으로 나타났다. 특히 세계적 경제 위기 이후 G20에 속하는 국가들 중 11개의 국가에서 GDP 대비 인프라 투자 비중이 감소한 것으로 나타났다. 투자가 감소한 나라는 유럽과 미국 등 대부분 선진국이다.

35) Bridging Global Infrastructure Gaps, Mckinsey Global Institute, 2016. 6.

<그림 IV-1> 세계 인프라 시장의 수요와 공급의 격차



자료 : 세계경제포럼(WEF).

이와 같이 인프라 투자의 양적 수요는 전 세계적으로 큰 것으로 나타나고 있다. 선진국 역시 오랜 기간 저성장으로 인한 투자 부족, 노후 인프라의 재투자 등 상당한 요인이 있는 것으로 추정되며, 우리나라도 같은 맥락에서 이해될 수 있다.³⁶⁾

인프라 투자의 질적 수요에 있어서도 맥킨지³⁷⁾는 2030년의 인프라 수요를 전망하면서 기술 발전이 기존의 인프라 수요에 대한 전망을 뒤엎을 수 있다고 보았다. 정량화할 수는 없지만 어떤 기술은 현재의 몇몇 인프라를 필요 없게 할 것이며, 반면 기존과 전혀 다른 새로운 수요를 만들어내기도 할 것으로 보았다. 즉, 기존 건설 시장인 인프라가 첨단 기술로 변화하고 있으며, 건설산업은 이에 대한 대비를 해야 함을 강조하고 있다.

KPMG는 관련 보고서³⁸⁾를 통해 인프라를 변화시킬 10대 트렌드를 소개하였다. KPMG는 2016년 세계적 트렌드였던 뉴노멀(New Normal) 현상이 2017년에도 계속될 것이며, 다양한 기술의 발전이 인프라 시장에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상하였다. 선진국뿐만 아니라 신흥국에서도 정치적 불확실성이 이어지는 가운데, 각국 정부는 인프라 확충을 위한 혁신적인 재원 확보 방안을 모색하고 있다. 또한, 급속한 신기술의 개발

36) 한국의 SOC 수준, 이대로 괜찮은가? 대안은 무엇인가?, 한국건설산업연구원 내부자료, 2016. 9.

37) Bridging Global Infrastructure Gaps, Mckinsey Global Institute, 2016. 6.

38) "Ten Emerging Trends in 2017 - Trends that will change the world of infrastructure", KPMG(2017)의 내용을 정리한 박희대(2017), "2017년 세계 인프라를 변화시킬 10대 트렌드", 건설동향브리핑 598호, 한국건설산업연구원 재인용.

과 기존 기술 적용 확대가 인프라 시장의 질서를 재편하여 인프라 투자 및 계획 수립의 거버넌스가 변화될 것으로 전망된다. 세계 각국이 재정 사업의 새로운 접근을 검토하는 가운데 공공과 민간의 인프라 참여주체들은 세계적인 사회, 경제, 기술적 양상의 변화에 대한 심도 깊은 고민이 필요함을 이 보고서에서는 강조하고 있다. 세계 인프라를 변화시킬 10대 트렌드는 바로 인프라의 질적 제고의 변화 필요성을 시사한다고 할 수 있다.

- ① 에너지, 교통, 기술의 융합 : 태양열 발전 효율의 향상으로 아프리카의 대규모 전력망 및 발전설비 필요성이 감소하였으며, 무선통신 기술 발전으로 각국의 유선통신 네트워크 구축 수요가 감소함. 정부는 인프라 수요에 대응하는 한편 저탄소 기조 달성을 위해 재생에너지 투자를 추진하는 등 전체론적인 관점에서 정책을 추진해야 함. 따라서 여러 부처 간 통합 의사결정 및 정책수립 지원이 가능한 새로운 조직이 필요함.
- ② 포퓰리즘 정책의 영향 증가 : 영국의 브렉시트, 인프라 재건이 화두였던 미국의 대선, 브라질 탄핵 등의 기저에는 포퓰리즘의 확산이 있으며, 이는 각국의 인프라 투자에도 영향을 미칠 것으로 전망됨. 이러한 추세는 각국 정부의 인프라 투자 예산 증가, 보호주의의 확산, 인프라 투자 우선순위의 변화에도 영향을 미칠 것임.
- ③ 소비자행동(consumer behavior)의 중요성 강화 : 최근 세대는 교통수단 결정시 비용, 편의뿐만 아니라 환경 영향도 중요하게 판단하며, 대중교통 발전 및 공유경제 도래로 차량 보유 필요성이 예전보다 감소함. 이제 정부의 인프라 투자 및 계획 수립은 현재와 미래 세대의 인프라 수요에 기반한 ‘Bottom-Up’의 접근이 필요함.
- ④ 사회·환경적 영향에 대한 관심 증대 : 정부로 하여금 인프라 투자시 재무적 편익뿐만 아니라 사회·환경적 편익을 고려할 것을 요구하는 움직임이 증가하고 있으며, 투자기관들도 이러한 공공의 요구가 미칠 영향력을 점차 중요하게 인식하고 있음.
- ⑤ 기술 발전으로 인한 인프라 생산성 향상, 그리고 낙후(뒤처짐) 위험 : 무인주행 자동차, 하이퍼루프의 시운전 등 기술 발전을 고려한 미래 인프라 수요 검토가 필요하며, 이러한 기술적 변화에 대응하지 못하는 인프라 기업들은 경쟁력이 약화될 것임.
- ⑥ 기존 인프라의 활용 극대화 : 기존 인프라로 높아진 수요를 감당할 수 있는 방안들이 필요함. 출근시간 시차제, 부분 유료운영 등 운영 측면, 신호체계 개선을 통한

철도 배차 간격 단축, 유지관리 체계 개선을 통한 고장률 감소 등 다양한 접근이 필요함.

- ⑦ 재원조달 패러다임의 변화 : 부족한 재정을 보완하기 위한 다양한 인프라 투자 혁신 방안이 검토되고 있음. 호주에서는 정부 소유 자산의 매각을 통해 신규 인프라 초기투자비용을 마련하고, 해당 사업의 리스크가 낮아진 운영 단계에서 이를 다시 민간에 이양하는 등의 방안이 시행된 바 있음.
- ⑧ 신용보강(credit enhancement) 기구의 역할 충실화 : 인프라 투자 지원을 위하여 설립된 다국적 신용보강 기구들의 실질적인 인프라 지원 효과가 미흡하였음. 민간 투자기관의 지분 확보 및 직접 투자 허용 등을 통해 보다 많은 사업 추진을 지원할 수 있도록 적극적인 신용 보장 노력을 수행해야 함(영국 UK Guarantees Scheme 사례).
- ⑨ 인프라 투자 시장의 융합 : 투자기관이 조직 내에 시설 운영 조직을 마련하고, 반대로 건설기업과 개발기업들이 투자 부서를 마련하는 등 인프라 투자 조직의 규모와 기능이 확대·융합되고 있음.
- ⑩ 인프라 시장 글로벌화 지속 : 소비자 행동의 중요성 부각 및 포폴리즘의 확산에도 불구하고 인프라 투자 및 운영 경험이 많은 각국 공기업의 해외 진출과 글로벌 선도 기업들의 다각화 전략 등으로 인프라 ‘공급’ 부문의 글로벌화는 지속될 것으로 예상됨.

상술한 10대 트렌드는 정치와 사회 그리고 기술 변화에 따라 국가 인프라가 변화 및 진화되어야 하고, 투자 환경과 효과 역시 특정 산업(건설부문)만의 시장 창출이 아닌 첨단 기술, 금융 등과 융합되어 나타나게 됨을 시사한다. 따라서 인프라 투자는 산업 전반의 부가가치 확산을 이끌어낼 수 있으며, 이는 부가가치가 낮은 전통사업의 부활이라는 기존의 시각을 충분히 변화시킬 수 있다고 판단된다.

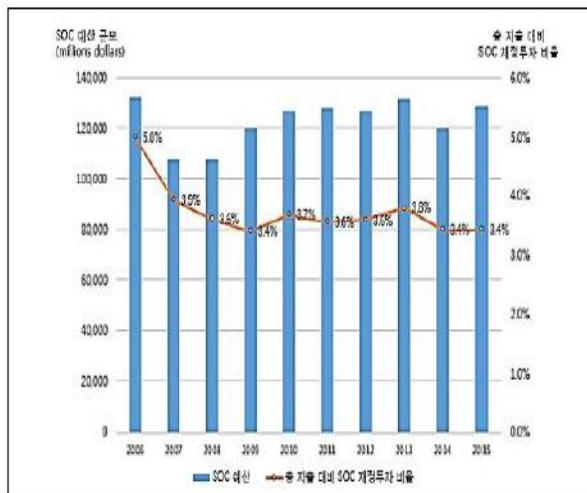
2. 선진국의 인프라 추진 정책 동향

(1) 국가별 인프라 투자 추이

1) 미국

최근 10년간 미국의 SOC 투자 규모를 살펴보면, 2006년부터 2008년까지 전체 예산에서 SOC가 차지하는 비중은 감소해 왔다. 그 후 경제 활성화와 고용 창출을 위해 2009년부터 SOC에 대한 투자를 확대하기 시작하였으나 2012년 글로벌 경제위기로 인하여 SOC 투자는 다시 줄어들었다. 이와 같이 미국은 경기 변동에 따라 SOC 투자에 대한 증감을 반복해 왔는데 2015년부터는 기존 인프라의 재건을 위해 다시 투자를 늘리고 있는 추세이다(<그림 IV-2> 참조). 분야별 SOC 투자 현황을 살펴보면, 미국은 2009년에 「미국의 복구 및 재투자법(ARRA : American Recovery and Re-investment Act)」을 제정해 교통 및 물류 부문에 중점 투자하기 시작하였다. 이로 인해 2006년에는 교통 및 물류와 국토 및 지역개발에 대한 투자액이 각각 52.8%, 47.2%로 거의 차이가 없었으나, 2015년 교통 및 물류 부문의 투자는 71.7%까지 증가하였다³⁹⁾(<그림 IV-3> 참조).

<그림 IV-2> 미국의 총지출 대비 SOC 투자 규모



<그림 IV-3> 미국의 부문별 SOC 자원 배분



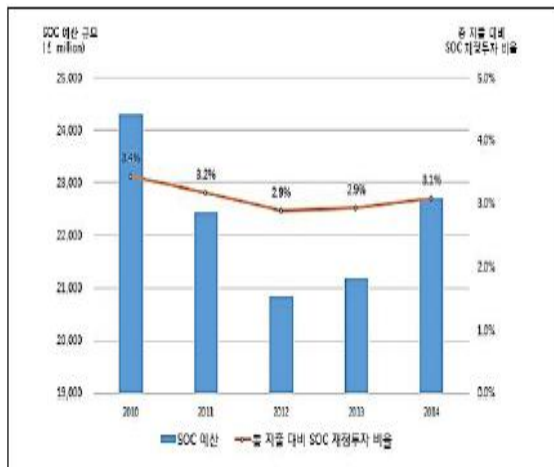
자료 : 국토연구원(2016), 국토교통 사회간접자본 중장기 투자 방향 연구.

39) 국토연구원(2016), 국토교통 사회간접자본 중장기 투자 방향 연구.

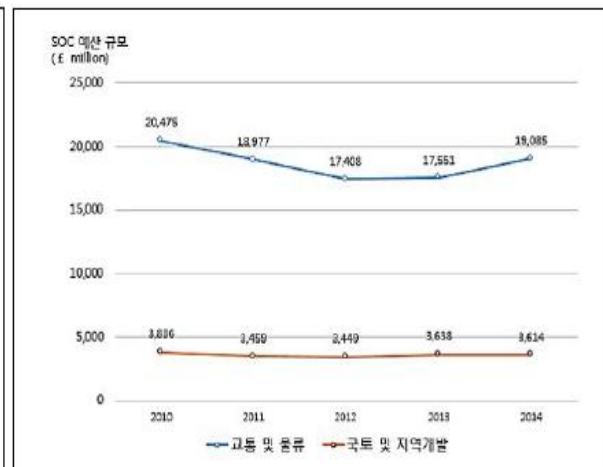
2) 영국

영국은 글로벌 금융위기 이후 재정 악화로 인해 전체 지출에서 SOC 투자의 비중을 2010년 3.4%에서 2012년 2.9%로 감소시켰다. 그러나 2013년 이후에는 SOC 투자 비중이 다시 증가하기 시작하여 2014년에는 전체 예산의 3.1%까지 회복되었다. 부문별 SOC 자원 배분 현황을 살펴보면, 교통 및 물류 부문에 대한 투자가 전체 예산의 80% 이상으로 대부분을 차지하고 있다. 특히, 교통 부문에서 철도가 전체 예산의 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 지방도로가 약 24%, 국가 도로가 약 16%, 대중교통이 약 12%로 뒤를 잇고 있다(<그림 IV-5> 참조).

<그림 IV-4> 영국의 SOC 예산 규모



<그림 IV-5> 영국의 부문별 SOC 자원 배분 현황



자료 : 국토연구원(2016), 국토교통 사회간접자본 중장기 투자 방향 연구.

3) 독일

독일은 전체 예산에서 SOC 투자 금액이 차지하는 비중이 2013년 6.2%, 2014년 5.9%, 2015년 6.3%로 평균 6% 수준인 것으로 나타났다. 2014년에 SOC의 투자 비중이 다소 감소하였지만 이후 지속적으로 증가하는 추세이다. 특히, 2016년 SOC 예산은 크게 증가하여 전체 예산에서 7.1%를 차지하고 있다. 이는 전년 대비 19.2% 증가한 것으로 독일의 SOC 투자가 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다(<표 IV-1> 참조).

SOC 예산의 부문별 투자 현황을 살펴보면, 교통에 대한 투자가 전체 예산의 60% 이상을 차지하고 있다. 특히, 도로가 SOC 전체 예산의 40% 이상을 차지해 가장 많으며,

다음으로 철도 및 대중교통이 20%대로 뒤를 잇고 있다. 반면, 주거, 지역 계획, 지역 공동체 서비스 등에 대한 투자는 10%대로 낮은 비중을 차지하고 있다. 한편, 에너지 및 수자원 공급 서비스 관련한 투자는 2013년 21.4%에서 2016년 26.4%로 증가하는 양상을 보인다(<표 IV-2> 참조).

<표 IV-1> 독일의 SOC 예산 규모

(단위 : 백만 유로(€), %)

구분	2013	2014	2015	2016
SOC 예산	18,200	18,212	18,972	22,607
총지출 대비 비중	6.2	5.9	6.3	7.1
SOC 예산 증감률	-	0.1	4.2	19.2

주 : 2016년은 추정 값을 사용함.

자료 : 조정식(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집.

<표 IV-2> 독일의 부문별 SOC 배분 현황

(단위 : 백만 유로(€), %)

구분		2013		2014		2015		2016	
		금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중
SOC 예산		18,200	100.0	18,212	100.0	18,972	100.0	22,607	100.0
교통	도로	7,399	40.7	7,852	43.1	7,859	41.4	8,786	38.9
	철도 및 대중교통	4,597	25.3	4,274	23.5	4,953	26.1	5,349	23.7
	소계	11,996	65.9	12,126	66.6	12,812	67.5	14,135	62.5
주거, 지역 계획, 지역 공동체서비스		2,304	12.7	2,010	11.0	2,004	10.6	2,502	11.1
에너지 및 수자원 공급, 거래, 서비스		3,900	21.4	4,076	22.4	4,156	21.9	5,970	26.4

주 : 2016년은 추정 값을 사용함.

자료 : 조정식(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집.

4) 호주

호주의 전체 GDP 예산에서 인프라 투자 금액은 최근 6년 간 약 10%를 차지하고 있

다. 특히, 도로, 철도 등 교통 분야는 전체 인프라 투자 금액의 50% 가까스로 가장 높은 비중이었으며, 다음으로 전기통신이 약 30%, 에너지가 약 20%를 차지하고 있다.

<표 IV-3> 호주의 인프라 투자 규모

(단위 : 백만 호주달러, %)

분야		2011-12년	2012-13년	2013-14년	2014-15년	2015-16년
교통		73,044	75,538	75,105	74,323	74,811
에너지	전기	25,771	25,576	24,973	25,141	25,463
	가스	1,681	1,831	1,805	2,019	2,227
전기통신		42,321	41,983	42,905	46,968	50,214
상하수도		16,454	16,912	16,460	16,674	17,068
GDP		1,509,109	1,545,932	1,584,578	1,621,350	1,668,711
GDP 대비 인프라 투자 비중		10.6	10.5	10.2	10.2	10.2

자료 : Australian Government, Key Australian infrastructure statistics 2016.

교통 분야의 경우 도로에 대한 투자가 가장 많았는데 2014-15년에는 전체 교통 투자 금액의 30.3%인 227억 호주달러(AUD)를 지출하였다. 다음으로, 운송 수단 및 철도 등에 대한 투자가 뒤를 이었다. 전체 GDP에서 인프라가 차지하는 비중은 2010년 이후 10% 수준을 유지하여 왔는데, 이 중 교통 분야의 투자가 차지하는 비중은 4%대로 절반 정도를 차지하고 있다. 최근 6년 간 추이를 살펴볼 때 교통 분야에 대한 투자가 다소 줄어들고 있기는 하지만 여전히 인프라 투자에서 중요한 부분을 담당하고 있음을 알 수 있다.

호주 통계청(Australian Bureau of Statistics, ABS)이 발간한 ‘Engineering Construction Activity’에서 인프라 분야별 기성 추이를 분석한 결과에 의하면, 2001년 이후 교통, 수자원, 에너지 관련 인프라가 급속히 증가한 것으로 나타났다. 교통 인프라의 경우 2009~10년부터 2011~12년까지 성장한 뒤 2012년 이후 감소하였다. 수자원 부문의 기성 규모는 2007~08에 급격히 증가한 후 2010년까지 꾸준히 증가하였으나 ‘South East Queensland Water Grid’ 등의 공사 완료 후 그 규모가 감소하였다.

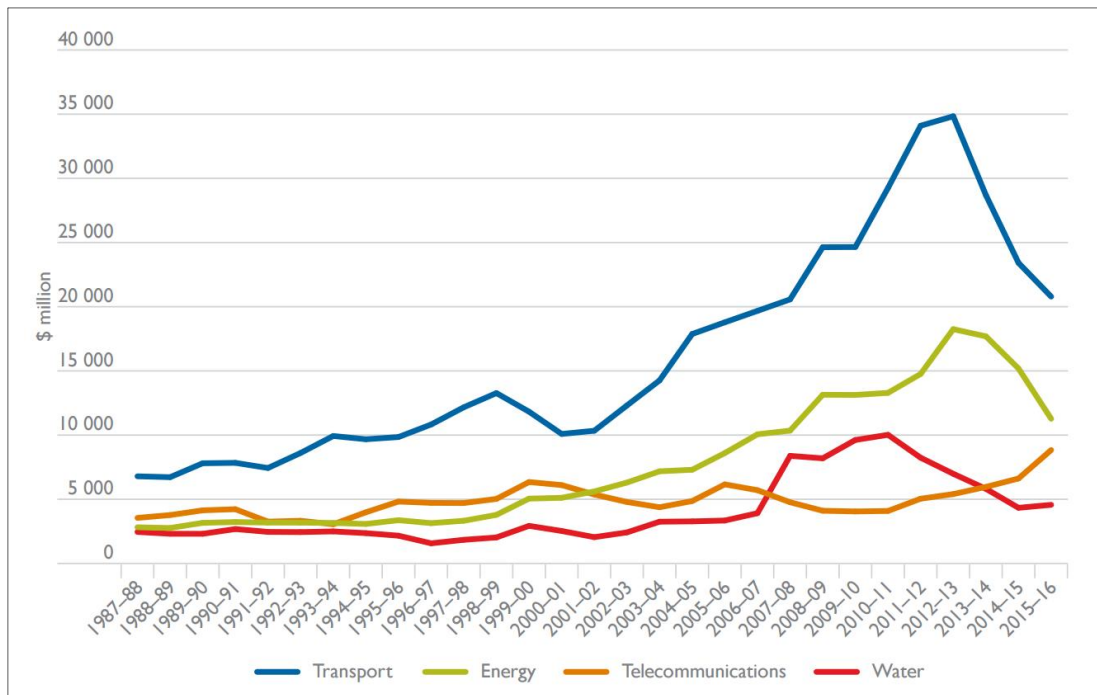
<표 IV-4> 호주의 교통 부문별 투자 규모

(단위 : 백만 호주달러, %)

분야	2011-12년	2012-13년	2013-14년	2014-15년	2015-16년
교통	73,044	75,538	75,105	74,323	74,811
도로	22,661	22,578	23,040	22,790	22,693
공항	6,818	6,854	6,758	6,746	7,230
철도 등 기타 교통수단	10,507	10,994	10,940	11,398	11,127
운송	33,085	35,151	34,367	33,389	33,760
GDP	1,509,109	1,545,932	1,584,578	1,621,350	1,668,711
GDP 대비 교통 투자 비중	4.8	4.9	4.7	4.6	4.5

자료 : Australian Government, Australian infrastructure statistics 2016.

