

푸트 프린트 (Foot Print)



이창림 | 초대 도로기술사회장

1. 문명, 문화, 기술의 「푸트 프린트」

1.1 푸트 프린트(Foot Print)

「길」이란 사람과 자동차가 왕래하는 곳의 총칭이며, 방도(方途)의 의미도 가지고 있다. 「자연적 통로」를 「길」이라 하는 것이 통념이며, 「도로란 통행을 위하여 만든 인위적인 길」을 말한다. 제목 『푸트 프린트』는 일반적으로 「사람, 동물의 발자국이 차지하는 공간 또는 통신의 지상수신 범위」를 뜻하며, 여기에서는 「포괄적으로 길과 도로」를 의미한다.

1.2 문명, 문화교류의 「실�크로드」

유라시아(Eurasia)를 통일한 북쪽 초원의 「모피의 길(Steppe Route)」, 남쪽의 「오아시스 길(Oasis Route)」, 바닷길인 「향신료(香辛料) 길」 등 「실�크로드」는 고대 자연의 길이다. 2008년 경주에서 『실�크로드와 신라문화』의 국제학술대회 개최와 같이 오스만제국 이래 동서양의 불가사의한 양면성

의 경제, 정치, 종교, 예술, 문화, 문명을 연결한 역사적 무형문화재이다. 「태고 자연의 길」은 사용하지 않으면 자연으로 환원하는 특징을 가지고 있다

1.3 『로마도로』의 이념과 기술

『로마도로』와 중국 「진시 왕」의 『만리장성』은 동서양에서 같은 BC 4세기의, 같은 국방목적의 세기적 토목사업에서 동서양의 이념과 방법의 차이점을 발견할 수 있다.

로마제국의 방대한 영토에 신속한 병력이동, 물자수송, 통신망 역할의 86,000km의 『로마도로』는 Traianus제 시대, 페르시아 『왕의 도로』의 영향을 받아 건설된 도로와 수도 등을 피지배민족에 개방하는 동화정책으로 평화와 국방을 성취할 수 있었다.

이 중 BC312년에 착공한 「도로의 여왕」이라는 「아피아가도」는 현대도로기술의 prototype로서 완벽한 「기술기준」에 의한 「견고, 기능성, 미관」이라는 이념을 가진 기술자의 「사명감, 자부심」의 창조적 성과로서 세계도로의 귀감이다.

2. 근대 선진 도로문화

2.1 미국의 「좋은 길」 도로기술

1780년대 역마차시대는 기후의 영향을 받지 않은 「나무포장이 좋은 길」이며, 자전거의 보급으로 Macadam 자전거도로포장이 등장하였다. 1889년 독일이 발명한 가솔린 엔진자동차와 자동차전용도로 원조인 「아우토반(Autobahn)」의 탄생으로 자동차도로는 대중화되었다. 1889년 30대, 1899년 2,500대로 유럽을 능가하므로 1901년에는 「국가좋은도로연맹(NGRA)」과 「미국자동차연맹(AAA)」이 정치세력화 하므로 경제발전 촉진의 『도로경제론』 등 도로개혁운동으로 1915년에는 자동차가 200만 대로 증가하였다.

1916년 Wilson 대통령의 「연방도로 정비법」, 제1차 세계경제공황에 의한 「고용촉진국(WPA)」 임시 예산으로 「28만 마일 도로사업」이 전개되었다. 한편 1893년 설립된 「도로조사국(ORI)」과 「도로연구소」는 도로관리 시스템조사 및 도로건설 최적방법을 연구하므로 MIT 등 각 대학도 「도로학」을 신설하는 등 도로공학기술 발전으로 1934년 『카드라이트 조레』에 의한 과학적 조사 및 장기계획이 진행되었으며, 이 무렵 등장한 「트럭과 버스」로 도로 중요성이 강조되어 Roosevelt 대통령의 「Superhighway」 비밀계획이 진행되었다.

2.2 미국의 시민에 의한 도로개혁

2.2.1 Mother Road : Route 66

「도로경제론 및 좋은 도로 요구는 시민의 정당한 권리」라는 주장으로 1915년 뉴욕에서 샌프란시스코 까지 3,150mile, 개방 2차로 건설을 위한 도로단체들의 「Good Road Movement」는 매스컴을 통한 모금에 주민들의 적극참여와 이에 호응한 연방정부의 지원으로 미국역사 속의 민간이 만든 『Mother Road - Route 66』의 탄생을 보게 되었다.