<그림 IV-6> 호주의 인프라 분야별 기성 추이



자료 : Australian Government, Key Australian infrastructure statistics 2016.

5) 일본

일본의 SOC 예산 비중은 2009년부터 2012년까지 감소하였으나, 2013년부터 증가하기 시작하여 2013년 기준 전체 예산의 약 5%를 차지하고 있다. 부문별 투자를 살펴보면, 교통 부문이 7조 7,500억엔으로 SOC 투자 금액의 약 75%를 차지하고 있으며, 다음으로 커뮤니티 발전부문이 2조 1,500억엔으로 21%를 차지하고 있다. 교통 부문에 대한 높은 투자는 일본의 노후 인프라 문제를 해결하기 위한 것이라 할 수 있겠다.

<표 IV-5> 일본의 SOC 예산 규모

(단위 : 백만엔(¥), %)

구분	2009	2010	2011	2012	2013
SOC 예산	10,054,300	9,273,500	9,125,200	9,067,400	10,118,200
총지출 대비 비중	5.1	4.7	4.6	4.5	5.0
SOC 예산 증감률	-	-0.077	-0.015	-0.006	0.115

자료 : 국토연구원(2016) ; 조정식의원(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 국정감사 정책 자료집.

<표 IV-6> 일본의 부문별 SOC 예산

(단위 : 백만엔(¥), %)

구분	2009	2010	2011	2012	2013
SOC 예산	10,054,300	9,273,500	9,125,200	9,067,400	10,118,200
교통	7,371,000	6,657,400	6,895,800	6,906,700	7,756,500
수자원 공급	274,800	197,700	186,500	186,000	201,800
커뮤니티 발전	2,408,500	2,418,400	2,042,900	1,974,700	2,159,900

자료 : 국토연구원(2016) ; 조정식의원(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 국정감사 정책 자료집.

(2) 국가별 장기 인프라 계획상의 질적 제고 방향

1) 미국

WEF에 의하면, 미국 인프라의 질적 수준은 2006년 6.2점에서 2016년 5.9점으로 소폭 하락하였다. 또한, 2016년 기준으로 교통 분야별 질적 수준 점수는 7점 만점을 기준으로

항공 6.2점, 항만 5.7점, 도로 5.7점, 철도 5.0점을 받은 것으로 나타났다.⁴⁰⁾ 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 발간한 인프라 평가 보고서에서도 2013년 미국의 인프라 투자 수준은 'D+' 등급으로 여전히 미흡한 것으로 나타났다.⁴¹⁾ 이처럼 미국은 현재 기존 인프라의 노후화와 품질 감소 등으로 이에 대한 재건의 필요성이 증대되고 있는 상황이다.⁴²⁾

<표 IV-7> 부문별 정부 예산 계획

(단위 : 백만 달러)

분야	2017(추정)	2018(추정)	2019(추정)	2020(추정)	2021(추정)
교통					
육상	78,503	91,645	94,619	103,861	100,471
항공	19,779	19,701	20,058	20,313	21,195
수자원	10,045	10,247	10,484	10,731	10,991
기타	496	503	516	525	534
소계	108,823	122,096	125,677	135,430	133,191
도시 및 지역 개발					
도시 개발	4,492	4,268	4,351	4,438	4,526
지역 개발	13,040	3,058	3,128	3,218	3,251
재난 구조 및 사회보장	12,067	5,625	5,998	6,323	6,485
소계	29,599	12,951	13,477	13,979	14,262

자료 : 미국 예산관리국(Office of Management and Budget, OMB).

<표 IV-7>에서와 같이 미국의 예산관리국(Office of Management and Budget, OMB)에서 발표한 미 연방정부의 예산 계획을 살펴보면, 교통부문에 대한 투자가 주를 이루고 있다. 특히, 도로 등과 같은 육상 교통수단에 대한 투자가 전체 교통부문에서 70% 이상으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 교통 분야와 관련, 미국은 2015년 국가 교통 예산법인 「육상교통정비법(Fixing America's Surface Transportation, FAST)」을

40) White House Council of Economic Advisers(2016), 2016 Economic Report of President, p.259.: World Economic Forum, Global Competitiveness Report Survey.

41) 강상혁·이영환, 영미 선진국 인프라 평가 체계의 이해와 국내 도입 방향, 연구보고서, 한국건설산업연구원. 2013.

42) 조정식(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집.

제정해 2016년부터 2020년까지 약 5년 간 약 3,050억 달러를 도로, 안전, 대중교통, 철도, 연구개발 등의 분야에 투자하기로 하였다.⁴³⁾

향후 미국의 인프라 투자는 ‘21세기청정교통계획(21st Century Clean Transportation Plan)’ 기조 하에 이뤄지고 있다. 즉, 미국의 장기적 발전을 위해 새롭고 더 깨끗하고 지속 가능한 교통 시스템을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 2017년 예산에 교통 인프라 개선을 위해 전년 대비 196억 달러가 증가한 총 730억 달러가 편성되었는데, 인상분의 대부분인 179억 달러가 ‘21세기청정교통계획’에 투자되었다.⁴⁴⁾ 예산 투자 계획은 장기적인 관점에서 향후 10년 동안의 목표로 설정되었는데 구체적인 내용은 다음과 같다.⁴⁵⁾

- 첫째, 일상생활에서 교통 체증을 감소하기 위해 10년 동안 매년 200억 달러를 투자할 예정이다. 도심, 시골 등에 교통 시스템을 확대할 예정으로 이를 위해 ‘경제 회복을 위한 교통 투자(Transportation Investment Generating Economic Recovery, TIGER)’ 프로그램을 도입할 예정이다.
- 둘째, 이산화탄소 감소, 효율성 극대화, 공공투자에 대한 수익 극대화를 위해 10년 동안 매년 100억 달러를 투자해 스마트하고, 더 깨끗한 지역사회를 만들 수 있는 교통 시스템을 구축할 예정이다.
- 셋째, 스마트하고 깨끗한 운송 수단을 개발하기 위해 10년 동안 매년 20억을 달러를 투자할 예정이다. 이는 민관 협력을 통해 이루어질 계획으로 2020년까지 전기자동차, 저탄소 운송 수단 등 현재의 교통 연료 수단의 대체기술 개발을 목표로 함.
- 새롭게 변화하는 기술이 교통 시스템에 안전하게 통합될 수 있도록 10년 동안 매년 4억 달러를 투자할 예정이다. 전기 자동차, 무인 자동차 등이 빠르게 우리 사회에

43) 조정식 의원(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책 자료집.

44) ARTBA(American Road & Transportation Builders Association, 2016), Analysis of the Obama Administration's FY2017 Budget Proposal for Transportation : 1쪽.

45) OMB(Office of Management and Budget), Investing in American Infrastructure.

적용되고 있는데 사용자들이 안전하게 이용할 수 있도록 사용기준 등을 만들 것임.

- 그 외 새로운 에너지 개발에 투자하기 위해 현재 정유 회사에 배럴당 10달러의 세금을 부과하는 방안 등이 모색되고 있음.

한편, 트럼프 미 대통령은 선거 과정에서부터 인프라 투자를 강조하였고 향후 10년간 1조 달러 규모의 인프라 투자를 공약으로 제시하였다. 미국은 사회 인프라가 노후화되어 주요 인프라 시설 노후 연수가 평균 27년에 달하고 있는 상황으로(2015년 기준 도로 및 고속도로 28.4년, 상수도 25.6년, 하수도 26.5년) 트럼프 인수위는 이미 대통령 취임 이전 전국주지사연합(National Governor's Association)으로부터 해결이 시급한 인프라 프로젝트 목록을 받아 1,375억 달러 규모의 50개 주요 인프라 프로젝트 리스트를 작성한 바 있다.

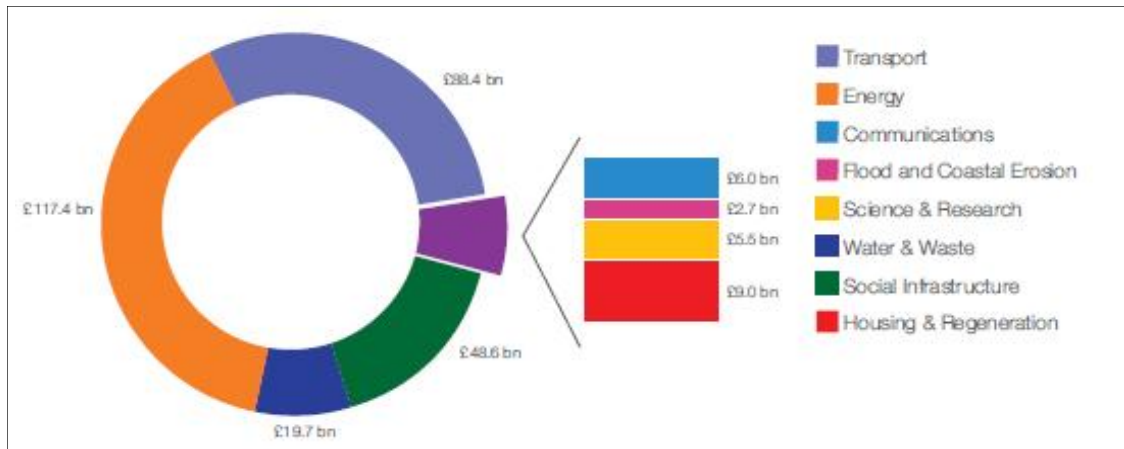
2) 영국

영국은 글로벌 금융위기를 극복하고 인프라 개선을 위해 2010년부터 ‘국가 인프라 투자계획(National Infrastructure Plan, 이하 NIP)’을 수립하였다. NIP에 따라 인프라 투자를 위해 2005~06년부터 2009~10년까지 420억 파운드를, 2010~11년부터 2014~15년까지는 약 17% 증가한 490억 파운드가 지출되었다. 이처럼 영국은 2010년 이후부터 인프라에 총 2,500억 파운드 이상을 투자해 왔다. 그 결과 주요 도로와 지역 교통, 수백 개의 전철 등 약 3,000개의 프로젝트가 완료되었다.

이후 2016년에 영국 정부는 NIP를 NIDP(National Infrastructure Delivery Plan)라는 이름으로 바꾸면서 2020~21년까지 인프라 개발을 위해 600개가 넘는 프로젝트에 4,830억 파운드를 투자한다는 계획을 발표하였다. 영국은 이 계획에 처음으로 사회적 인프라(학교, 병원, 교도소)와 함께 대규모 주택 재건 사업도 포함하고 있으며, 2020~21년까지 5년 동안 전체 예산에서 약 3,000억 파운드를 에너지, 교통, 사회적 인프라 등에 집중적으로 투자할 계획이다(<그림 IV-7> 참조).

2016년부터 향후 5년 간 인프라 투자를 부문별로 살펴보면, 에너지 부문에 대한 투자(1,174억 파운드)가 가장 높으며, 다음으로 교통(884억 파운드), 사회 인프라(486억 파운드), 수자원(197억 파운드) 부문이 그 뒤를 잇고 있다.

<그림 IV-7> 영국의 2016~17년부터 2020~21년까지의 부문별 인프라 투자 계획



자료 : Infrastructure and Projects Authority, Major Infrastructure Tracking Unit, "National Infrastructure Delivery Plan 2016~2021".

한편, 영국 정부는 인프라 투자 계획의 중기적(2020~2021년까지), 장기적(2050년까지) 관리를 위해 2016년 1월에 'Infrastructure and Projects Authority(IPA)'와 'National Infrastructure Commission'이라는 2개의 기관을 설립하였다. 먼저, IPA는 2016년 1월 정부의 주요 인프라 관련 사업의 효율적 운영과 감독, 자금 조달을 위해 Infrastructure UK(IUK)와 Major Project Authority(MPA) 두 기관을 합병하여 출범시킨 조직이다.

IPA는 경제 계획의 일환으로 2016년 3월 1,630억 파운드 규모의 중장기적 관점의 건설 전략인 'UK Government Construction Strategy 2016~2020'을 발표하였다. 이는 2011년 발표된 '건설전략 2011~2015'의 2차적인 성격을 가지는데 영국 정부는 '건설전략 2011~2015'를 통해 발주자로서 산업 참여자들과의 협력할 수 있는 관계를 구축했다는 평가를 받고 있다.⁴⁶⁾

한편, National Infrastructure Commission(NIC)는 2015년 10월 효과적인 장기 인프라 계획을 위한 독립 기관으로 설립되었다. NIC는 미래에 필요한 인프라가 무엇인지에 대한 명확한 청사진을 제공하는 역할을 하는데 이를 위해 ① 스마트 전력(Smart Power), ② 세계적 도시를 위한 교통(Transport for a World City), ③ 장기 계획을 위한 북쪽의 도로와 철도의 연결(High Speed North)이라는 3대 도전 과제를 만들었다.

영국은 공공과 민간 부문의 긴밀한 협력 하에 인프라 투자를 위한 종합적인 평가를

46) National Infrastructure Delivery Plan 2016~2021 ; 조정식(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집.

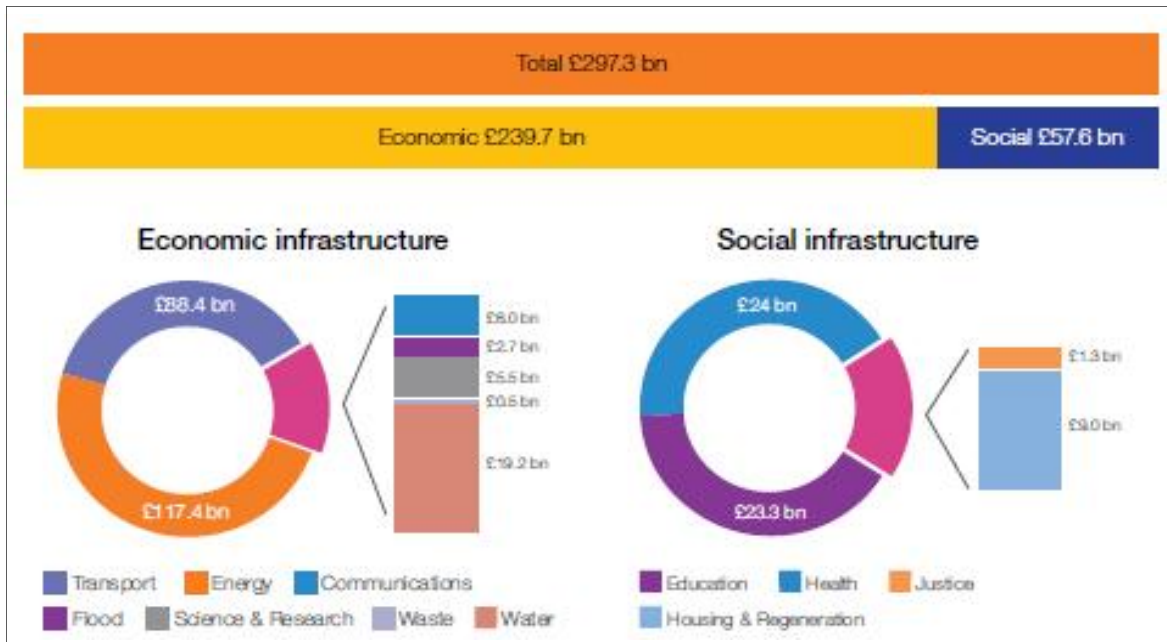
수행하고 있다. 여기에는 600개가 넘는 프로젝트가 있으며, 그 규모는 약 4,250억 파운드에 달하는 것으로 나타났다(사회적 인프라는 제외). 구체적으로 살펴보면 <표 IV-8>과 같이 교통, 에너지, 커뮤니케이션, 재난, 수자원 등의 분야에서 약 4,000억 파운드의 인프라 투자 계획을 세웠다.

<표 IV-8> 2016~17년 분야별 인프라 프로그램과 규모

분야	프로젝트(개수)	프로그램(개수)	투자 규모 (십억 파운드)
커뮤니케이션	2	4	6.0
에너지	109	58	255.7
방재	6	23	4.1
과학 및 연구	25	7	5.5
교통	166	163	134.5
폐기물처리	10	0	0.5
수자원	1	28	19.3
전체	319	283	425.6

NIDP에 따르면 영국은 연평균 590억 파운드씩 2020~21년까지 총 2,970억 파운드를 인프라에 투자할 계획이다. <그림 IV-8>과 같이 전체 투자 금액인 2,970억 파운드 중 2,397억 파운드(80.7%)가 경제적 인프라에 집중되어 있는 것으로 나타났다. 사회적 인프라(주택 개조, 교육, 교도소 등)의 경우 약 580억 파운드가 지출될 예정이다. 영국 정부의 인프라 투자 계획상으로는 프로젝트의 50%가 2020~21년까지 완료될 것으로 예상된다(<그림 IV-8> 참조).

<그림 IV-8> 2020-21년까지 경제적 인프라와 사회적 인프라에 대한 투자 비중



자료 : Infrastructure and Projects Authority, Major Infrastructure Tracking Unit, National Infrastructure Delivery Plan 2016~2021.

3) 독일

독일은 2030년까지 교통부문 인프라에 대한 투자를 늘릴 계획으로 이를 위해 2003년 ‘FTIP(Federal Transport Infrastructure Plan)’를 수립하였다. 기존의 교통 전략이 1980년대에는 철도 네트워크 개발, 1990년대에는 도시 개건, 2000년대에는 주요 도시의 연결 등 부분적으로만 교통 인프라를 구축하는 데 초점을 두었다면, FTIP는 독일의 교통 인프라 개발을 위한 종합적인 전략을 제시하고 있다. FTIP 2030은 <표 IV-9>에서와 같이 ‘교통 이용자의 이동성 촉진’, ‘재화 공급의 명확화 및 기업의 경쟁력 강화’, ‘교통수단의 안정성 강화’, ‘오염 배출 물질의 감소’, ‘자연 보호’, ‘소음 방지 등 삶의 질 향상’을 목표로 제시하고 있으며, 이를 위해 각 목표별 세부 전략을 제시하고 있다.

독일의 경우도 여타 선진국과 마찬가지로 노후 인프라에 대한 투자를 늘리고 있는 추세이다. 연방정부의 교통부문 인프라 투자를 살펴보면, 2011~2015년에 도로의 유지보수 관련 지출 비중은 증가한 반면, 도로의 새로운 건설 및 교체에 대한 투자는 감소하였다. FTIP에서도 2001년부터 2015년까지 연간 약 100억 유로씩 총 1,500억 유로를 철도, 도로, 수로의 인프라에 투자하고 있다.

<표 IV-9> FTIP 2030의 목표 및 세부 전략

목표	세부 전략
교통 이용자의 이동성 촉진	인프라 시설물의 유지 보수, 교체 및 현대화 교통 흐름 개선 및 병목현상 해결 교통의 접근성 향상
재화 공급의 명확화 및 기업의 경쟁력 강화	인프라 시설물의 유지 보수, 교체 및 현대화 교통 인프라 구축 원가 감소 교통 흐름 개선 및 병목현상 해결 교통수단 운영의 신뢰성 향상 공항, 항구 등 각종 운송 수단을 통합한 허브 구축
교통수단의 안정성 강화	인프라 시설물의 유지 보수, 교체 및 현대화 높은 수준의 안정성을 가진 교통수단으로 이동
오염 배출 물질의 감소	교통 흐름 개선 및 병목현상 해결 오염 물질 배출을 낮추는 교통수단으로 이동 인프라 시설물의 유지 보수, 교체 및 현대화
자연 보호	토지 개발 제한
소음 방지 등 삶의 질 향상	소음 방지

즉, 새로운 인프라를 건설하는 것뿐만 아니라 기존 인프라를 유지·보수하고 대체하는 데에도 투자를 강화하고 있다. FTIP 2030에서도 인프라 투자의 최우선 순위로 기존 인프라 시설의 유지보수 및 대체를, 다음으로 새로운 인프라의 구축을 꼽았다. 이때, 새로운 프로젝트를 추진함에 있어 FTIP 2030에서는 첫째, 교통 체증을 해결할 수 있는 최우선 프로젝트가 무엇인지, 둘째, 지속적으로 계획이 필요한 프로젝트가 무엇인지의 기준을 바탕으로 공사 프로젝트를 선정하고 있다.