2.2.2 발 물집 경주

Route-66을 위한 모금으로 『발 물집경주(bunion dab)』라는 맨발로 5,475km 미 대륙을 횡단하는 「천하기상, 인류역사에서 가장 어리석은 운동회」를 개최했다. 1928년 3월 4일 로스앤젤리스 출발점에 세계에서 모인 275명의 선수와 5만 관중 속에서 출발하여, 고통의 87일 후 뉴욕에 도착한 완주자는 55명이였다. 이로써 Route-66은 1932년 대부분의 포장이 완료되고, 장대교는 1937년에 완성했으며, 전 노선의 포장은 1938년에 완료되었다.

2.2.3 탈주의 고속도로

1935년 4월 14일의 극심한 모래태풍으로 Route-66은 고향을 버리고 신천지 캘리포니아를 향한 난민들의 「탈주의 고속도로(Road of Freight) 또는 Dust Blow Highway」로 돌변했다. 「Road of Freight」는 이 시대의 난민상을 소설화 한 「존 스타인벡(John Steinbeck)」의 『분노의 포도(The Grapes of Wrath)』에 나오는 말이고 1941년 이 소설의 영화화는 아카데미상 수상으로 난민과 Route-66를 세상에 홍보하였는데, 모든 가재와 침대 매트리스를 차 지붕에 싣고 신천지를 행한 「Mattress on the Roof」이란 혐구에 시달린 난민들을 노래로 위로한 발라드 가수의 「Dust Blow Parade」라는 명곡은 미국 시민의 귀중한 유산이 되고 있다.

2.3 주간 고속도로(Interstate highway)

2.3.1 Highway Trust Fund

Eisenhower 대통령의 전쟁과 산업발전을 위한 고속도로 유효성과 전후 급격하게 변화한 사회적 배경으로 「도로와 자동차는 미국적 생활방식의 요소」라는 진보적 이념과 전쟁 희생자를 능가하는 교통사고 사망자수를 고려한 「국가 국방 개념의 Superhighway」의 「주간 고속도로 법안」은 1954년 7월 주지사 회의에서 제안한 「30년 상환 건설국채발행 재원」이 상원에서 부결되어 결국 Albert Gore 상원의원 등의 개

솔린 세에 의한 「주간고속도로신탁기금(Highway Trust Fund)」으로 「건설재원」에 충당하는 대안으로 결정되었다.

2.3.2 국방개념의 Superhighway

1956년 6월 양원 합동위원회가 합의한 「1956년 연방원조 고속도로법안」은 건설자금의 90%는 연방정부 부담, 고속도로 총연장은 66,000km, 건설기간은 1966~1969년, 연방의 총지출은 250억\$ 한도, 고속도로의 최소규격은 연방정부가 결정, 건설방법, 선형 등 세부는 주정부에 일임한다 등으로 동월 29일 정식이름 「Eisenhower - Interstate and Defense highway」 법안에 Eisenhower 대통령이 서명함으로써 고속도로 건설의 막은 올랐으며, 1971년 완공목표는 환경변화로 68,871km로 연장, 4차로 확장 및 물가 상승 등의 재정압박에도 불구하고 1990년에는 일부 난공사구간을 제외한 거의 전 노선이 개통되었다.

2.4 20세기 후기 미국의 공공사업

2.4.1 20세기 SOC 이념과 구성

20세기 인류를 위한 이상적 경제체제의 사회간접자본(Social Overhead Capital : SOC)은 「모든 국민이 풍요로운 경제생활, 좋은 문화, 매력 있는 사회를, 안전한 사회적 장치」로서 「사회 전체의 공통자산으로 자연적, 역사적, 문화적, 경제적, 기술적 요소를 정치적 프로세스에 의하여 결정」한 것이 SOC 이념이다. SOC는 자연환경(대기, 물, 삼림, 하천 등), 사회적 인프라 스트럭처(도로, 상하수도, 전력 등), 제도자본(교육, 의료, 금융, 사법, 행정 등)으로 구성된다.

2.4.2 SOC사업에 대한 재고

도로교통은 기술, 경제, 정치의 혼합시스템으로 시민의 공간, 시간 분배에 막대한 영향을 주며, 안전 및 환경문제의 원인이 되고 20세기의 다생산, 다소

모 사회의 과도한 공공사업이 유한 자연자원의 고갈, 수명을 다한 거대시설물의 사회적 스톡을 증가 시킴으로써 투자효과에 대하여 철저한 국가차원의 재정 검토 및 교통의 혼잡, 침체에 대한 대책, 비용, 효과의 재검토가 요구되므로 미국은 중요SOC 신설 공공사업에 대하여 1990년대에 중지부를 찍었다.