FTIP 2030에서는 <표 IV-10>에서와 같이 2,696억 유로의 자금 투자 계획을 가지고 있다. 이 중 2,267억 유로는 기존 시설물의 유지관리와 성능 향상 및 최우선 프로젝트로 선정된 신규 인프라에 투자될 예정이다. 구체적으로 살펴보면, FTIP에서는 2030년까지 기존 시설물의 유지관리 및 교체를 위해 1,416억 유로를 투자할 계획이다. 그러나 이와 같은 예산은 FTIP가 당초 세운 계획 대비 약 69% 정도만 달성할 수 있는 금액으로 영국 정부를 이에 대한 보완을 위해 830억 유로를 추가적으로 더 편성할 예정이다. 기존 시설물의 유지관리 및 교체는 도로(670억 유로)와 철도(584억 유로)에 집중되어 있는데 이들 인프라에 대한 투자가 전체 예산의 90% 가까이를 차지하고 있다.

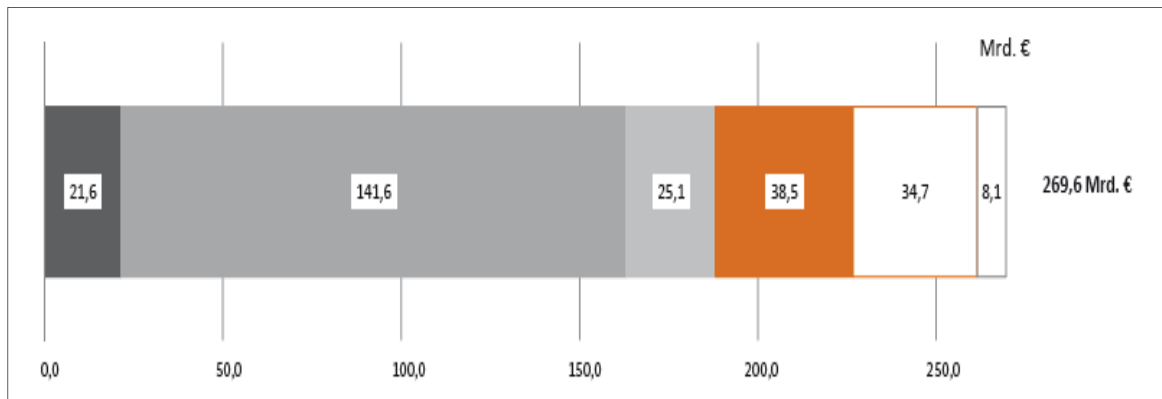
<표 IV-10> FTIP 2030의 교통 분야별 투자 계획

(단위 : 십억 유로)

분야	총 투자	기타 투자 (2016~2030)	시설물 유지/교체 (2016~2030)	성능 향상 및 신규 인프라(2016~2030) (시설물 유지/교체 제외)		성능 향상 및 신규 인프라 '준비'(2031년 이후)
			시설물 유지관리 및 교체 투자	지속적이고 명확히 계획된 프로젝트	일정 기준을 바탕으로 선정된 프로젝트	시설물 유지 및 교체가 포함된 새로운 프로젝트
간선도로	132.8	12.0	67.0	15.8	18.3	19.6
철도 인프라	112.3	7.4	58.4	8.4	18.3	19.7
운하	24.5	2.2	16.2	0.9	1.8	3.5
전체 교통수단	269.6	21.6	141.6	25.1	38.5	42.8

자료 : Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, The 2030 Federal Transport Infrastructure Plan.

<그림 IV-9> FTIP의 예산 배분



주 : 왼쪽부터 2030년까지 기타 투자액, 2030년까지 지속적이고 명확히 계획된 프로젝트에 대한 투자액, 2030년 이후 투자액(성능 향상 및 신규 인프라), 2030년까지 유지보수 투자액, 일정 기준을 바탕으로 선정된 프로젝트 투자액, 2030년 이후 투자액(유지보수 투자액).

자료 : Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, The 2030 Federal Transport Infrastructure Plan.

한편, 성능 향상 및 신규 인프라 투자(시설물 유지관리 및 교체 제외)에도 총 636억

유로의 예산이 배정되어 있다. 이 중 251억 유로는 지속성이 있고 명확히 계획된 프로젝트에, 나머지 385억 유로는 위에서 언급한 2가지의 기준을 바탕으로 선정된 프로젝트에 투자될 계획이다. 신규 투자 또한, 도로와 철도 인프라에 예산의 90% 이상이 배정되어 있다. 종합해보면, 전체 예산에서 49.4%가 도로에, 41.3%는 철도에, 9.3%는 운하에 투자될 계획이다. 독일은 2030년까지 인프라 중 교통부문에 대한 투자에 집중할 예정인데 특히, 독일의 교통부는 새로운 프로젝트를 추진하는 대신 현재의 인프라를 개선(예산의 약 70% 배정됨)하는 데에 주력할 계획이다.

4) 호주

호주 정부는 향후 급변하는 환경 변화에 맞춰 인프라의 자동화와 첨단화, 그리고 인프라의 재건과 투자를 위한 장기 계획의 필요성을 강조하고 있다. 호주는 'Infrastructure Australia Act 2008' 발표를 시작으로 후속 계획을 계속 발표하고 있다. 특히, 인프라의 재건은 호주의 인프라 계획에서 가장 중요한 부분으로 호주 정부는 1980~1990년대의 인프라 재건 정신을 이어받아야 할 것을 강조하고 있다. 물론, 국민들의 삶의 질 향상을 위해 새로운 인프라에 대한 투자도 병행하고 있다. 예를 들면, ITS(Intelligent Transport System)를 새로운 교통 체계의 핵심으로 인식하고 있다.

호주 인프라의 재건 계획은 ① 생산적 도시와 지역(Productive Cities, Productive Regions), ② 효율적 인프라 시장(Efficient Infrastructure Markets), ③ 지속 가능하고 공정한 인프라(Sustainable and Equitable Infrastructure), ④ 보다 나은 의사결정과 조달 (Better Decisions and Better Delivery) 등의 목표 하에 향후 15년 간 각종 사업이 이루어질 전망이다. 호주 정부는 인프라 사업의 우선순위 선정 과정을 통해 인프라 투자의 효율성, 생산성, 그리고 당면한 현안을 해결할 수 있을 것으로 내다보고 있다.⁴⁷⁾

호주 정부는 2015~16년부터 2019~20년까지 사회의 생산성 향상 등을 위해 인프라에 약 400억 달러(AUD)를 투자할 계획이다. 특히, 교통 및 기반 시설에 많은 투자를 할 것으로 예상된다.

도로의 경우 호주의 내국인이 이용하는 교통수단의 70%를 차지할 정도로 중요한 역할을 하고 있다. 향후에도 도시 내 이용객과 물류 운송의 주요 수단이 될 것으로 예측되

47) Australian Government (2016. 2), Australian Infrastructure Plan.

는데 Trends Infrastructure and Transport to 2030(2014)에 따르면, 트럭을 이용한 교통수단은 2030년에 현재보다 약 50% 증가할 것으로 전망되고 있다. 철도는 도로를 대체하기 위한 수단으로 투자를 늘릴 예정인데 2030년까지 현재 대비 2/3가 증가할 것으로 예측되고 있다. 경제연구소인 딜로이트 액세스 이코노믹스(Deloitte Access Economics)는 현재 철도의 민영화를 통해 9,200만 호주달러(AUD)의 수익을 얻고 있지만 2030년에는 약 2.3억 달러까지 수익이 증가될 것으로 전망하였다. 향후 2030년까지 항공 교통의 규모는 현재보다 120% 이상 성장할 것으로 예상하고 있다. 해양 교통의 경우 지난 십수년 간 급속히 증가해 왔는데 향후 2030년까지 현재까지 해 운 성장의 약 2배 이상 성장할 것으로 전망되고 있다. 대중교통은 2004년 이후부터 모든 수도권에서 급속히 성장해 왔는데 2030년까지 이용객이 현재보다 30% 이상이 증가할 것으로 예상된다.⁴⁸⁾

이처럼 빠른 인구 성장 등으로 인해 교통수단은 향후 20년 내에 현재의 2배 이상 활성화될 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 호주의 인프라 분야별 향후 투자 계획은 <표 IV-11>에서도 알 수 있듯이 육상 교통에 대한 투자가 전체 투자 금액의 50% 이상을 차지하고 있다.

<표 IV-11> 호주의 인프라 투자 계획

(단위 : 만 호주달러)

구분	2015~16년	2016~17년	2017~18년 (추정)	2018~19년 (추정)	2019~20년 (추정)
교통 보안 (Transport security)	70,489	71,357	70,945	69,516	70,834
육상 교통 (Surface transport)	454,759	499,336	512,569	518,832	524,125
도로 안전 (Road safety)	24,918	24,068	18,881	18,447	18,830
항공(Air transport)	289,935	329,847	290,455	234,635	231,744
소계	840,101	924,608	892,850	841,430	845,533

자료 : Infrastructure and Regional Development Portfolio(2016), Portfolio Budget Statements 2016~17 Budget related paper No. 1. 13.

48) Australian Government (2014), Trends Infrastructure and Transport to 2030.

5) 일본

일본은 2012년 제3차 사회자본정비중점계획(2012~2016)을 수립하여 SOC 정책과 관련해 총 9개 과제 18개 시책을 제시해 전략적인 투자를 실시하고 있다. ‘사회자본정비중점계획’은 제1차 계획(2003~2007), 제2차 계획(2008~2012), 제3차 계획(2012~2016)이 추진되었으며, 2015년부터 국토형성계획의 구체화를 위해 제4차 계획(2015~2020)이 추진 중이다. 이는 2020년 도쿄올림픽·패럴림픽 일정에 맞춘 것으로 일본은 인프라에 대한 전략적 투자를 계획하고 있다. 지속가능한 사회자본 정비의 기본 방침은 ‘사회자본 스톡효과 최대화를 목표로 한 전략적 인프라 관리’로, 지진으로 인한 피해 복구, 노후화된 인프라의 보수, 기후재해, 인구 감소에 따른 문제점 발생, 국가 경쟁력 강화 등에 대응하기 위한 사업을 실시하고 있다.

일본은 아베노믹스가 추진되면서 경기 부양 및 자연 재해 대처를 위해 ‘국토강인화계획’을 수립해 향후 10년 간 200조엔을 도로 및 항만 부문에 집중적으로 투자할 계획이다. 이에 따라 2016년 8월, 정부는 28조엔 규모의 경기 부양책을 제시, 2016년 제2차 추가경정 예산에 반영하여 인프라 정비 등 대규모 공공사업의 적극적 추진을 계획하고 있다. 이번 정책으로 도쿄와 나고야, 오사카를 잇는 차세대 고속철인 리니어 중앙 신칸센의 조기 개통 등 ‘21세기형 인프라 정비’ 사업에 10조 7,000억엔이 투입될 예정이다.⁴⁹⁾

3. 주요 시사점

전 세계적으로 인프라 투자의 양적/질적 투자의 중요성이 높아지고 있는 가운데 주요 선진국의 인프라 정책과 국내의 정책을 종합적으로 정리하여 비교하면 <표 IV-12>와 같으며 주요 시사점은 다음과 같다.

첫째, 선진국의 인프라에 대한 투자가 2012년 금융위기 이후 증가하고 있다는 것이다. 이는 경제 활성화, 경제적 효율성 극대화를 위한 것으로 지속 가능한 인프라 구축을 목표로 하고 있다. 주로 교통부문에 대한 투자가 주를 이루는데 특히, 도로, 철도에 집중적으로 투자를 할 계획이다. 반면, 우리나라의 경우 위에서 언급되었듯이 SOC 예산은 매

49) 일본 관련 내용은 조정식(2016. 9), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집의 내용을 정리한 것이다.

년 감소 추세에 있다. 특히, 최근 5년 동안 SOC 예산은 타 부문에 비해 소외를 받아오고 있어 선진국의 추세와는 반대되는 양상을 보이고 있는 것으로 나타났다.

<표 IV-12> 선진국의 인프라 정책 추진 동향 비교

국가	인프라 투자 증가	장기 인프라 계획 수립
미국	· 2012년 글로벌 금융위기 이후 증가 추세	· 육상교통정비법(FAST) · 21세기를 위한 교통 시스템
영국	· 2013년 이후 증가 추세	· 국가 인프라 투자 계획(NIDP)
독일	· 2013년 이후 증가 추세	· 정부 교통 인프라 계획(FTIP)
호주	· 최근 6년 간 증가 추세	· 호주 인프라 계획
일본	· 2013년 이후 증가 추세	· 사회자본정비중점계획
한국	· SOC 예산 감소 추세	· 5년 단위로 중기교통시설투자계획 수립
국가	첨단 기술 도입 필요성 강조	노후 인프라 투자 강화
미국	· 스마트 인프라 추구 목표	· 기존 인프라 개선에 초점(트럼프 정부는 해결이 시급한 노후 인프라 사업 리스트 선정)
영국	· 스마트 파워 · 전 세계 도시를 위한 교통 인프라 강조	· 인프라 재건과 reform에 초점
독일	· 교통 안정성을 위한 기술 도입, 오염 배출 물질 감소 등을 목표로 설정	· 노후 인프라에 대한 투자 집중
호주	· 지속 가능한 인프라, 생산적 도시 등 강조	· 인프라 재건에 투자 집중
일본	· 21세기형 인프라 정비사업 초점	· 노후화된 인프라 보수에 초점
한국	· 국가 차원의 정식 계획은 없음.	· 기존의 계속사업에 투자 집중

둘째, 선진국은 장기 인프라 계획 수립 하에 투자가 이루어지고 있다. 미국의 「육상교통정비법」(FAST Act), 영국의 국가 인프라 투자계획(NIDP), 독일의 정부 교통 인프라 계획(FTIP) 등 각 국가들은 인프라에 10년 이상의 장기적인 투자 계획을 수립하고 있다. 우리나라의 경우 5년 단위로 중기교통시설투자계획을 수립하고 있으나 해외 선진국

의 경우처럼 인프라에 대한 중장기적인 종합적인 계획, 즉 향후의 트렌드 변화에 맞춘 기술력 도입, 인구 통계학적 변화, 정치적 변화 등의 상황을 고려한 인프라의 분야별 투자 전략이 포함되지 않은 채 단순히 예산 계획만 세우고 있는 상황이다.

셋째, 선진국의 장기 투자 계획은 기존의 노후 인프라를 재건하는 데에 초점을 두고 있다. 새로운 인프라의 건설도 중요하게 다루고 있지만 오래된 기존의 도로, 철도 등 교통수단을 보수하고 보완하는 데 투자를 집중하고 있다. 이때, 인프라 재건시 친환경적으로 경제적 효율성을 높이기 위한 방향으로 바꾸는 것을 중요시하고 있어 이를 위한 수단으로 첨단 기술의 도입 필요성을 언급하고 있다. 반면, 우리나라는 기존에 진행되어 왔던 사업을 마무리하는 데에 예산의 대부분이 편성되어 있으며, 시설물 노후화에 대한 투자는 재투자가 절실히 필요한 시점임에도 불구하고 아직까지 활발히 진행되지 못하고 있다.

넷째, 신규 혹은 노후 인프라에 대한 질적 제고에 있어 선진국의 기본 정책 기조는 스마트 인프라 구축을 지향하는 것으로 판단되나, 아직까지 완성 시설물의 사례는 많지 않은 실정이다. 국내의 경우도 다양한 정책 기조에서 4차 산업혁명 기술의 도입의 필요성이 강조되고 있지만, 중장기 인프라 추진 계획과 관련해서는 선진국과 같은 질적 제고, 즉 스마트 인프라 도입의 계획은 미흡한 실정이다.

1. 4차 산업혁명과 스마트 인프라의 개념

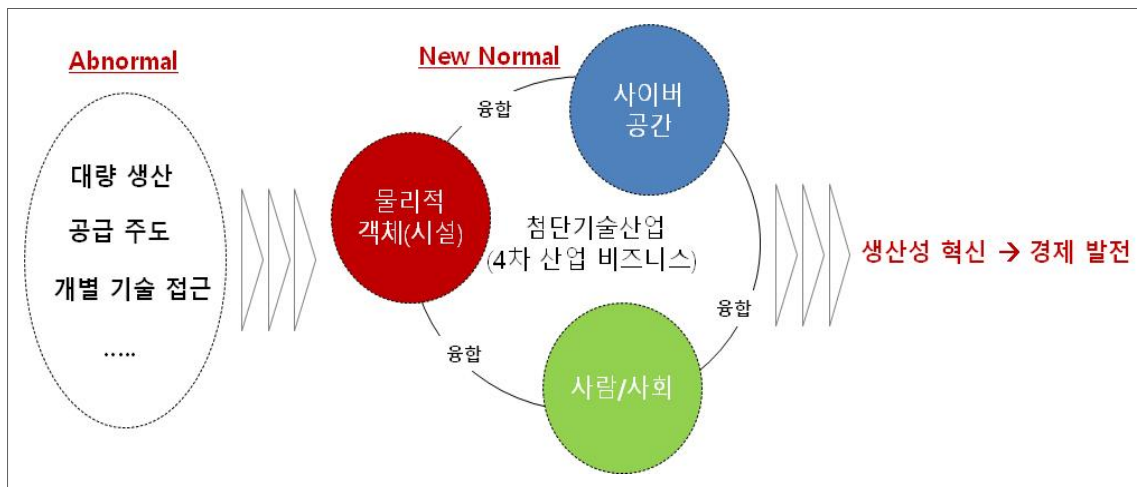
(1) 4차 산업혁명 동향

스마트 인프라는 무엇으로 정의할 수 있을까? 혹자는 4차 산업혁명 기술이 적용된 인프라를 떠올릴 것이며, 어떤 이는 포괄적 의미에서 첨단 기술이 적용된 인프라로 인식할 수 있을 것이다. 건설산업은 실제로 4차 산업혁명보다는 아직 3차 산업혁명의 기술 접목도 충분히 이뤄지지 않은 것으로도 평가된다. 가장 중요한 것은 수요자 입장에서 기존의 방식보다 진일보한 혁신성과 이에 따른 효과를 기대할 수 있느냐에 달려있다. 먼저 4차 산업혁명에 대해 살펴보자.

2016년 1월, 다보스포럼의 주제로 다뤄지면서부터 4차 산업혁명에 대한 논의가 본격적으로 시작되었다. 4차 산업혁명이란 용어는 현재 진행되고 있는 정보화 및 기술의 진보를 설명하기 위한 키워드로 적극적으로 사용되고 있다. 4차 산업혁명은 증기를 이용하는 기계설비에 따른 1차 산업혁명, 전기를 사용하고 분업화로 대량생산이 가능해진 2차 산업혁명, 그리고 1970년대 본격화된 정보통신 기술 혁명과 자동화 생산을 특징으로 하는 3차 산업혁명에 이은 것으로 보고 있다. 4차 산업혁명은 기계와 사물, 인간의 연결을 통해 정체되어 있던 산업의 생산성을 다시 폭발적으로 향상시킬 것으로 기대된다.

다보스포럼은 ‘일자리의 미래(The Future of Jobs)’ 보고서에서 4차 산업혁명이란 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷(IoT), 자율주행차량, 3D 프린팅, 나노기술, 바이오기술 등 새로운 기술이 몰고 올 혁명적 변화라 설명한 바 있다. 다보스포럼(세계경제포럼)의 회장인 클라우스 슈밥은 저서 『4차 산업혁명』에서 디지털 기술, 빅데이터, 사물인터넷, 인공지능, 로봇공학, 3D 프린팅, 신경기술 등을 4차 산업혁명의 기술로 언급하였고, 그 밖에 새롭게 등장할 미래 상품으로 커넥티드 홈, 스마트 도시, 무인 자동차 등 건설산업과 관련된 상품을 제시하기도 하였다.

<그림 V-1> 건설부문의 4차 산업혁명 개념과 효과



4차 산업혁명과 함께 논의되는 독일의 Industry 4.0의 대표 기술은 IoT(Internet of Things, 사물인터넷)와 CPS(Cyber Physical Systems, 사이버 물리시스템)라 할 수 있다. IoT는 정보통신 기술을 기반으로 다양한 사물들을 연결하는 기술이며, CPS는 가상의 사이버 세계와 현실의 물리적 세계를 연결한다. 즉, Industry 4.0은 현실의 센서, 기계 설비 등을 가상 세계로 연결하고, 디지털 기술, 인공지능 등을 통해 현실의 생산 과정을 제어하는 것이다.

4차 산업혁명을 설명하는 기술과 미래 상품은 현재 여러 가지로 제시되고 있다. 기존의 기술과 상품도 4차 산업혁명으로 새롭게 해석되며 4차 산업혁명의 내용은 다양하게 확장 중이라 할 수 있다.

(2) 스마트 인프라의 개념과 범위

4차 산업혁명을 위시한 첨단 기술 적용과 관련하여 스마트 인프라의 특성과 범위는 다양하게 고려할 수 있는데, 우선 수요자 측면에서 논의하면 다음과 같다. 건설산업에서 수요자는 내부 수요자(internal customer)와 외부 수요자(external customer)로 구분할 수 있다. 내부 수요자는 각 가치사슬(value chain)상의 연결된 수요자가 있다. 설계자의 수요자는 시공 계약자이며, 자재업자 및 하도급자의 수요자는 원도급자가 될 수 있다. 외부 수요자는 사용자(운영 주체) 및 일반 국민이 되겠다. 스마트 기술의 적극적인 도입과 접목은 바로 수요자의 관점에서 출발해야 한다.

기술 적용의 관점에서 스마트 인프라는 크게 투입(input)과 산출(output)의 개념으로 구분할 수 있다. 외부 사용자의 입장에서 스마트 기술이 적용된 인프라는 산출물일 것이다. 스마트 도로, 공항, 철도, 학교, 교량 등의 건설상품이다. 내부 수요자의 관점에서는 건설 생산 과정 즉, 기획에서부터 운영에 이르는 과정에서의 스마트 기술의 접목과 융합을 거론할 수 있다. 따라서 아직까지는 완전하지는 않지만 스마트 인프라는 건설 생산 과정의 스마트화, 완성 건설 상품의 스마트화 두 가지로 바라볼 수 있다. 더불어 건설 상품의 스마트화는 단순히 첨단 기술의 적용 여부만이 아니라 예를 들면 국민 편의성을 높일 수 있는 교통 노선의 확장, 신설 등도 포함될 필요가 있다.⁵⁰⁾ 기술의 적용 여부 중심의 접근은 공급자 중심의 협소한 시각이라 생각된다.

다음은 스마트 기술의 범주이다. 현재 4차 산업혁명에서 주로 논의되고 있는 첨단 기술은 자율주행차량, 드론, 첨단 제조 기술(3D 프린터 등)과 자동화, 첨단 소재와 신재생 혹은 새로운 에너지, 디지털 기술 등이 있다.⁵¹⁾ 대부분 건설산업에 활용 가능성이 높은 기술임에도 불구하고, 우리 산업에서는 아직 실무 도입 의지가 미흡한 실정이다. 건설산업의 스마트 기술은 좀 더 포괄적인 개념에서 3차 산업에서의 정보통신 기술(Information and Communication Technology, 이하 ICT)을 포함시켜야 할 것으로 판단된다. 건설산업의 미래형 스마트 인프라는 다음의 특성에 따라 분류할 수 있으며, 이에 따른 스마트 인프라 투자 계획이 마련되고 점검되어야 할 것이다.

먼저, 스마트 인프라의 생산 단계 프로세스, 자재, 공법, 정보 등의 혁신 부문이다. 미국 CII를 통해 2000년 초반부터 논의되어 왔던 FLATECH(Fully Integration and Automation Technology) 로드맵의 각 단계별 혁신 방향을 살펴보면 건설 생산 단계의 스마트화를 이해할 수 있을 것으로 판단된다. 시나리오 기반의 사전계획(Scenario Based Planning), 설계 자동화(Automated Design), 통합/자동화 자원 조달 체계(Integrated & Automated Procurement & Supply Network), 지능형/자동화 시공(Intelligent & Automated Construction Jobsite), 실시간 프로젝트/시설물 관리(Real Time Project and

50) 스마트 기술의 적용이 아니라 교통 시간 단축, 친환경성 제고 등 국민 생활의 편의성 제고를 위한 인프라 역시 국민 생활의 스마트화를 유도한다는 측면에서 스마트 인프라에 포함시킬 필요가 있다. 예를 들면 KTX 사업을 300km 이상의 첨단 열차를 활용한 이동 시간 단축 사업으로 볼 것인지 아니면 단순히 교통망 확충 사업으로 볼 것인지 모호한 측면이 있다. 즉, 포괄적으로는 해당 인프라 사업의 적용 기술뿐만 아니라 이를 통해 변화되는 국민생활과 경제 성장 등 혁신적 기대효과도 스마트 인프라의 범주에 포함되어야 할 것으로 판단된다.

51) Bridging Global Infrastructure Gaps, Mckinsey Global Institute, 2016. 6.

Facility Management, Coordination and Control), 새로운 재료/공법 장비(New Materials, Methods, Products, & Equipments), 생애주기 통합 데이터 관리(Lifecycle Data Management & Information Integration) 등을 생각해볼 수 있다. 특히 생애주기 통합 데이터 관리는 건설사업의 각 단계별 실시간 정보 활용을 가능케 하는 기반이 될 것이다.

다음으로, 시설의 스마트화 부문이다. 즉, 사용자를 위한 스마트 기술 적용의 극대화 및 확산을 통한 인프라 운용의 효율성 확보 및 사용 편의성과 경제성을 도모하는 것이다. 우선, 스마트 도로의 경우 자율주행차량, 실시간 교통 정보와의 연계, 최고 속도를 상향할 수 있는 초고속도로, 친환경 도로 등이 주요 개념이 될 수 있다. 스마트 철도는 가깝게는 기존의 첨단 철도인 KTX/SRT 등부터 멀게는 하이퍼 루프(Hyper Loop)와 같은 완전히 새로운 이동수단까지 국민 생활의 혁신성과 스마트화를 높일 수 있는 시설의 신설 및 성능 개선을 고려할 수 있다. 또한 사용자 입장에서 기존 남북축 중심의 고속철도뿐만 아니라 동서축을 연결하는 것도 시설 사용의 스마트화를 확산시키는 것이라 할 수 있다. 도심의 경우 신분당선과 같이 수도권과 서울을 연결하는 GTX사업 역시 스마트 인프라의 범주에 포함할 수 있다. 물론, 스마트 기술의 공격적인 적용도 함께 포함되어야 할 것이다.

지하매설물의 경우 도심 내의 상수도 및 하수도관은 현재 노후화가 급속히 진행되고 있어, 지금은 관의 교체, 증설, 성능 향상 등이 다양하게 고려되고 있다. 여기에 스마트 센서, 빅데이터 분석 기술 등을 접목할 경우 예방적 유지관리 및 국민 안전 확보에도 상당한 기여를 할 것으로 판단된다. 학교 역시 인프라에 포함시켜야 한다. 초/중/고등학교 등에 그린 기술과 첨단 기술 적용을 확산할 경우 직접적인 복지 정책보다 더 큰 부가가치를 창출할 수 있을 것이다. 또한 인프라의 안전하고 스마트한 관리 시스템의 도입도 필요하다. 스마트 센서, 빅데이터 기술, 인공지능과 접목한 인프라 시설의 효율적인 점검 및 관리 시스템의 구축이 필요하다. 이상과 같이 본 연구에서 고려하고 있는 스마트 인프라의 범주와 특성은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 하지만 발주자와 공급자 측면에서 스마트 인프라는 ①, ②가 중심이 될 것으로 판단된다.

- ① 건설 생산 과정에서 스마트 기술의 적용과 융합
- ② 완성 시설물상의 스마트 기술 구현(시설 활용 측면의 첨단성과 편의성 확보)
- ③ 인프라 구축을 통한 국민 생활의 스마트화(시설 사용을 통한 직간접 기대효과의 극대화 : 사용자 비용 저감, 시간 단축, 안전 확보 등)

2. 스마트 건설 기술 동향

본 절에서는 앞서 언급한 바와 같이 스마트 기술 적용을 생산과 상품 관점으로 나누어 주요 동향을 살펴보고자 한다.

(1) 건설 생산 핵심 기술

건설산업은 산업의 특수성에 기인하여 타 산업에 비해 첨단 기술 활용, 즉 자동화가 더딘 산업으로 인식되어 왔다. 건설산업의 생산성 향상을 위한 자동화의 중요성은 지속적으로 언급되어 왔지만 그동안 산업 내에서 기술 발전에 대한 투자는 보수적이었던 것이 사실이다. 그러나 최근 기술의 획기적인 발전에 힘입어 그동안 언급되어 왔던 기술들이 상용화되고 건설산업에서 최신 기술 도입에 대한 움직임이 그 어느 때보다 활발해지고 있다.

4차 산업혁명에 대한 관심이 세계적으로 높아짐에 따라, 이를 선도할 다양한 미래 핵심 기술들이 소개되어 왔다. 그러나 건설 생산과정의 혁신적 변화를 위한 핵심 기술들에 대한 보고서는 아직 많지 않다. WEF⁵²⁾는 건설산업에 커다란 파급 효과를 가져다줄 14개의 미래 핵심 기술을 영향과 가능성 측면에서 분석하였고, Castagnino⁵³⁾는 10가지 기술이 건설공사 단계별로 적용될 수 있는 가능성을 제시하였다. JBKnowledge사는 2012년부터 매년 건설산업 유망 기술들에 대한 동향 조사를 해왔으며, 2016년 보고서⁵⁴⁾를 통해 건설산업 미래 핵심 기술을 10가지로 분류하고 기업들의 투자 현황에 대해 살

52) World Economic Forum(2016), Shaping the Future of Construction - A Breakthrough in Mindset and Technology.

소개된 14개 기술은 Integrated BIM, Prefabricated building components, Real-time mobile collaboration, Advanced project-planning tools, Wireless monitoring(IOT), Advance building materials, New active materials, Self-healing materials, Augmented reality, 3D printing of components, 3D laser scanning, Big data analytics, Drones, Contour crafting of buildings임(파급 영향 순으로 나열한 것임).

53) Castagnino et al.(2016) What's the future of the construction industry? World Economic Forum. 소개된 10개 기술은 Big data & analytics, Simulation & virtual reality, Mobile interfaces and augmented reality, Building Information Modeling(in the cloud), Ubiquitous connectivity & tracking, Additive manufacturing, 3D scanning, Smart construction equipment & robotics, Unmanned aerial vehicles, Embedded sensors임.

54) JBKnowledge(2016), The 5th Annual Construction Technology Report. 여기에 소개된 10개 기술은 Drone, 3D scanner, Pre-fabrication/modularization, Virtual reality, Augmented reality, 360 Degree photo/video, 3D printer, Wearable device, Job site sensor, Smart tool임(2016년 기업 투자 현황별로 나열한 것임).

펴보았다.

본 절에서는 상기 보고서에서 공통적으로 언급되는 건설산업의 9가지 미래 핵심 기술(BIM, 모바일 기술, 드론, 3D 스캐너, 모듈러 공법, 가상/증강 현실, 3D 프린터, 센서, 빅 데이터 기반 인공지능)에 대해 간략하게 소개하고 핵심 기술들이 어떻게 융합되어 사용되고 있는지에 대해 살펴해보도록 하겠다.

1) Building Information Modeling(BIM)

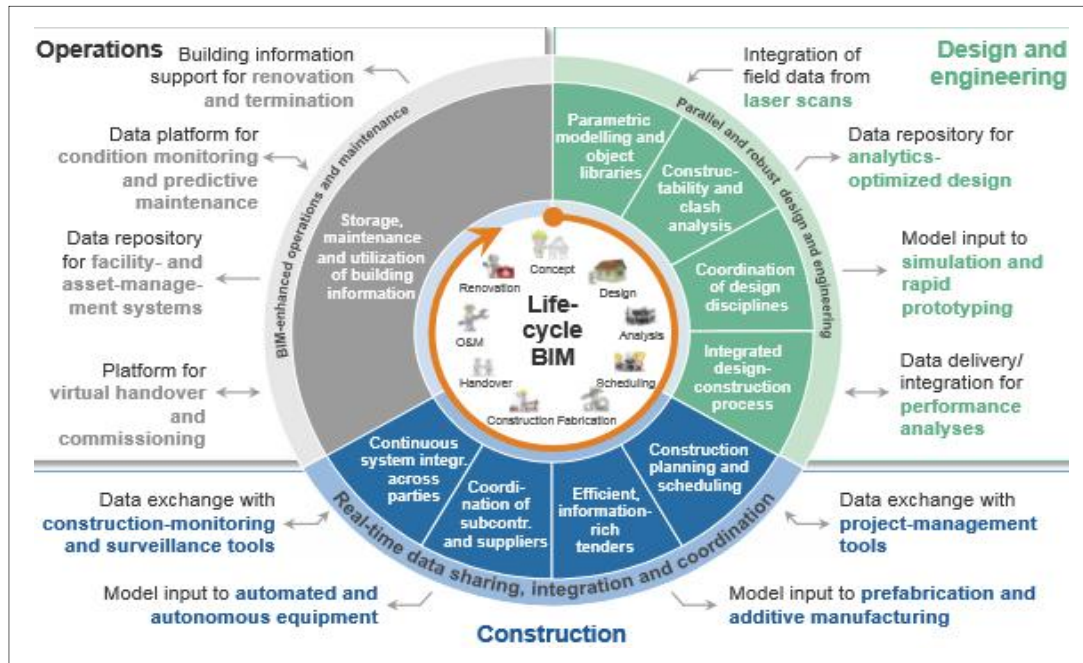
BIM은 3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 생애주기에 걸쳐 발생하는 모든 정보를 통합하여 활용이 가능하도록 시설물의 형상, 속성 등을 정보로 표현한 디지털 모델을 뜻한다.⁵⁵⁾ 기존의 2차원 중심의 분리되어 있는 도면 환경과 달리 BIM은 건설 사업 전반에 걸친 정보를 하나의 디지털 도면으로 통합관리 할 수 있어 생산성 향상, 시공 오차 최소화, 체계적이고 과학적인 운영 및 유지관리를 가능케 하는 등의 장점으로 인해 국내외 건설산업에서 널리 사용되고 있다.

WEF에 따르면⁵⁶⁾ BIM은 건설사업 생애주기 전반에 걸쳐 사업 관계자들의 협업을 이끌어낼 수 있는 플랫폼 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 현 수준에서 BIM은 <그림 V-2>에 나타난 여러 기능 중 간섭 검토(Clash Detection)와 같은 일부 기능만이 널리 사용되고 있지만, 새로운 핵심 기술들과의 융합에 있어 허브 역할을 해줄 것으로 기대되어 활용도가 매우 높아질 전망이다.

55) 이강원, 손호웅(2016), 『지형 공간정보체계 용어사전』, 구미서관.

56) World Economic Forum(2016). Shaping the Future of Construction - A Breakthrough in Mindset and Technology.

<그림 V-2> 건설사업 생애주기별 BIM 적용 개념도



2) 모바일 기술

스마트폰과 태블릿 PC의 등장은 우리 생활의 획기적인 변화를 가져왔다. 이는 건설산업의 경우도 마찬가지다. SmartMarket Report의 2013년 보고서⁵⁷⁾는 건설현장의 모바일 기술 도입이 현장 생산성, 커뮤니케이션, 협업 및 자료 공유에 큰 도움이 될 것으로 예상하였다. 2013년 당시만 해도 모바일의 카메라, GPS 서비스, 음성녹음 기능 등이 보편적으로 사용되었으나, 최근에는 모바일 앱을 사용한 다양한 분야에서 모바일 기술이 활발하게 활용되고 있다. JBKnowledge⁵⁸⁾의 2016년 건설현장 모바일 앱 사용에 관한 설문조사에 따르면, 프로젝트 관리(58.5%), 현장정보 수집(52.7%), 안전관리(48.3%)에 모바일 앱이 이미 활발히 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 스마트폰과 태블릿 PC의 건설현장에서의 역할은 단순한 유행이 아닌 필수적인 것으로 인식해야 하며, 향후 모바일은 다른 혁신 기술들과의 융합을 통하여 활용 분야가 더욱 넓어질 것으로 예상된다. 예를 들어 모바일을 통한 드론의 조작, 현장의 3D 스캐닝, 증강현실의 구현 등은 이미 개발 중에 있으며, 건설 생산에 있어 더 큰 변화를 불러일으킬 것이다.

57) SmartMarket Report(2013). Information Mobility : Improving Team Collaboration through the Movement of Project Information.

58) JBKnowledge(2016). The 5th Annual Construction Technology Report.

3) 드론(Drone)

드론은 건설산업의 미래 핵심 기술 중 민간 기업으로부터 가장 많은 관심을 받고 있는 기술이다. 건설산업에서 드론의 활용도는 매우 다양하다. 드론은 이미지, 비디오, 지형 데이터 등 다양한 형태의 데이터를 실시간으로 수집·제공하여 현장의 자산관리 및 하도급관리 등을 향상시킬 수 있다. 드론은 인력에 의한 현장 관리와 달리 멀리 있고 위험한 장소를 쉽게 접근할 수 있다.

미국에서는 급격히 성장하는 드론산업에 발맞추어 2016년 연방항공국(Federal Aviation Administration, FAA)에서 관련 법안(*First Commercial Drone Regulation*)을 제정한 바 있다. 미국 드론 개발사인 3DR은 소니, 오토데스크와 함께 건설 현장에 특화된 드론 ‘사이트 스캔(Site Scan)’을 개발하였다. 이 드론은 탐색, 조사, 점검의 3가지 기능이 탑재되어 있는데, 탐색 모드에서는 항공 촬영 데이터를 가상의 3D 모델에 전송하며, 조사 모드는 사용자에게 필요한 데이터 수집을, 그리고 점검 모드에서는 사람이 직접 점검하기 힘든 노후화된 시설물 점검을 안전하고 빠르게 수행해 준다. 드론에 의해 공유되는 실시간 데이터는 현실과 디지털 모델 간의 차이를 줄여줄 수 있을 것으로 기대되며, 3D 스캐닝과 같은 다양한 기술과의 융합을 통한 앞으로의 기대가 더 큰 기술이라 할 수 있겠다.

4) 3D 스캐닝(3D Scanning)

건설산업에서 3D 스캐닝 기술은 스캔한 데이터를 3D 모델링 작업의 기초로 활용하거나, 다양한 측량 및 지반조사 영역에서도 활용되고 있다. 3D 스캐닝 기술은 기존 측량 방법보다 시간이 적게 걸리고 정확하나, 상대적으로 비싸고 사용의 전문성을 요구한다. 이 기술은 오래된 문화재와 같은 복잡한 형태의 기존 시설물의 디지털 도면화 작업 등에 널리 사용되고 있다. 3D 스캐닝 기술은 문화재 복원과 리모델링 사업과 같은 특수한 목적으로 사용되어 왔으나, 최근 기술이 발전함에 따라 활용도가 커질 것으로 예상된다. 구글은 모바일에 3D 스캐닝 기술을 접목하는 프로젝트를 수행 중이며, 드론에 스캐너를 장착할 경우 접근성 문제를 해결할 수 있다. 또한, 최근 활발히 연구 중인 스캔한 데이터를 자동으로 3D 모델화하여 BIM 모델과 연계하는 프로세스가 상용화될 경우, 이 기술의 활용 범위는 더욱 커질 것으로 예상된다.