2.4.3 도로 전환정책 - ISTEA

인구팽창, 대도시화로 급증하는 도시교통의 침체와 공해 등 자동차교통의 한계가 보이기 시작하므로 1991년 21세기를 준비하는 정책은 의회의 지구환경 문제로 인한 「건설억제 개념」의 패러다임 전환으로 도시교통의 침체와 공해주범인 자동차교통의 억제력을 위한 전차, 지하철, 버스 등 대량공공수송수단에 충실, 건설이 끝난 고속도로를 포함한 주요도로 25만 km를 새로운 National Highway System(NHS)로 개편하고 유지관리 추진으로 도로네트워크 기능을 향상시키는 육상교통효율화법(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act : ISTEA)을 1992년부터 6년간 시한입법으로 제정했다.

NHS 25만km는 새로운 도로건설을 지양한 98%의 기존도로이며, 나머지 2%도 이미 계획된 착공 가능한 도로이다. 이와 같이 「도로」도 「대담」과 같이 대규모건설의 시대는 끝났다. 그래서 가솔린세는 「1991포괄재정조정법」에 의하여 그 일부는 재정적자에 충당하는 일반재정에 편입되었다.

2.4.4 Auburnm 댐건설의 부결

미국은 도로대국이며, 수자원 대 댐에서 세계적 권위를 자랑하는 내무성 개간국(開墾局), USA COE, TVA 등 3대 기관을 보유하고 있다. 1996년 6월 하원 공공사업위원회는 Auburnm 댐 건설승인을 위한 의결에서 댐 설계책임 COE 사령관의 부속 보고에 「대 투자가 소요되는 수자원개발은 재정문제로 건설의 재고를 바란다.」라는 의견 제시와 세금의 유효사용, 자연환경을 위한 절약 등 새로운 대안에 의하여 부결되었다.

2.4.5 강력한 규제 등

- ① 의회 활동 : 정치, 행정의 사업재원에 대한 철저한 분석과 의사결정은 의회의 임무이고 세금의 사용에는 「투명성, 합리성, 유연성」 3대원칙의 강력한 규제와 투명한 공개로 진행된다. 의회의 부속기관으로 독립된 「회계감사원(GAO)」이 사업효율을 높이고 또 하나 시한입법에 의한 「기술평가국(OTA)」은 1991년 의회에 제출한 『사회기반의 재건』 보고서가 ISTE의 기초가 되었다. 강력 규제에서 도로는 완공으로 종료하고, 하천, 댐은 「1986년 수자원 개발법」에 의한 예산확정에서 5년 이내 가동 못하는 사업은 자동 소멸되는 「sunset 조항」으로 300을 능가하는 댐, 제방, 보 등이 한 번에 취소 처분되었다.
- ② 환경영향평가 : 『국가 환경정책법(NEPA-1969)』에 의한 각종 사업과정에서 엄격한 「환경영향평가」보고서의 의무화와 환경평가위원회 설치이다. 도로, 댐 등 SOC와 대규모 민간사업도 포함된다. 법은 자연, 사회, 문화를 위한 광범위한 포괄적 의미의 「환경」을 대상으로 하고 있다.
- ③ PI(Public Involvement) : 환경영향평가에서 일층 확대한 것이 주민, 이해관계자를 계획단계부터 참가를 보장함으로써 원활한 사업추진과 효율, 가치의 증진을 유도하는 제도이다.
- ④ 사법 적극주의 : 미국의 자연보호운동은 재판투쟁의 역사이라 할 수 있다. 그래서 연방재판소의 사법의 적극주의는 사업 중지를 속출하고 있다.

3. 3, 4차 산업혁명과 도로

3.1 산업혁명의 진화

산업혁명 1차 「동력」, 2차 「자동화」, 3차는 「디지털화」, 4차는 3차를 기반으로 과학적 테크놀로지의 「복합, 융합」의 진화과정이다. 3차와 4차 산업혁명은 「요소 환원주의」를 벗어난 「학제 간의 벽을 허문

지식생산 M. Gibbons 의 『Mode 2』, 「전체는 부분의 총화 이상이며 부분으로 환원할 수 없다」는 H. Driesch의 『전체론(Holism)』 등 「복잡계」이론을 공유하고 있으며, 인류가 지금까지 경험하지 못한 빠른 속도, 범위, 강력한 영향 등을 특성으로 발전하고 있어 WEW 클라우드 슈밥 회장은 「전 세계에 쓰나미(津波) 같이 밀려오고」 있다고 말하였다.

3.1.1 3차 산업혁명

제조업의 디지털화와 3D 프린터 등으로 지구상의 공장들이 연결되어 거대한 「제작 공간」을 형성한다는 콘텐츠를 기반으로 추진되었다.

3.1.2 4차 산업혁명

3차 혁명을 기반으로 발전한 기술들의 융합된 콘텐츠는 물리학 기술 : (무인운송수단, 3D프린터, 로봇공학, 신소재), 디지털 기술 : (사물인터넷-IoT, 빅 데이터, 인공지능), 생물학기술 : (유전공학, 스마트의료) 등으로 미국은 클라우드 산업, 독일은 제조업 4.0, 일본은 로봇, 중국은 인터넷 활용산업을 추진하고 있다.

3.2 20세기형 문제들

3.2.1 예고된 『위험사회』

대량생산, 대량소비에 위한 20세기의 지구규모 환경문제와 사회 경제, 문명의 충돌 등에 대하여 독일의 석학 Ulrich Beck 『글로벌 위험사회(1986)』는 지구의 위험을 기아, 전염병, 지진, 화산폭발 등 「외부적 위험」과 기후변화, 금융위기, 테러리즘 등 인류 문명에 의한 「내부적 위험」을 리스크(Risk)란 개념으로 예고했다. 『환경윤리학』은 인간중심주의에서 생태학적 비인간중심주의, 페미니즘, 다원론으로 진화하고 있으며, 「짧은 시간(수십 년)에도 기후변동이 일어날 수 있다」는 Younger Dryas 이벤트에서 기상학의 다원론은 현 미국대통령도 인용하는 주장이다.

① 「복잡계」 문제

복잡, 난해하고 강력, 광범위, 빠른 속도로 변화하는 문제는 과학적 테크놀로지로 대응할 때, 트레이드오프를 수반하는 특성으로 새로운 문제에 봉착할 수 있다.

② 초고령화 사회

지구 정원을 초과하는 인구증가의 중대성을 예고한 에를리히(P. R. Ehrlich)의 『인구폭탄(1968)』은 21세기의 인구감소로 대신 초고령화 폭탄으로 변하고 있다. 생명과학 발전이 건강과 생명연장으로 고령자의 급격한 증가를 현역세대가 부양할 수 없는 인구구성으로 되는 시점에서 국가가 파탄할 수 있다는 미래가 예측되고 있다.

3.2.2 변화하는 우주관

뉴턴역학의 한계를 아인슈타인의 상대성이론은 우주 갖대의 새로운 학문의 인식 한계를 제시하였으며, 미국 천문학자 허블의 발견은 인류의 우주관을 일변했다. 물질에 질량을 주는 힉스 입자의 발견(실제 입자 그림자만 인식)으로 우주의 신비도 풀릴 것으로 기대하고 있으며, 한편 하이젠베르크의 불확정성원리에 의한 양자역학은 소립자 갖대의 인식 한계를 제시하고 있다.

3.2.3 에너지

인류생명의 원천인 에너지자원은 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료와 바이오매스, 수력, 풍력, 태양 등 자연을 이용한 재생에너지 및 원자력이 이용되고 있다. 에너지 구조의 종류는 전자파에너지, 화학에너지, 핵에너지, 열에너지, 운동에너지, 전기에너지 등이며, 여러 구조의 에너지는 서로 변환할 수 있다는 에너지 전환의 예는, 태양열의 광합성은 태양에너지를 전자파에너지에서 화학에너지로 변환한 것이다.

3.2.4 핵에너지

지구내부에 방사성물질을 방출하는 가장 중요한 핵에너지원은 우라늄으로 불안정한 핵 종류로서 자

연이 붕괴되어 다른 원소(납)로 변화하는데 반감기는 45억년이다. 특정의 원자핵은 자연 붕괴 또는 핵분열이라는 연쇄 반응적으로 붕괴되면 대량의 에너지가 방출된다. 이 에너지를 순간적으로 운동에너지로 변환한 것이 원자폭탄이고, 서서히 전기에너지로 변환한 것이 원자력발전이다. 청정에너지인 핵사용은 1979년 미국 스리마일 원자력 발전소의 노심용융사고, 1986년 구소련의 체르노빌 원자력발전소의 폭발사고, 2011년 3월 11일 일본 후쿠시마(福島) 제1원자력발전소의 대사고 등은 인류에 어두운 그림자를 주고 있다.