5) 모듈러(Modular) 공법

세계 인구 및 가구 구조는 빠르게 변화하고 있다. 최근 국내 사회 초년생, 대학생, 신혼부부, 고령자 등으로 구성된 1~2인 가구를 위한 중소형 임대주택의 수요도 증가하고 있으며, 이에 대한 대안으로 모듈러 공법이 주목받고 있다.⁵⁹⁾ 모듈러 공법은 건물의 구성요소를 공장에서 미리 제작하고 부지에서 조립만 하는 건축 공법을 말한다. 모듈러 공법의 가장 큰 장점은 기존 철근콘크리트(Reinforced Concrete) 공법에 비해 공사 기간을 약 50% 정도 단축할 수 있다는 것이다. 또한 현장 시공으로 발생하는 소음, 분진, 안전사고 저감과 공장제조를 통한 균일한 품질의 상품 제작, 그리고 대도시의 복잡한 공간에서도 비교적 효율적인 공사를 가능케 한다는 장점이 있다. 중국 Broad Group China사의 ‘미니 스카이 시티(Mini Sky City)’는 공장에서 제작한 모듈화된 구성 요소들을 현장에서 조립하여 57층 빌딩을 19일(하루에 3층) 만에 완공하여 공기와 생산성 측면에서 혁신적인 성과를 이루었다. 건물 구성요소의 모듈화가 보편화되고 공장 대량생산이 가능해질 경우 모듈러 공법의 활용도는 매우 커질 것이다. 또한 최근 3D 프린팅 기술이 발전함에 따라, BIM으로 설계된 건물의 구성 요소들이 공장에서 자동으로 생산되고, 현장에서는 조립 위주의 작업이 이루어진다면 건설 프로세스의 자동화는 한 걸음 더 나아갈 수 있을 것이다.

6) 가상현실(Virtual Reality)과 증강현실(Augmented Reality)

가상현실(이하 VR)은 컴퓨터로 만들어진 가상의 공간(Virtual Space)을 사용자가 체험하게 하는 기술이고, 증강현실(이하 AR)은 현실 세계에 가상의 콘텐츠를 겹쳐 현실감 높은 디지털 체험을 가능케 하는 기술이다. 두 기술은 스마트폰과 웨어러블 디바이스의 발전과 함께 ICT의 핵심 기술의 하나로 인식되고 있다. 건설산업에 있어 VR·AR은 설 계도면과 실제 구현될 시설물을 현실감 있게 연계시켜 준다. BIM 모델을 기반으로 가상의 건축물을 체험해가며 관계자들이 의사를 나누며 설계를 변경하고 변경된 내용을 바로 확인함으로써, 기존의 2D와 3D 도면을 검토하는 것보다 매우 효과적으로 의사 결정을 할 수 있다. 또한 도면에 대한 이해도가 상대적으로 부족한 발주자나 최종 시설물의 사용자의 참여도를 크게 높여줄 수 있다. VR과 AR 기술로 구현된 BIM 모델은 사

59) 임석호(2017), 주거시설의 트렌드 변화 주도하는 모듈러 공공 임대주택, 한국건설기술연구원.

용자로 하여금 가상의 스크린을 터치하여 건물 구성 요소의 정보들을 얻도록 할 수 있으며, 기존의 견본주택은 VR 체험관으로 대체될 가능성도 매우 크다. 또한 최근에는 상대적으로 현실감이 떨어지는 VR의 단점과 VR에 비해 몰입감이 떨어지는 AR의 단점을 보완한 혼합현실(Mixed Reality)이 개발되어 관련 기술들의 활용도가 더욱 높아질 것으로 예상된다.

7) 3D 프린팅(3D Printing)

3D 프린팅은 기술적, 비용적 한계로 인해 아직 사용 분야가 의료기 같은 소규모 상품을 만드는 일에 제한되었으나, 최근 기술개발로 인해 건축을 포함한 다양한 분야에서 주목 받고 있다. 건축 분야에 있어 3D 프린팅 기술은 기존의 기술적 제약으로 인한 디자인 한계를 뛰어 넘어 특수한 외형의 건물 시공을 가능케 해주며, 노무비와 공기 절감, 그리고 시공상 발생하는 폐기물을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 앞서 모듈러 공법에서 언급한 바와 같이 3D 프린팅 기술의 미래는 모듈러 공법과 연계하여 발전될 가능성이 매우 크다.

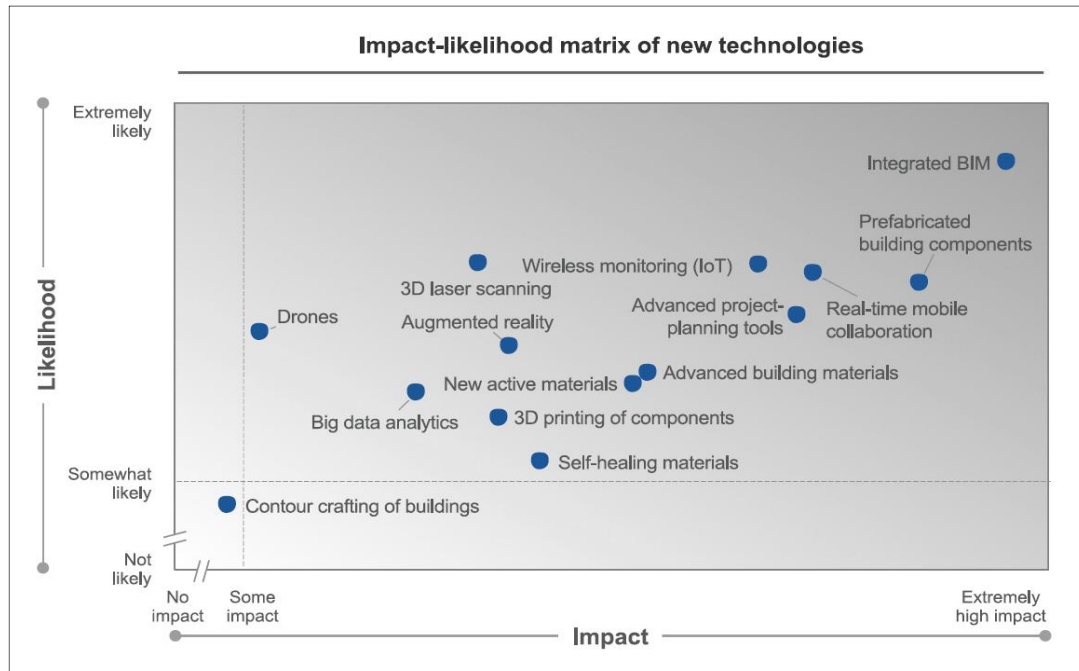
8) 센서

센서 기술은 이미 Radar, RFID 기반 등 다양한 형태로 발전되어 왔으며, 다른 미래 기술들에 접목되어 데이터를 수집하거나 경보를 제공하는 역할을 해왔다. 건설 현장에서 사용되는 센싱 기술은 관리자로 하여금 작업자, 장비 등의 위치를 실시간으로 파악하게 해주어 자재 및 안전 관리 등에 큰 도움을 주고 있다. Redpoint Positioning사가 Indoor GPS 기술을 이용하여 개발한 ‘SafetyNet’은 관리자로 하여금 실시간으로 작업자, 장비, 자재의 위치를 파악할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 Tag나 Badge를 장착한 모든 사람과 사물의 위치를 2D나 3D 도면에 보여준다. 이를 통해 작업자의 안전 및 현장의 보안 향상에 큰 도움을 줄 수 있으며, 실시간으로 수집된 데이터를 활용한 효율적인 현장 관리를 가능케 한다. 센서 기술은 다른 기술들의 성능을 향상시키기 위한 목적으로 보다 많이 활용될 것으로 생각된다. 또한 최근 빅데이터 처리 기술이 발전함에 따라 센서를 통해 수집된 다양한 정보들이 보다 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

9) 빅데이터 기반 인공지능

데이터 수집 및 분석 알고리즘의 발달에 따라 다양한 산업의 빅데이터 활용 사례가 보고되고 있다. 이에 따라 알파고와 같은 인공지능과 결합한 빅데이터 분석 기술이 실무적인 데이터 기반의 최적 의사결정 지원(Decision Support)에 활용될 날이 머지않은 것으로 전망되고 있다. 건설산업 역시 초기의 사업 시나리오 마련, 사업 전략 수립, 리스크 관리, 시공관리, 운영 및 유지관리 등에 있어 이러한 빅데이터 기반의 인공지능 활용이 가능할 것으로 판단된다. 여기에 빅데이터를 수집하기 위한 센서 기술의 적극적인 고도화 및 활용도 필요하다. 이미 교량, 터널 등 인프라 부문의 센서 기반 데이터 분석 및 활용 사례는 낯설지 않다. 더 나아가 현재의 기획-운영/유지관리 프로세스에 이러한 고도화된 데이터 분석 결과를 적절히 활용할 수 있는 체계를 어떻게 구현할 것인가도 필요한 실정이다. 실제 이러한 빅데이터 기반 인공지능 기술은 상술한 각종 스마트 기술로부터 생성되는 다양하고 방대한 정보를 최종 처리하는 핵심 요소로 시설물 생애주기 정보관리 및 자산관리의 핵심이 될 것으로 예상된다.

<그림 V-3> 스마트 기술 등 첨단 기술의 가능성과 영향도 평가



자료 : Shaping the Future of Construction, WEF, 52쪽 재구성.

10) WEF의 스마트 기술 가능성과 영향도 평가

WEF는 최근 상술한 첨단 기술의 실현 가능성과 영향도 평가 결과를 발표하였다. BIM, 사전제작(Prefabrication), 실시간 모바일 협력, IOT 등이 건설 사업에서의 영향도와 실현 가능성 측면에서 높게 평가되었다. 적층형 건축(Contour Crafting of Buildings) 기술을 제외한 대부분의 첨단 기술들은 실현 가능성과 영향력(Impact) 측면에서 비교적 높게 평가되었는데, 그 정도는 기술별로 다소 차이를 보였다.

(2) 새로운 개념의 인프라 상품

1) 자율주행 자동차와 스마트 도로^{60) 61)}

자율주행 자동차는 IT, 자동차, 통신 기술 등을 융합하여 인간의 운전개입 없이 목적지까지 자율 주행하는 차량을 의미한다. 2015년 구글의 무인 자동차(구글카)는 세계 최초로 미국 네바다주에서 운전면허를 취득하였으며, 세계 주요 자동차회사에서 너나할 것 없이 자율주행 자동차 시장을 선점하기 위해 노력하고 있다.

하지만 자동차 기술의 발전만으로는 자율주행의 구현이 쉽지 않을 것으로 보인다. 실제 도로상에서 자율주행 실현을 위해서는 자동차뿐만 아니라 도로 역시 함께 스마트해져야 한다. 스마트 도로는 도로의 상태를 차량에게 실시간으로 전해주어야 하며, 비(非)자율주행 차량과의 통제 역할도 도로 인프라가 수행하여야 한다. 현재 기술 수준에서 자동차 스스로 상황을 감지하고 위험을 판단하는 일련의 과정이 인간의 능력보다 떨어지고, 첨단 센서들의 상황 인지 범위는 고작 200m 내외로 완전히 안전한 운전이라 하기에는 부족하다. 또한 교차로에서 갑자기 진입하는 차량이나 전방 차량 앞 상황 등을 인지하기 어렵다.

일본에서는 ‘300m 범위 이내 주변 환경은 자동차에 장착된 첨단 센서가 모니터링하고, 그 이상 범위의 상황이나 교통 및 도로환경 정보는 도로 인프라가 제공하는’ 시스템으로서의 스마트 도로 구축을 추진 중이다. 스웨덴의 ‘Drive Me’ 프로젝트에는 스웨덴 정부와 스웨덴 교통관리공단 등이 참여하여 자율주행 클라우드 개념으로 도로 인프라

60) 김규욱 (2015), ‘자율주행 자동차와 스마트 도로, 자동차와 도로의 자율 협력 주행을 위한 도로 운영 방안’, 월간교통, 한국교통연구원.

61) 김태형 (2017), ‘자율주행차 혼자선 못 달린다, 자율주행차량과 스마트 도로가 함께 손잡아야 진짜 자율주행 가능해져’, 한국교통연구원.

에서 정보를 클라우드에 제공하고, 이를 다시 차량 주행에 활용하는 시스템을 도입하여 스웨덴 고텐버그의 일반 도로에서 시험 주행에 돌입하였다.

2) 스마트 그리드

스마트 그리드란 기존의 전력망에 ICT 기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 공유함으로써 에너지 효율을 극대화시키는 차세대 전력망을 말한다. 기존의 전력망 프로세스가 발전→송전→배전→판매의 단방향, 중앙 집중형 전력망이라면 스마트 그리드는 공급자와 소비자가 상호 작용하는 양방향, 분산형의 지능형 전력망을 지향한다. 기존 전력망은 공급자 중심으로, 예상 수요량보다 약 15% 정도 추가 생산하여 생산 전력이 불가피하게 버려지기도 하는 비효율적인 구조다. 그러나 스마트 그리드는 실시간, 양방향으로 수집·분석되는 다양한 데이터를 활용하여 전력수요량을 보다 정확히 예측하여 효율적인 에너지 생산 및 관리가 가능하다. 또한 신·재생에너지를 적극 활용할 수 있는 분산 발전 형태를 추구하고 있다.

온실가스에 의한 지구온난화에 대한 고민과 함께 전 세계에서 태양열, 수력 등의 신·재생에너지 기술 개발과 함께 에너지 효율을 높일 수 있는 스마트 그리드 정책을 추진 중이다. 미국은 ‘그리드(Grid) 2030’을 통해 에너지 자립과 노후화된 전력망의 변화를 추진 중이며, 유럽연합(EU)도 2006년 ‘스마트 그리드 비전 및 전략(Smart Grids Vision & Strategy)’을 선포하고 신·재생에너지 보급과 효율적인 전력망 구축에 힘써 왔다. 일본은 2030년 태양광 발전량을 100GW까지 늘리는 로드맵을 세워 스마트 그리드 분야 표준화를 추진 중에 있다.

3) 스마트 시티

스마트 시티는 도시 주요 시설물들을 ICT 기술로 연결하여 시민의 삶의 질을 향상시키고 도시의 지속적인 발전을 지원하는 것을 주요 목표로 한다. 스마트 시티는 도시의 다양한 인프라 구성 요소인 에너지, 교통, 상하수도, 빌딩 등을 센서와 ICT 기술 등을 활용하여 상호 연계함으로써 도시의 공공 서비스를 극대화하고자 한다. 이러한 초연계 시스템은 각 시설물의 데이터를 수집·분석하여 교통, 전력 등 다양한 기존 도시의 문제점들을 효과적으로 해결해준다. 사물인터넷은 최근 스마트 시티 구축에 있어 핵심으로 여겨진다.

‘세계미래보고서 2055’⁶²⁾는 가까운 미래에 가정, 직장 등의 모든 기기들이 인터넷에 자동으로 연결될 것이며, 인터넷에 연결되는 기기의 수는 매년 약 22%씩 증가하여 2020년에는 500억 개에 다다를 것으로 전망하는 등 스마트 시티 시장이 매우 빠른 속도로 성장할 것임을 암시했다.

소프트웨어정책연구소⁶³⁾는 2025년에는 약 90개 스마트 시티가 완성될 것으로 전망하고 있으며, Frost & Sullivan⁶⁴⁾은 세계 스마트 시티 시장 규모가 2020까지 약 1.5조 달러에 이를 것으로 예상하였다. 해외의 스마트 시티 현황을 살펴보면, 먼저 미국은 중앙정부의 스마트 시티 실행 계획(Initiative)을 기본으로 에너지, 의료 분야를 제외하고는 IBM과 Cisco Systems 등의 민간 기업을 중심으로 스마트 시티 시장을 형성해 나가고 있다.

유럽연합(EU)은 2011년 ‘The European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities(EIP-SCC)’를 출범하고 정책, 에너지, 교통 등 다양한 영역에서 스마트 프로젝트를 진행 중이다. 유럽의 주요 스마트 시티 프로젝트가 진행 중인 도시는 영국의 런던과 글래스고(Glasgow), 프랑스 니스, 스페인 바르셀로나, 네덜란드 암스테르담, 그리고 스웨덴의 스톡홀름 등이 있다.

일본은 2011년 동일본 대지진 이후 에너지 안보와 재난 복구에 집중한 스마트 시티 계획을 가지고 있으며, 중국은 빠른 도시화 진행에 따른 인프라 부족 문제를 해결하기 위한 스마트 시티 계획을 추진하고 있다.⁶⁵⁾ 특히 스마트 시티의 핵심적 구성 요소가 인프라이기 때문에 스마트 인프라 시장 역시 국가별로 상당한 규모로 성장할 것으로 예상된다.

4) 스마트 인프라 사례 : 영국 광역급행철도 사업

현재 영국에 건설 중인, 런던 전역을 잇는 광역급행철도 크로스레일(Crossrail)에는 중앙집중식 BIM 데이터베이스(centralized set of linked BIM database)가 사용되어 약 170만 개의 CAD 파일을 단일 정보 모델로 통합하였다. 또한 이 BIM은 추후 크로스레일의 자산관리 시스템과도 연계될 예정인데, 일례로 크로스레일의 터널에만 2만 4,000

62) 박영숙·제롬 글렌(2017), 세계미래보고서 2055.

63) 소프트웨어정책연구소(2014), 스마트 시티 융합 동향.

64) Frost & Sullivan(2014), Strategic Opportunity Analysis of the Global Smart City Market.

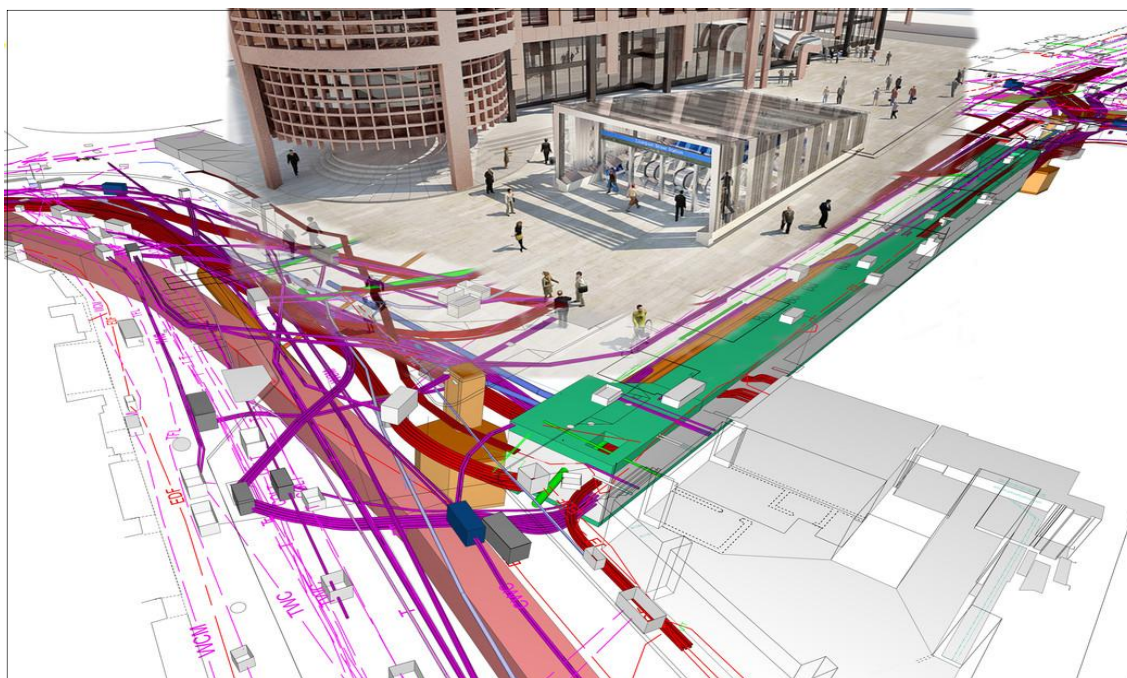
65) LG CNS(2017), 스마트 시티에 살게 되는 세상.

개가 넘는 자산 태그(asset tags)가 정의되어 있으며, 자산 관리를 위해 자산 정보관리 시스템(AIMS)에는 콘크리트 구조물부터 환기 시스템에 이르는 200만 개 이상의 자산이 등록되어 있는 것으로 알려졌다.⁶⁶⁾

한편, 크로스레일 현장에서는 신규 철도 터널의 건설뿐만 아니라 시공에 따른 기존 시설물에 대한 영향을 분석하기 위한 실험도 진행 중이다. 캠브리지대학 연구팀은 Liverpool Street Station 현장 인근에 폐쇄된 Royal Mail tunnel에 수백 개의 센서를 설치하여 크로스레일 시공에 따른 영향을 모니터링하고 있다.

이를 위해 1) 터널의 변형을 파악하기 위한 광섬유, 2) 무선 변위 센서, 3) 사진측량 및 컴퓨터 비전 기술, 4) 온습도 및 가속도, 기울기를 측정하는 초저전력 센서 등 다양한 기술이 적용되어 터널의 구조 거동과 관련한 막대한 데이터를 생성하고 있다. 비록 이 Royal Mail tunnel은 실험 목적으로 사용되지 않는 시설물이지만 향후 4차 산업혁명 기술들이 인프라에 적용될 수 있는 가장 가까운 사례를 보여준다고 할 수 있다.

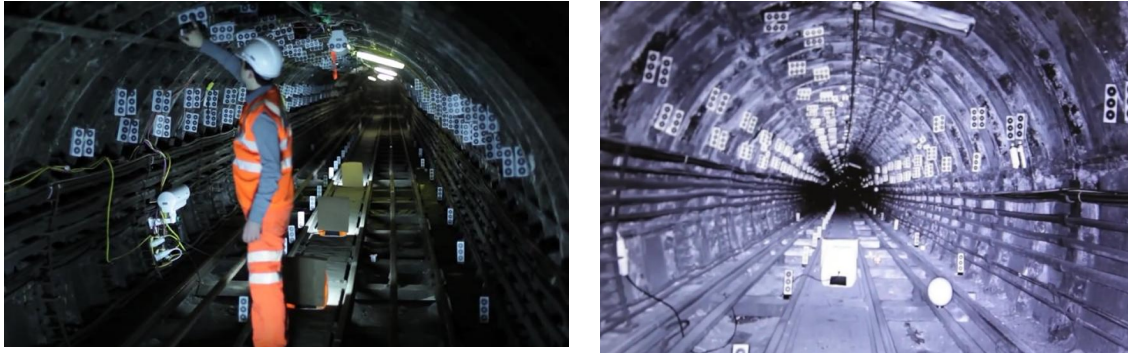
<그림 V-4> 영국 크로스레일 사업의 BIM 모델



자료 : Crossrail.

66) World Economic Forum, What's the future of the construction industry?, 2016. 4. 4.

<그림 V-5> Royal Mail Tunnel에 부착된 각종 센서



자료 : Crossrail.

3. 주요 시사점

최근 스마트 기술의 동향은 획기적인 새로운 기술의 개발이 아닌 기존 기술들 간의 다양한 융합으로 인해 사용자의 니즈를 만족시켜 주는 형태로 나타나고 있다. 즉, 특수 목적으로 만들어진 생산자 중심의 기술이 타 기술과의 융합을 통해 사용자 중심의 기술로 상용화되어 가고 있다는 것이다. 예를 들어 드론과 같은 무인항공 기술은 데이터 처리기술, 특히 이미지 데이터 처리기술과 융합하여 건설산업의 핵심 미래 기술로 소개되고 있다. ICT 기술의 하나인 BIM은 최근 건설 생애주기 데이터가 집결되는 플랫폼 역할을 수행할 수 있는 기술로 그 역할을 재조명받고 있다. 또한 다양한 기술들이 접목된 스마트 인프라 상품들도 구성 기술을 살펴보면 기존 기술들의 융합을 통해 시너지효과를 이끌어낸 것임을 알 수 있다. 특히 건설 생산을 위한 스마트 기술의 경우, 건설산업만을 위한 신기술의 개발보다는 기존 기술의 융합을 건설사업에 어떻게 적용할 수 있는지가 더욱 시급한 숙제인 것으로 판단된다. <표 V-1>은 본 연구에서 제시한 스마트 기술의 생애주기별 활용 예를 정리한 것으로, 각 기술들은 개별적으로도 활용될 수 있지만 융합되어야 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 또한, 각 단계에서 생성된 정보들이 궁극적으로 시설 생애주기 정보시스템과 연계되어야 그 활용이 극대화될 수 있다.

아울러 건설 사업에의 스마트 기술 적용은 단순하지 않음을 이해해야 한다. 기획 및 설계 단계부터 스마트 건설에 대한 개념이 반영되어야 하기 때문이다. 이를 위해서는

기업의 혁신뿐만 아니라 발주자의 인식 변화, 예산 반영, 공공 제도 및 기준 등의 변화도 함께 이루어져야 한다. 즉, 기존의 건설 생산 프로세스와 관련 기준의 혁신이 없이는 새로운 개념의 스마트 건설은 쉽지 않을 것으로 판단된다.

<표 V-1> 시설 생애주기별 스마트 기술 적용 예시

구분	기획/설계	시공	운영
BIM	3D 기반 디지털 모델 구축 모델 기반 물량 산출	3D 모델 기반의 체계적인 시공 데이터 관리 핵심기술 융합의 플랫폼 4D(3D+공정관리), 5D(4D+원가관리), 간섭 체크	3D 모델 기반 체계적인 시설물 데이터 관리
모바일 기술	-	모바일(앱)을 사용한 효율적인 현장관리	모바일(앱)을 사용한 효율적인 시설물 관리
드론	지형 데이터 수집	실시간 현장데이터 수집	신속하고 안전한 시설물 점검(스캐닝 기술과 접목)
3D 스캐닝	지형 데이터 수집 기존 시설물의 디지털 도면화	-	드론 등과 융합하여 시설물 점검 및 관리 (예 : 스마트 팩토리)
모듈러 공법	시설물 구성 요소의 모듈화를 통한 설계의 간소화	모듈화를 통한 균일한 품질의 대량생산 체계 구축(공기 단축, 안전사고 저감)	-
VR/AR	체험형 디지털 도면 검토	도면의 현실감 높은 시각화를 통한 커뮤니케이션 향상 건본주택의 VR화	시설물 운영 주체에 대한 훈련 및 교육 시뮬레이션
3D 프린팅	디자인의 자유화	특수한 형태의 건물 시공	운영 유지에 필요한 각종 engineered material 등 직접 제작
센서	-	다양한 데이터 수집 실시간 작업자, 장비 관리	시설물 데이터 수집/관리
빅데이터	시설 생애주기 정보에 기반한 시나리오 기반의 기획 및 설계(공정, 원가 등)	주요 의사결정 지원 및 리스크관리	데이터 기반의 예방적 시설물 관리 및 인력 중심의 점검 및 판단의 최소화

상품 측면의 스마트 인프라는 궁극적으로 시설의 운영 및 유지관리의 스마트화를 의미하는 것으로 이해된다. 영국의 광역철도사업의 경우만 보아도 스마트 인프라의 궁극

적인 지향점은 스마트한 자산관리에 있다. 즉, 시설 측면의 스마트화는 시설 자체에 첨단 기술 도입의 목적도 중요하겠지만 당해 인프라를 스마트하게 관리하는 데 중점을 두어야 할 것으로 판단된다. 따라서 스마트 인프라의 계획은 공공부문의 당해 시설 운영 및 유지의 프로세스와 방법, 관리 주체(공공/민간) 등 다양한 관점에서 심층적인 검토를 통해야만 성공적일 수 있을 것이다. 또한, 스마트 인프라를 통해 운영 및 유지관리의 효율이 어떻게 좋아졌는지도 공공부문은 성과 측정을 하여 투자의 효율성을 국민에게 보여줄 필요가 있을 것이다. 이러한 관점에서 스마트 인프라의 운영 및 유지관리 부문은 누가 수행할 것인지에 대해서도 다양한 검토가 필요하다. 경우에 따라서는 민간 위탁을 통해 운영의 효율성을 더 높일 수 있으며, 이와 관련한 새로운 비즈니스 창출도 가능하기 때문이다.

1. 인프라에 대한 새로운 시각과 투자 필요성

양질의 인프라 확보는 국가 경쟁력 강화를 위한 필수 요소 중의 하나이나, 어느 정도 수준의 인프라 구축이 완료된 이후에는 추가적인 인프라 투자가 반드시 이전만큼의 경제성장 효과를 가져다준다고 확신할 수는 없다. 단순한 인프라의 유지보수 및 확장 등은 생산성 제고 효과가 그리 크지 못하기 때문이다. 미국의 한 연구에서⁶⁷⁾ 교통시설 유지관리를 위한 연방정부의 재정투자 효과를 분석한 결과, 생산성은 기대에 미치지 못했으며, 때로는 감소한 경우도 있는 것으로 분석되었다. 또한 건설 사업은 가시적인 고용 창출 효과를 가져오기는 하지만, 전통적인 방식만을 전제로 할 경우 현대사회가 요구하는 양질의 일자리를 충족시키지는 못할 것으로 예상된다. 즉, 저학력 남성 중심의 일시적 고용 창출에만 기여할 수 있다는 것이다.

이와 관련하여 미국 트럼프 정부의 대대적인 인프라 투자 정책에 대해서도 일시적인 고용을 증대시킬 수는 있지만, 미국 정부가 가지고 있는 구조적 문제인 낮은 수준의 투자와 생산성 저하를 해결하기 어렵다는 지적도 있다. 그럼에도 불구하고 전통적 방식(물량 중심)에 따른 현 미국의 인프라 투자가 공감대를 얻는 것에는 첫째, 정부의 공공 구매(물품, 서비스, 시설)를 유발하는 재정정책은 단순 세금 감면에 비해 그 효과가 크며, 둘째, 세금 감면은 소비자 지출을 유도하지만 인프라 투자는 장기적인 성장까지 도모할 수 있어 투자의 효과가 큼을 공감하기 때문이다.

선진국뿐만 아니라 선진국 진입을 목전에 두고 있는 우리나라의 경우에도 인프라 투자는 앞서 언급한 바와 같이 전문가별로 시각을 달리 할 수 있다. 특히 복잡한 재정 수요를 감당해야 하는 재정당국의 입장은 더욱 보수적일 것으로 여겨진다. 특히 전통적인 건설산업의 생산방식과 상품을 전제할 경우 이러한 논쟁은 더욱 치열해질 것으로 판단된다. 여기서 간과되기 쉬운 것은 기술이다. 미래형 인프라 투자 정책은 단순히 재정의 숫자를 늘리는 숫자 놀음이 아니며, 국가와 사회의 진일보된 안전망 확보, 편의성 제공,

67) Sarantis Kalyvitris, Eugenia Vella, "Public Capital Maintenance, Decentralization, and US Productivity Growth", Public Finance Review 39, No. 6, 2011.

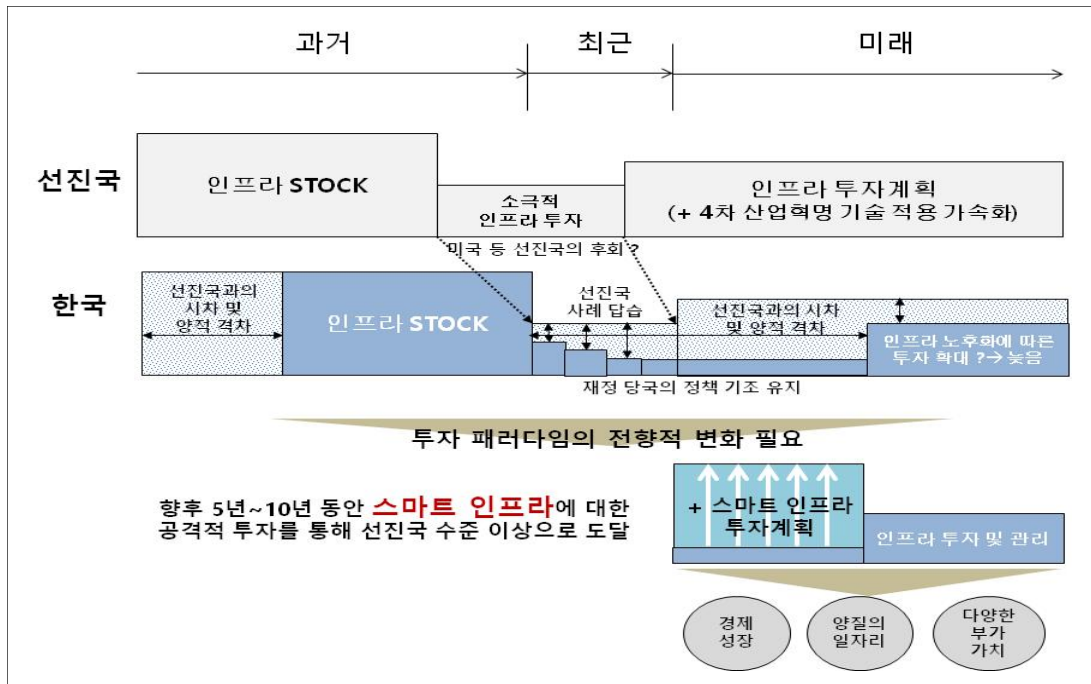
아름다운 국토를 만들기 위한 것이다. 4차 산업혁명의 기술과 접목된 인프라의 투자 전략과 계획은 단순 인프라 투자의 논쟁을 잠재울 수 있다고 생각한다. 즉, 스마트 인프라 투자 정책이 필요한 것이다.

미국의 Singer도 미국의 인프라 투자 정책의 효과를 거두기 위해서는 스마트 인프라를 포함한 ‘혁신 인프라(Innovation Infrastructure)’가 필요함을 지적하고 트럼프 정부의 인프라 투자 정책의 핵심이 되어야 함을 주장하였다.⁶⁸⁾ 이러한 ‘혁신 인프라’ 혹은 ‘스마트 인프라’는 선진국과 우리나라가 가지고 있는 격차를 줄일 수 있는 기회를 제공할 것이다. 지금 논의하고 있는 스마트 기술에서 출발한 것은 아니지만 우리나라의 경부고속도로(1970년대), 지하철(1980~2000년대), 인천공항/경부고속철도(2000년대), 신분당선(2010년대) 등의 사업이 우리나라의 수준과 사회생활을 어떻게 바꾸어 놓았는지 생각해 볼 필요가 있다. 그리고 ICT 기술에 대한 공격적인 투자와 발전 역시 현재의 우리를 만들어 놓았다. 그 시대의 첨단 기술과 접목한 인프라 투자 사업은 이렇듯 전통적인 산업에서 여간해서 매울 수 없는 국가와 기업 간 격차를 단숨에 줄이는 효과를 가지고 있다.

따라서 우리나라는 시차적으로는 선진국보다 늦게 도래하는 인프라 투자 및 정비 시점을 앞당겨야 한다. 물론, 선진국에서 현재 겪고 있는 시설 노후화에 따른 각종 문제를 사전에 예방하기 위해서도 인프라에 대한 공격적인 투자는 반드시 필요하다. <그림 VI-1>은 선진국과 우리나라가 가지고 있는 인프라 투자 사이클의 격차와 해소 방안을 도식화한 것이다. 우리나라가 선진국과 시차를 가진 추종 전략을 여전히 견지할 경우 결국, 현재 미국과 일본 등이 고민하는 인프라 경쟁력과 경제 회복 동력에 대한 고민을 차후에 할 수밖에 없다. 또한, 우리나라가 지금까지 투자한 인프라 스톡 역시 선진국과 비교하여 충분히 투자되었다는 증거 역시 부족하다. 전 세계적으로 변화하고 있는 인프라 투자에 대한 시각과 환경 변화는 우리나라에도 큰 시사점을 주는 것이라 판단되며, 스마트 등 혁신적 개념의 인프라 투자 정책을 마련한다면 관련한 비판적 시각을 넘어 충분한 공감대를 형성할 수 있을 것으로 판단된다.

68) 여기서 혁신 인프라 과제로 크게 세 가지를 들었다. 첫째, 성숙하지 않은 인프라 관련 유망 기술에 대한 정부의 초기 R&D 투자를 확대하고, 둘째, 첨단 기술과 접목한 하이브리드 인프라를 통해 생산성 향상을 도모해야 하고, 셋째, 중이온 가속기 등 과학기술 인프라 투자를 확대하는 것이다. Peter L. Singer, Investing in “Innovation Infrastructure” to Restore U.S. Growth, ITIF, 2017. 1.

<그림 VI-1> 스마트 인프라의 투자 필요성과 기대 효과



2. 스마트 인프라 추진 전략

스마트 인프라는 타 영역과 달리 공공시설의 건설과 운영 및 유지관리의 스마트화를 도모하는 것으로 다음과 같은 추진 목표가 필요할 것으로 판단된다.

첫째, 스마트 인프라 사업을 통해 첨단 일자리 창출과 실질적인 경제성장, 생산성 제고를 유도해야 한다.

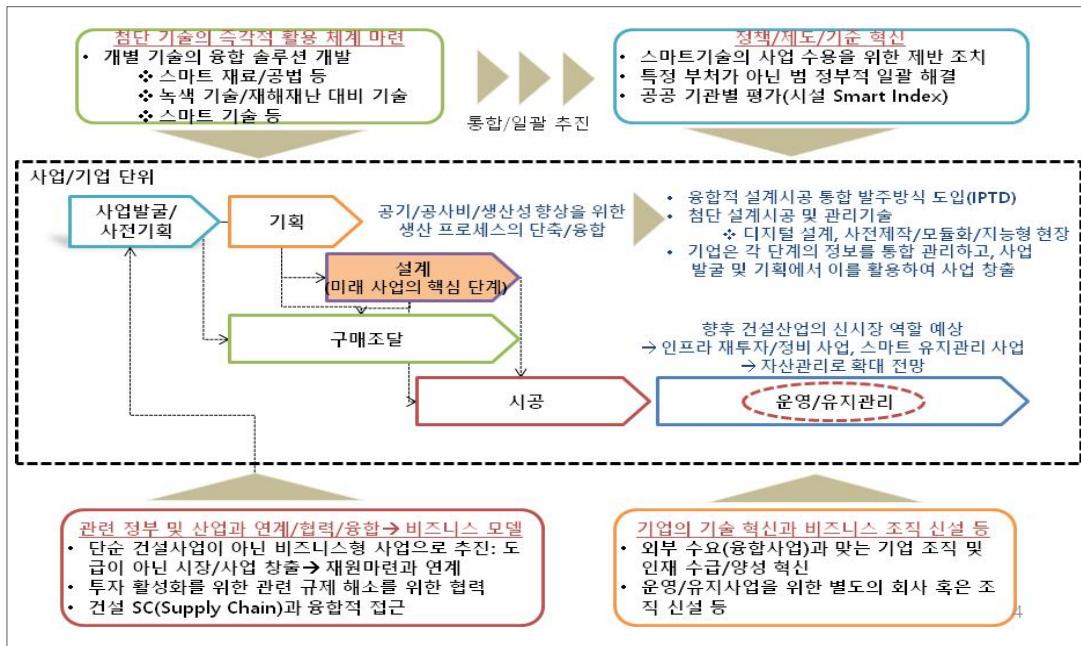
둘째, 스마트 인프라는 완성 시설의 스마트화뿐만 아니라 건설 생산 과정의 스마트화도 수반되어야 한다.

셋째, 스마트 인프라는 그동안 단절되어 왔던 건설사업과 완성시설의 기획~운영/유지 단계의 다양한 기술 및 사업적 융·복합을 유도할 수 있어야 한다.

넷째, 스마트 인프라는 특정 첨단 기술의 건설사업 도입에 그치지 않고 건설과 운영 및 유지관리의 다양한 스마트 비즈니스와 연계되어야 한다. 이를 위해서는 공공뿐만 아니라 민간의 창의력과 재원이 필요하다.

<그림 VI-2>는 건설 사업의 생산 프로세스별로 구상할 수 있는 스마트 인프라 추진 체계, 전략, 그리고 영역별 내용을 제시한 것이다. 사업의 기획~건설 단계의 스마트화는 생산의 스마트화로 볼 수 있고, 운영 및 유지 단계의 스마트화는 완성 상품의 스마트화로 이해될 수 있다. 영역별 주요 내용을 기술하면 다음과 같다.

<그림 VI-2> 스마트 인프라 세부 추진 전략과 영역별 주요 내용



① 스마트 기술 등 첨단 기술의 즉각적 활용 체계 마련

스마트 인프라와 관련한 다양한 기술개발과 실제 적용의 시차를 줄이자는 것이며, 개별 기술별 접근보다는 통합 솔루션을 마련하는 것에 중점을 두어야 할 것이다. 새로운 기술에만 스마트 기술을 국한할 필요도 없다고 본다. 당장 가용한 첨단 기술이 있다면 건설 사업에 즉각적으로 적용할 수 있는 조치도 필요하다. 정보통신 기반의 스마트 기술뿐만 아니라 재료/공법, 녹색 기술, 재해/재난 대비 기술 등이 통합되고 융합되어야 할 것이다. 이를 통해 첨단 일자리 창출도 가능할 것으로 판단된다.

② 스마트 인프라 추진에 따른 정책/제도/기준 혁신

스마트 기술의 사업 수용을 위한 제도적 제반 조치를 의미하는 것으로 특정 부처만의 노력으로는 어려우며, 범정부적 차원의 일괄 해결이 필요하다. 개별 공공기관이 관리하

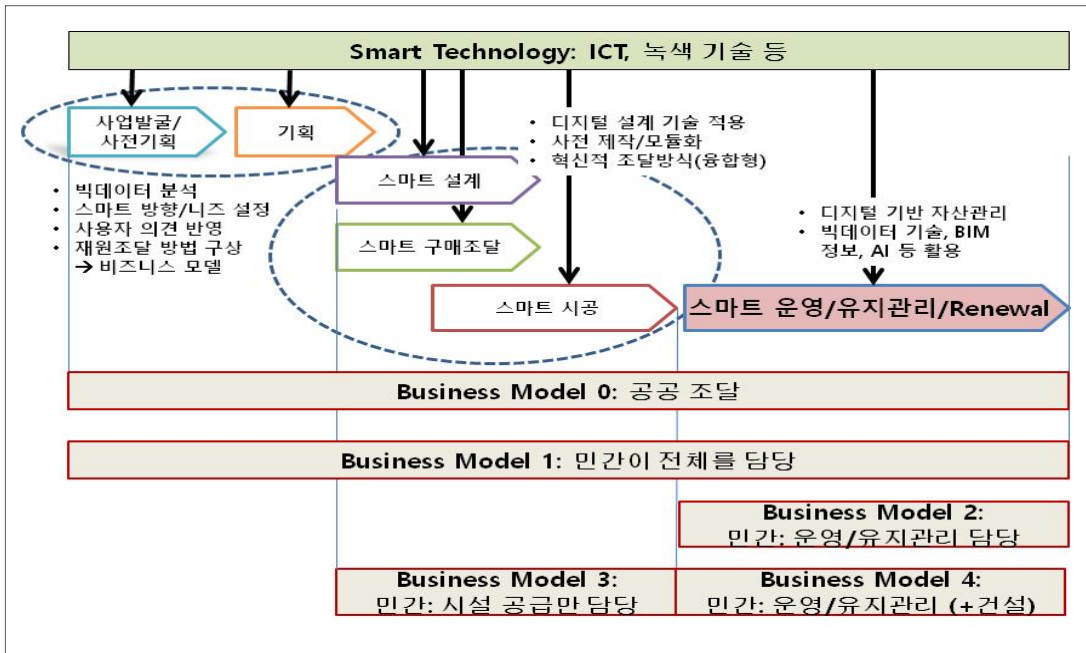
는 시설의 Smart Index를 신설하여 기관 평가 및 인센티브 제도를 운영할 필요도 있다.

③ 관련 정부 및 산업과 연계/협력/융합

스마트 인프라는 단순 건설사업이 아닌 비즈니스형 사업으로 추진해야 할 것이다. 특히 정부 재정이 부족하기 때문에 민간의 창의성과 재원을 적극적으로 활용할 수 있어야 한다. <그림 VI-3>은 재원 방식별/참여 형태별 비즈니스 모델의 개념을 제시한 것이다. 비즈니스 모델은 크게 5가지 유형으로 구분할 수 있다. 지금까지의 관련된 비즈니스 모델은 모델 0, 1, 3이었다. 본 연구에서는 여기에 모델 2와 4를 제안하고자 한다. 특히 비즈니스 모델 2와 4는 민간이 스마트 인프라의 관리를 담당하고, 여기에서 발생하는 각종 건설 행위까지 수행하는 개념으로 그동안 공공부문이 주도해 왔던 영역을 민간에 위탁하거나 공공과 민간이 공동으로 협력하는 방식이라 할 수 있다.

이를 통해 스마트 인프라의 운영 및 유지의 실질적인 진보를 이루어야 할 것으로 판단된다. 공공부문은 운영 및 유지관리의 혁신을, 민간은 새로운 비즈니스 모델, 즉 시장을 창출해야 한다. 건설 가치사슬의 전반적인 역량 강화와 협력 역시 필요하다. 민간 부문으로 스마트 인프라의 운영/유지관리 위탁하는 방안(모델 2, 4)은 건설 부문의 새로운 활력을 제공할 수 있다고 본다.

<그림 VI-3> 스마트 인프라의 비즈니스 모델과 활용 기술의 예시



④ 사업과 기업 단위의 혁신

사업 발굴에서부터 운영/유지관리에 이르기까지 스마트 기술과 접목한 다양한 프로세스 혁신이 필요하다. BIM, 모듈화, PMIS 등의 개별적 기술뿐만 아니라 기술과 프로세스 융합을 지원하는 통합형 발주 방식의 도입도 반드시 필요하다. 특히 스마트 인프라의 경우 운영/유지관리 분야는 기업의 새로운 성장 동력이며, 국가 차원에서는 인프라의 재투자/정비/성능 향상과 연계된 중요한 단계로서 건설 과정만큼 우선순위를 높여야 할 것이다. 향후 첨단 건설 인력의 많은 수요가 설계와 운영/유지 단계에서 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 공급그룹의 혁신 : 기업의 기술 혁신과 새로운 비즈니스 조직 신설

설계 혹은 시공 중심의 건설기업의 조직에서 벗어나 스마트 인프라와 연계된 비즈니스를 위한 자회사 혹은 조직 신설이 필요하다.

3. 정책 제언과 기업의 대응 방향

(1) 정책 제언

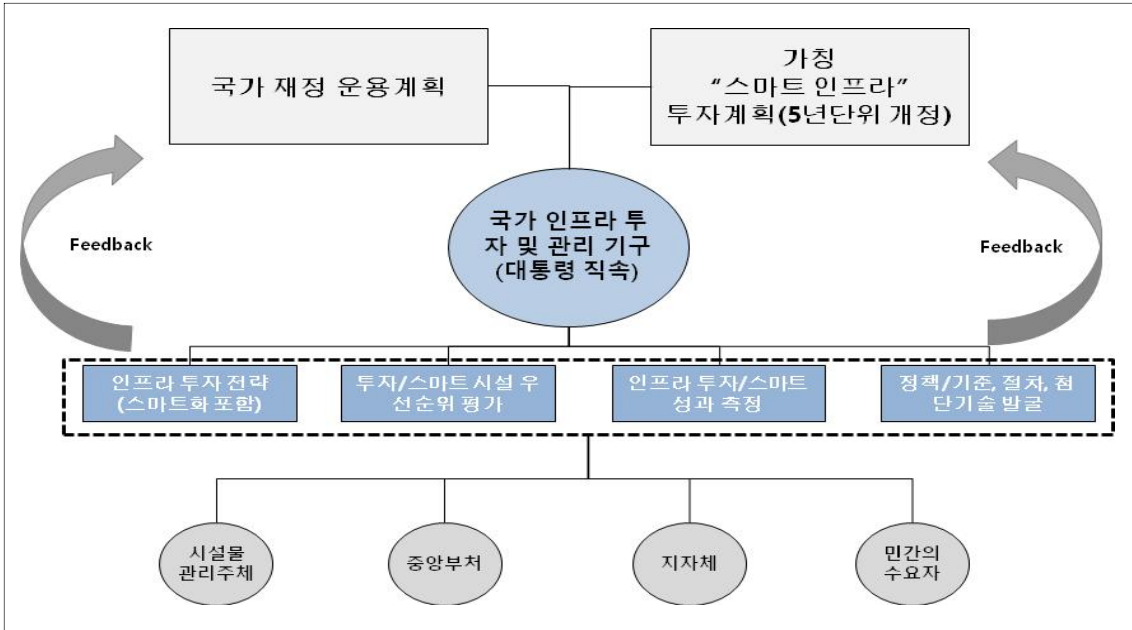
1) 정책 1 : 스마트 인프라 투자계획과 국가 인프라 투자 및 관리 기구의 신설

국가의 인프라 투자 정책에서 스마트 인프라 개념을 투영하고 이를 촉진하기 위해서는 우선, 정부 부처와 지자체에 분산되어 있는 인프라 추진이 통합적 계획 및 관리 방식으로 전환될 필요가 있다. 이를 위해서는 먼저, 국가재정운용계획과 연계될 수 있는 1) 스마트 인프라 투자계획을 위한 기본계획이 설정되어야 할 것이다. 다음으로 2) 이를 추진할 통합적 기구(governance)를 구축해야 한다. 통합적 기구는 대통령 직속으로 하여 정부와 지자체 등의 의견 조율과 민간의 수요에 대응하게 해야 할 것이다.

통합 기구인 ‘국가 인프라 투자 및 관리 기구’는 1) 인프라의 스마트화를 포함한 투자 전략을 마련하고 이를 정부 부처 및 지자체 등과 연계토록 해야 한다. 2) 인프라의 스마트화를 포함한 투자 우선순위 평가를 주도해야 하며, 이를 통해 예산의 효율적/효과적 집행을 유도할 필요가 있다. 3) 인프라의 투자 및 스마트화에 따른 성과를 다각도로 측

정하여 이의 교훈을 후속사업과 장기 계획에 반영해야 한다. 4) 이러한 제반 활동에 필요한 정책/기준, 절차, 그리고 스마트 기술(첨단 기술)의 확산을 장려하는 각종 정책과 제도적 활동도 주도해야 할 것이다.

<그림 VI-4> 스마트 인프라의 추진을 위한 정부의 추진 체계와 투자계획 신설(안)



2) 정책 2 : 민간투자 부문은 스마트 비즈니스와 연계하는 구상 필요

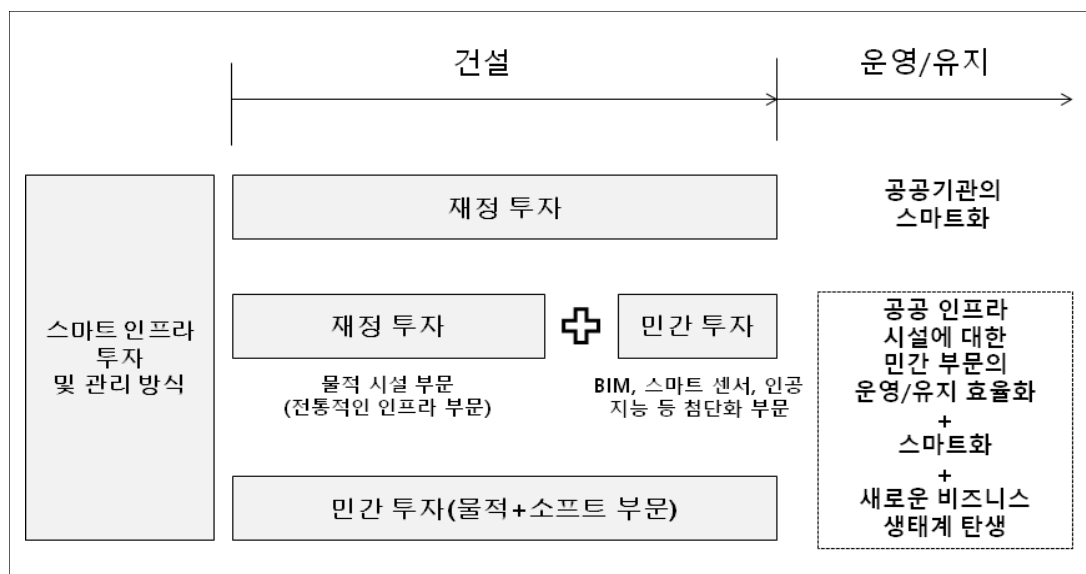
스마트 인프라 투자는 크게 신규 투자와 재투자로 구분되며, 앞으로는 신규 투자보다는 재투자의 비중이 늘어날 것으로 판단된다. 재투자를 위한 별도의 투자 채원과 프로세스를 정립해야 하며, 특히 정부 재정 부족을 보완하기 위한 민간투자의 비중이 증가할 것으로 판단된다.

인프라의 스마트화는 크게 소프트와 하드 영역으로 대별될 수 있다. 특히 스마트 인프라는 운영 및 유지관리 측면에서의 생산성과 효율성이 제고될 수 있다. 현재 인프라의 운영 및 유지관리는 민간투자사업을 제외하고는 공공부문에서 담당하고 있다. 스마트 인프라 역시 민간투자사업을 통해 재원을 충당하는 방법이 적용될 것으로 판단된다. 그동안 민간투자사업의 경우, 해당 시설 전체의 운영 및 유지관리를 SPC(특수목적법인)에게 맡겼다. 스마트 인프라의 경우 물리적 시설의 관리는 정부가 하지만 소프트웨어

부문, 예를 들면 스마트 센서 등을 통한 정보 분석 및 대응은 민간에 위탁할 필요가 있다고 본다. 이러한 개념에서 투자 역시 물적 시설과 소프트 부분을 분리할 수 있다. 영국의 크로스레일은 현재 완성된 사업은 아니지만 급행철도사업의 모든 도면을 BIM으로 모델링하고 있으며, 이를 자산관리에 활용하려 하고 있다. 여기서 BIM과 스마트 센서를 통한 자산관리 부분은 민간의 투자를 받아 운영하고 이의 투자비와 운영비 등을 합한 비용을 지불하는 방식도 고려될 수 있을 것이다.

공공 재정에 의한 스마트 인프라 사업은 공공기관의 스마트 운영/유지를 도모할 수 있지만, 민간 자본의 투입은 공공 인프라에 대한 스마트화뿐만 아니라 새로운 비즈니스 생태계를 탄생시킬 수 있다. 뿐만 아니라 그동안 공공이 독점해 온 영역에 민간이 참여할 수 있어 건설 설계 및 시공에 국한되어 온 건설산업의 주업역 확대도 기대할 수 있으며 다양한 융·복합 비즈니스의 구상도 가능할 것으로 판단된다.

<그림 VI-5> 투자 방식에 따른 민간의 스마트 비즈니스 활성화 정책 개념



3) 정책 3 : 민간투자 유인 및 해외 진출을 위한 선도 스마트 인프라 사업의 발주
스마트 인프라 사업은 실제로 개별적 기술 적용 등 기존 사업에서 일부 적용된 바 있다. 하지만 스마트 인프라를 식별하고 이의 실적을 국내외에서 잘 활용하기 위해서는 스마트 인프라의 명칭을 가진 실제적인 사업이 필요하다. 또한 민간투자를 적극적으로

유치하기 위한 선도 사업 역시 필요한 실정이다.

현재까지 국내의 경우 스마트 기술은 R&D 차원에서 주로 논의된 바 있지만 실제 공공 건설사업에서는 제대로 부각되지 못했다. 유사 사례는 녹색 건설에서 찾아볼 수 있다. 국내의 경우도 미국의 LEED와 영국의 BREEAM과 같은 친환경건축물인증제도가 운영되었지만 정작 국내 시장에서는 큰 반향을 불러오지 못했다. 미국과 영국 등 선진국에서는 공공에서 먼저 녹색 건물 등의 발주를 통해 민간 확산을 주도한 반면 국내의 경우는 예상과 달리 이를 실현하지 못한 기억이 있다.

물론, 스마트 건설의 인증제도를 도입하자는 뜻은 아니다. 다만, 스마트 인프라는 사업 기획에서부터 스마트 시설로 식별되어 관리하자는 의미이며, 성과 관리를 위해서도 이러한 식별은 반드시 필요하다.

녹색 건설과 달리 스마트 인프라는 영역 자체가 원래 공공 주도 영역이라 할 수 있다. 공공에서 먼저 확산하고자 하는 노력이 없이는 인프라 시설의 질적 제고와 민간과 협력하는 새로운 비즈니스 창출이 불가능하다. 단순히 설계 및 시공 단계 일부 기술의 경쟁적 도입만 가지고서는 어려우며, 언급한 바와 같이 사업 기획에서부터 치밀하게 준비되어야 한다. 또한, 완성 시설의 운영 및 관리의 스마트화뿐만 아니라 더 나아가 설계 및 시공 단계의 스마트화(BIM, 모듈화 등)를 위한 선도 사업의 발주도 필요하다. 이를 통해 국가 경쟁력뿐만 아니라 건설산업의 경쟁력 제고도 유도해야 할 것이다.

4) 정책 4 : 시설 조달 전략의 패러다임 변화

스마트 인프라는 물적 시설의 스마트화와 시설 개념 및 운영/유지의 스마트화가 필요한데, 단순히 이러한 개념의 조합을 넘어 실질적인 융합이 이뤄져야 한다. 이를 위해서는 건설산업의 파편화된 생산 구조의 혁신이 필요하다. 다만, 현재 「건설산업기본법」 등으로 인한 파편화된 생산구조를 단시간에 변화시키기에는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다. 왜냐하면 각 공급그룹 이해 당사자 간의 대립이 첨예하기 때문이다. 따라서 이를 단시간에 해결하기 위해서는 융합형 조달 방식의 적극적인 도입이 필요하다. 혁신적 조달 방식의 주요 예는 CM/GC + IPD(Integrated Project Delivery), 진일보된 설계시공일괄계약 방식, IPD 등이 있다. 선진국에서는 이러한 방식을 통해 파편화된 건설부문 생산 구조의 융합을 유도하고 있다.

이러한 조달 방식의 혁신은 단순히 건설 시설의 조달 효율성을 제고하는 것뿐만 아니

라 완성 시설의 성능을 제고하는 데도 큰 영향을 미친다. 특히 이러한 조달 방식의 도입은 한국형이 아니라 글로벌 스탠더드를 그대로 적용하는 것이 필요하다. 그동안 수많은 선진 기법 및 방식이 한국형으로 보정되어 도입되는 과정에서 그 본래의 취지와 장점이 발휘되지 못하는 사례가 많았기 때문이다.

5) 정책 5 : 공공기관 및 지자체 관리시설에 대한 스마트 인덱스 신설

스마트 인프라의 공급과 운영을 촉진하고 확산시키기 위한 수단이 필요하다. 특히 공공기관(지자체 포함)이 관리하는 시설 및 관리에 대한 수준을 평가할 수 있다면 매우 효과적일 것이다. 스마트 인덱스(Index)는 공공기관의 평가, 예산 등에 대한 인센티브 부여 등 다양한 장려 수단으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이러한 스마트한 인프라 관리의 효율성 제고 및 효과를 국민에게 알리기 위해서도 스마트 인덱스의 신설은 필요하다.

(2) 기업의 대응 방향

현재 한국의 건설회사 등 공급그룹은 자기 혁신과 새로운 비즈니스 창출보다는 도급 사업을 중심으로 한 사업구조에 매몰되어 왔다고 할 수 있다. 현재 건설기업에서 스마트 기술은 하나의 보조적 수단 내지는 전기·전자 등 타 산업의 몫으로 이해하고 있는 듯하다. 공공 인프라의 스마트화는 건설기업으로 하여금 소프트 기술에 대한 경쟁력을 요구하고 있고, 더 나아가 민간투자사업 등에서 기획 및 운영/유지 사업으로까지의 영역 확장을 가능케 할 것으로 예상된다.

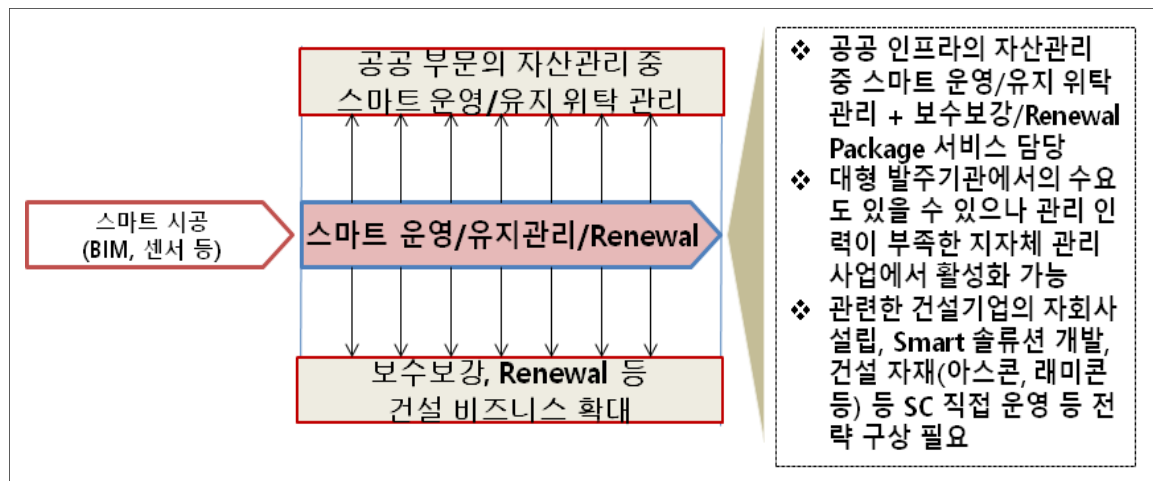
유럽의 Vince, Strabag 등 많은 글로벌 기업의 포트폴리오 중 과반 이상이 설계 및 건설에만 머물지 않고 PPP 사업 등을 통한 운영 및 유지 사업에 있다는 것을 유념할 필요가 있다. 프랑스 도로 운영과 도로 확장 및 환경 개선 등 운영 및 유지관리(Concession)를 수행하는 Vinci Autoroutes는 약 4,386km에 이르는 도로를 관리하고 있는데, 이는 Vinci의 2015년 전체 매출의 13%, 운영 수익의 63%를 차지하고 있다.⁶⁹⁾ Vinci의 2000년대 M&A 동향을 살펴보면 건설→도로 운영→석유/가스플랜트→에너지

69) 2015년 Vinci Autoroutes는 48.8억 유로의 매출 실적과 23.5억 유로의 영업이익을 기록함.

→공항 운영의 순서로 사업 영역을 확대한 것으로 조사되고 있다.⁷⁰⁾ 물론, 이 기업은 스마트 인프라를 표방하고 이에 따른 관련 사업을 수행하였다고 보기는 어렵지만, 운영 및 유지 사업은 건설기업의 충분한 새로운 비즈니스 영역이며, 여기에 스마트 관리가 더해진다면 그 부가가치는 더욱 높을 것으로 예상된다.

요약하자면, 스마트 인프라를 통한 핵심적인 비즈니스의 창출은 스마트 인프라로 지어진 시설의 스마트한 운영 및 유지 사업이라 할 수 있다. 그리고 이를 위한 건설 생산 부문의 스마트 기술의 접목도 포함된다. 또한, 스마트 운영 및 유지 사업에서 발생하는 각종 건설 행위(보수·보강) 역시 확장되는 비즈니스의 영역이라 볼 수 있다.

<그림 VI-6> 스마트 인프라 추진에 따른 건설기업의 역할 및 대응 방향



<그림 VI-6>과 같은 역할을 위해서는 우선 공공부문의 인프라의 운영 및 유지관리 부문을 관리 기관의 특성에 따라 민간부문으로 위탁하는 정책이 활성화되어야 하겠다. 특히 인력이 풍부한 도로공사, LH 등 대형 공사(公社)보다는 상대적으로 관리 인력과 전문성이 부족한 지자체의 관리 사업을 우선 대상으로 선정할 필요도 있다. 여기에 참여하는 기업 역시 관련 비즈니스를 수행하는 자회사의 설립, 스마트 자산관리 혹은 운영/유지관리 솔루션을 준비해야 할 것이다. 그리고 해당 인프라의 관리 도중 발생하는 보수보강 등에 동반되는 자재 기업의 인수도 유럽의 사례를 볼 때 충분히 고려할 만하다.

하지만 건설기업은 자재, 스마트 기술, 프로세스 혁신 등 다양한 기술 혁신 부문에서

70) 성유경, 최석인(2016), 유럽계 건설기업의 불황 대응 전략과 시사점, 건설이슈포커스, 한국건설산업연구원.

높은 점수를 받고 있지 못한 실정이다. 스마트 인프라 등 건설 상품의 혁신을 위해서는 반드시 공급그룹의 스마트화와 융합적 접근이 선행되어야 하나 현재의 평가는 이에 미치지 못한 것으로 판단된다.

미국 등 선진국의 건설산업은 머지않아 ‘Construction Business’에서 ‘Manufacturing Business’로 변모할 것으로 예상되고 있다. 즉, 현장 생산이 주도하는 산업에서 공장 생산이 주도하는 산업으로 변화된다는 것이다. 미국의 DPR사는 BIM과 모듈 시공의 선두 주자로서 4차 산업 기술, 즉 스마트 기술을 적극적으로 활용하고 있는 건설기업이다. 특히 DPR은 첨단 기술을 개발하지 않고 외부의 가용한 스마트 기술을 바로 활용하여 사업의 성과를 보여주는 대표적 기업이라 하겠다. 국내 건설기업의 첨단 기술 도입과 적용의 속도 역시 근본적으로 혁신되어야 할 것이다.

스마트 인프라의 활성화는 종래의 건설기업이 가진 역할의 확장을 유도할 수 있을 것으로 예상된다. 도급 사업의 범주에서 벗어나 과감한 사업 파이낸싱을 통한 투자, 스마트 기술에 기반한 운영 및 유지관리 역량의 배양, 설계 및 시공의 스마트화 및 지능화는 미래형 건설기업이 요구받는 주요 덕목이라 할 수 있다.

본 연구는 전 세계적으로 경제 성장의 동력이 될 것으로 예상되는 확장적인 인프라 투자 정책에 새로운 부가가치와 유무형의 효과를 부여할 수 있는 스마트 인프라의 필요성과 추진 전략 등을 마련하기 위해 수행되었다. 이를 위해 본 연구에서는 우리나라 인프라 투자 실태와 정책, 인프라의 질적 제고의 필요성 분석, 선진국의 관련 정책 동향, 스마트 기술 동향 등을 분석하여 스마트 인프라를 위한 추진 전략, 정책 제언, 기업의 대응 방향을 제시하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 우리 정부는 인프라 스톡 규모가 선진국 수준에 근접하였음을 근거로 2020년까지 SOC 예산을 연평균 4.9% 감소할 계획을 수립한 바 있다. 하지만 최근 국토연구원의 연구는 현행의 인프라 스톡 평가가 실제 수요를 대표할 수 없음을 지적하였다. 이는 그동안 충분하다고 평가받았던 국내의 인프라 규모에 대한 근본적인 문제를 제기하는 것이다. 또한, 최근 우리나라의 인프라 경쟁력 정체 양상은 인프라의 질적 향상을 도모할 수 있는 방향으로의 투자 전환 필요성을 시사하나, 현재의 재정투자 계획 등을 감안해 볼 때 인프라의 글로벌 경쟁력 하락은 불가피할 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구는 경제모형 분석을 통해 인프라의 질적 제고는 1인당 국민소득을 증가시키고, 이 증가된 소득의 일정 부분이 다시 민간자본 투자로 이어져 결국 민간투자 스톡이 늘어날 수 있음을 밝혔다. 구체적으로 인프라 투자 효율성 1% 향상은 1인당 국민소득 0.091% 증가, 인프라 스톡 가치의 1.091% 증대로 이어지는 것으로 분석되었다. 특히, 4차 산업혁명 기술 등 새로운 기술과 인프라의 결합을 통한 신규 혹은 기존 인프라의 생산성 향상은 타 생산요소들의 효율성에 긍정적으로 작용하여 경제성장률 제고에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 전 세계적으로 인프라의 양적/질적 투자의 중요성이 높아지고 있는 가운데 미국, 영국 등 주요 선진국 역시 인프라의 투자 확대 정책을 본격적으로 진행하고 있다. 이러한 추세는 점진적인 인프라 투자 감소를 계획하고 있는 현재 국내의 정책 기조와는

상반되는 양상을 보이는 것이다. 또한 선진국들은 질적 제고 측면에서도 국가 차원의 다양한 계획 수립을 통해 스마트 기술 등의 접목을 통한 인프라의 효율성 제고를 강조하고 있다. 또한, 이러한 장기 투자 계획은 신규 인프라뿐만 아니라 노후 인프라의 재건에도 초점을 두고 있는 것으로 나타났다. 반면에 우리나라의 경우 개별 계획에서 스마트 기술 등의 적용을 강조하고 있지만 국가 차원에서의 투자와 연계된 계획은 미비한 실정이다.

넷째, 본 연구는 4차 산업혁명 관련 기술을 건설 생산과 상품 측면으로 구분하여 주요 동향을 살펴보았다. 스마트 기술은 현재 초기 단계로 보아야 할 것이며, 관련된 기술 발전은 향후 급속하게 진전될 것으로 전망된다. 따라서 스마트 인프라의 건설과 운영을 위한 기술 적용 논의는 현재 개발된 개별 기술뿐만 아니라 향후 기술개발 방향을 고려한 선제적이고 융합적인 고려가 필요하다. 생산과 운영 및 유지 단계에 이르는 인프라의 생애주기에 걸쳐 이들 기술을 어떻게 유입하고 융합하여 그 효과를 극대화할 것인지를 고민해야 할 것이다. 특히 스마트 인프라를 통해 새로운 비즈니스 창출과 민간의 참여 확대, 일자리 창출 등 다양한 부가가치가 발생할 수 있는 영역은 궁극적으로 인프라의 운영 및 유지관리의 스마트화 부문이 될 것으로 예상된다.

다섯째, 스마트 인프라는 우리나라와 선진국 간의 인프라 경쟁력 격차(물리적, 시간적 격차)를 넘어설 수 있게 하는 수단으로 이해해야 할 것이다. 그리고 이를 통해 건설 생산 혁신, 일자리 창출, 인프라 운영 및 유지관리의 효율성 증대 등을 도모할 수 있고, 궁극적으로는 지속 가능한 경제 성장의 기반이 될 수 있다. 본 연구에서 제안한 스마트 인프라 추진 전략은 1) 스마트 기술 등 첨단 기술의 즉각적 활용 체계의 마련, 2) 정책/제도/기준 혁신, 3) 관련 정부 및 산업과의 연계/협력/융합, 4) 사업과 기업 단위의 혁신 방향 등으로 대별할 수 있다. 아울러 정책 제언으로는 1) 스마트 인프라 투자계획의 마련, 2) 운영 및 유지관리 부문의 스마트 비즈니스 창출 방안, 3) 선도 스마트 인프라 사업의 발주, 4) 시설 조달 전략의 패러다임 변화, 5) 스마트 인덱스 신설 등을 제시하였다. 아울러 스마트 인프라의 운영 및 유지관리 측면에서 건설기업의 역할 및 대응 방향도 제시하였다.

스마트 인프라는 전 세계적으로 활발히 거론되고 있는 스마트 시티의 기반이라 할 수 있다. 하지만 아직 성숙한 개념이 아니기 때문에 관련된 이해와 인식, 실증 사례와 정책, 기업의 대응 등 다양한 측면에서 지속적으로 논의되어야 할 것이다. 본 연구 역시 스마트 인프라의 출발점의 연구로서 현재 미진한 점을 보완하기 위한 후속 연구가 필요한 상태이다. 우선적으로 고려할 수 있는 후속 연구는 다음과 같이 예시할 수 있다.

- 스마트 기술, 스마트 인프라에 대한 건설산업 종사자 등 관련 주체들의 인식과 이해, 그리고 각 주체별 준비 등에 대한 설문 조사 및 분석 연구
- 스마트 인프라의 건설~운영 단계 동안의 구체적인 민간 참여 모델과 비즈니스 창출 방안 연구
- 해외에서 진행되고 있는 스마트 인프라에 대한 모범 사례 조사 연구
- 공공부문의 스마트 인텍스 도입 방안 연구 등

참고문헌

강상혁 및 이영환(2013), 영미 선진국 인프라 평가 체계의 이해와 국내 도입 방향”, 연구보고서, 한국건설산업연구원.

국가재정운용계획(2014), SOC 작업반.

국토연구원(2016), 국토교통 사회간접자본 중장기 투자방향 연구.

국회예산정책처(2013), 중요소생산성 추이와 성장률 변화요인 분석.

국회예산정책처(2017), 대한민국 재정 2017.

김규옥(2015), “자율주행자동차와 스마트 도로, 자동차와 도로의 자율협력주행을 위한 도로 운영 방안”, 월간교통, 한국교통연구원.

김태형(2017), “자율주행차 혼자선 못 달린다, 자율주행차량과 스마트 도로가 함께 손잡아야 진짜 자율주행 가능해져”, 월간교통, 한국교통연구원.

김형태·안상훈(2013), 교통인프라 투자가 제조업체 생산성에 미치는 영향, 정책연구 시리즈 2013-17, 한국개발연구원.

박수진(2017), 새로운 SOC 패러다임과 투자 전략, 건설이슈포커스, 한국건설산업연구원.

박영숙·제롬 클렌(2017), 세계미래보고서 2055.

박희대(2017), 2017년 세계 인프라를 변화시킬 10대 트렌드, 건설동향브리핑 598호, 한국건설산업연구원.

소프트웨어정책연구소(2014), 스마트 시티 융합동향.

성유경, 최석인(2016), 유럽계 건설기업의 불황 대응전략과 시사점, 건설이슈포커스, 한국건설산업연구원.

송준혁(2016), SOC 자본의 부문별 한계생산성 추정, 경제연구.

LG CNS(2017), 스마트 시티에 살게 되는 세상.

이상건, 최재성(2016), 사회간접자본의 한국적 특성을 고려한 투자정책방향, 국토정책 Brief, 국토연구원.

임석호(2017), 주거시설의 트렌드 변화 주도하는 모듈러 공공임대주택, 한국건설기술연구원.

조정식(2016), 국내 SOC 확충 및 노후 인프라 시설의 체계적 관리 방안, 2016년 국정감사 정책자료집.

최석인(2017), 경제 회복을 위한 미국의 인프라 투자 정책 방향, 건설동향브리핑 597호, 한국건설산업연구원.

한국건설산업연구원(2016), 한국의 SOC 수준, 이대로 괜찮은가? 대안은 무엇인가?, 한국건설산업연구원 내부자료.

한국생산성본부(2010), 생산성의 경제성장 기여도 둔화와 요소 투입 의존 성장 지속.

현대경제연구원 (2013), 총요소생산성 영향 요인의 국제비교.

American Road & Transportation Builders Association(ARTBA)(2016), Analysis of the Obama Administration's FY2017 Budget Proposal for Transportation.

Australian Government(2016), Australian Infrastructure Plan.

Australian Government(2014), Trends Infrastructure and Transport to 2030.

Australian Government(2016), Key Australian infrastructure statistics.

Australian Government(2016), Australian infrastructure statistics.

Bom and Ligthart(2014), What have we learned from three decades of research on the productivity of public capital, Journal of Economic Surveys, 28(5) : 889-916.

Castagnino et al.(2016), What's the future of the construction industry? World Economic Forum.

Frost & Sullivan(2014), Strategic Opportunity Analysis of the Global Smart City Market.

Federal Ministry of Finance(2014-2016), Monthly Report.

Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, The 2030 Federal Transport Infrastructure Plan.

Infrastructure and Projects Authority(2016), National Infrastructure Delivery Plan 2016-2021, London, UK.

Infrastructure and Regional Development Portfolio(2016), Portfolio Budget Statements 2016-17 Budget related paper No. 1.13.

JBKnowledge(2016), The 5th Annual Construction Technology Report.

Kalyvitris and Vella (2011), "Public Capital Maintenance, Decentralization, and US Productivity Growth", Public Finance Review 39, No. 6.

KPMG(2017), Ten Emerging Trends in 2017 - Trends that will change the world of infrastructure, KPMG.

Mckinsey Global Institute(2016), Bridging Global Infrastructure Gaps, Mckinsey Global Institute.

OECD Family database(2010).

Office of Management and Budget, Investing in American Infrastructure.

Peter L. Singer(2017), Investing in "Innovation Infrastructure" to Restore U.S. Growth, ITIF.

Sarantis Kalyvitris, Eugenia Vella(2011), "Public Capital Maintenance, Decentralization, and US Productivity Growth", Public Finance Review 39(6).

Schwab K.(2016), The Global Competitiveness Report 2016–2017, World Economic Forum.

SmartMarket Report(2013), Information Mobility : Improving Team Collaboration through the Movement of Project Information.

Singer(2017), Investing in Innovation Infrastructure to Resore U.S. Growth, ITIF.

WBG(2009), Infrastructure and Growth in Developing Countries, Policy Working Paper 4460.

White House Council of Economic Advisers(2016), 2016 Economic Report of the President.

World Economic Forum(2016), Shaping the Future of Construction - A Breakthrough in Mindset and Technology.

World Economic Forum(2016), What's the future of the construction industry?

World Economic Forum(2007–2016), The Global Competitiveness Report

Abstract

Securing high quality infrastructure is one of the essential elements for strengthening national competitiveness, and recently, developed countries have been preparing various strategies and policies for new infrastructure and reinvestment of infrastructure. However, the Korean government recognizes that SOC stock has reached the level of developed countries and plans to gradually reduce investments in the future.

The main objectives of this research are to 1) understand why expansionary infrastructure investment policy is necessary, which is expected to be the driving force of domestic economic growth and 2) suggest the 'Smart Infrastructure' strategy as a direction of the expansionary infrastructure investment policy. Key findings of this research are as follows.

- Domestic infrastructure stock, which has been evaluated as sufficient by the government, can not represent actual demands, and it is inevitable that Korean infrastructure competitiveness will decline if current investment plans continues.
- The analysis of the economic model reveals that the quality improvement of the infrastructure increases the per capita income and some of the increased income leads to the private capital investment, which can eventually increase the private investment stock.
- Unlike the domestic policy trend, developed countries are aware of the importance of infrastructure investment in both quantitative and qualitative ways, and they are pursuing policies to expand infrastructure investment.
- The application of technology should consider convergence of existing technologies as well as future technology development direction.

Smart infrastructure should be understood as a means to overcome the gap of infrastructure competitiveness between Korea and advanced countries. To establish a successful smart infrastructure, this research suggests the key strategies, policy proposals, and roles of the private construction companies.

O 저자 소개

최석인 (sichoi@cerik.re.kr)

중앙대학교 공과대학 건축학과 졸업

중앙대학교 공과대학 일반대학원 건축공학 석사(건설관리 전공)

중앙대학교 공과대학 일반대학원 건축공학 박사(건설관리 전공)

현 한국건설산업연구원 기술정책연구실장

박수진 (jin@cerik.re.kr)

연세대학교 경영학 석사

美 Cornell University 석사(부동산금융 전공)

KDI School of Public Policy and Development 박사(개발정책학 전공)

한국 공인회계사·세무사, 美 CIA, CFE

현 한국건설산업연구원 연구위원

최수영 (sooyoung.choe@cerik.re.kr)

고려대학교 공과대학 건축공학과 졸업

美 The University of Texas 석사(건설관리 전공)

美 The University of Texas 박사(건설관리 전공)

현 한국건설산업연구원 부연구위원

최은정 (kciel21@cerik.re.kr)

숭실대학교 경상대학 경영학과 졸업

서강대학교 일반대학원 경영학 석사(인사조직 전공)

건국대학교 일반대학원 경영학 박사(인사조직 전공)

현 건설산업연구원 부연구위원

박희대 (hpark@cerik.re.kr)

연세대학교 공과대학 토목환경공학과 졸업

연세대학교 대학원 공학박사(건설관리 전공)

연세대학교 건설공학연구소 박사후연구원

Iowa State University 박사 후 연구원 및 강사

현 한국건설산업연구원 부연구위원

박철한 (igata99@cerik.re.kr)

고려대학교 경상대학 경제학과 졸업

고려대학교 일반대학원 경제학 석사(거시경제정책 전공)

고려대학교 일반대학원 경제학 박사(응용거시계량 전공) 수료

현 한국건설산업연구원 부연구위원