3.2.5 산소, 탄소와 지구온난화

① 온실효과

대표적인 온실효과 가스는 수증기와 CO₂이고 메탄, 일산화질소, 오존, 프레온가스 등은 우주에 산일하는 적외선을 흡수하는 온실효과로 대기온도 상승의 지구온난화 현상이 발생하는데 21세기말에 3℃ 정도의 온난화가 예측되고 열팽창과 빙하의 용해로 21세기 해면상승치는 0.98m, 안정 시나리오는 0.28~0.61m 등으로 예측되고 있다.

② 생존 절대요소 「산소」

공기는 지구표면 10km 대기층뿐이며, 활동에 절대 필요인 산소농도 18%를 밑도는 산소부족은 뇌기능 저하로 생명이 위험하게 된다. 현재 대기 중에 CO₂는 증가하고 산소농도는 연간 3PPM(0.0003%)이 매년 감소되고 있다는 보고도 있다.

3.2.6 기후변동, 이상기상, 기후공학

① 기후, 이상기상

지구의 천문학적 요소인 자전과 공전의 변동으로 지구상에 도달한 일사량과 분포가 변하므로 빙기(氷期)와 간빙기(間氷期)라는 2개의 기후상태를 주기적으로 반복하고 있다. 기후변화의 요소는 태양, 해양심층, 단기변동 등이다. 이상기상은 과거의 경험을 벗어난 현상으로 집중호우, 장기가뭄 등이며, 요인은 열대해면의 수온, 적운대류활

동, 태평양 고기압, 상공의 편서풍, 북극의 한기 유입 등의 엘니뇨(남방진동), 블로킹, 북극진동이다.

② 기후공학

지구온난화 대책으로 인위적 지구냉각, CO₂ 제거책 등의 분야가 기후공학(Geo engineering)이다. 태양방사관리(Solar Radiation management : SRM) :태양에서 오는 열에너지 차단으로 에어로졸을 대기에 주입, CO₂ 제거(Carbon Dioxide removal : CDR) :철을 해양에 산포하므로 광합성 촉진, CO₂ 흡수, CO₂ 회수 및 저축 등의 대상으로 인위적 기후변동대책으로 행하는 지구환경의 대규모 개변이 목적으로 생태계에 영향이 우려되는 공학으로 문제는 그 규모와 목적에 있다.

3.3 21세기의 문제와 미래

3.3.1 엔트로피와 21세기 문제들

무질서와 무작위 및 정보학의 평균 정보량을 나타내는 두 개념의 엔트로피(entropy)는 복잡계 이론으로 열역학과 정보를 연결하는 유일의 개념이다. 따라서 무질서와 평균정보량을 조작할 수 있는 것은 컴퓨터이므로 복잡한 문제해결에는 정보화기술(IT)이 유효하다.

Smart car, Smart way의 스마트화란 IT를 이용하여 여러 가지 문제를 하나씩 해결하는 디지털 혁명을 말한다. 그래서 주변의 모든 전자제품이 인터넷과 연결, 센서에 의한 데이터가 정보화하는 IoT(Internet of Things)와 마이크로 시야로 문제에 접근하고 개인의 능력을 확대하는 VR 등 콘텐츠 활용이 21세기형 문제해결에 적합한 방법이다.

3.3.2 미국의 TEA21와 ITS

① ITS의 발전

미국이 ISTEA에 이어서 1998년부터 계획된 TEA21(Transportation Equity Act forth 21 Century)은 도로의 기능화, 효율화를 위한 관·

학·산의 기술과 자본융합에 의한 차량과 도로의 정보공유로 안전 및 효율화 운행을 보장하는 보조수단인 ITS(Intelligent Transport System) 개발 프로젝트이다.

3차 산업혁명의 디지털화에 의한 IT발전의 산물인 1세대 ITS기술에서 4차 산업혁명의 ITS기술은 차량과 도로의 협력형 시스템인 C(Cooperative) ITS, 승용차와 화물차의 Vehicle Path 및 Urban Environment System으로 도시환경에서 자율주행이 가능한 자동화 시스템으로 발전하고 있다.

② ITS의 기능

ITS는 교통관리, 돌발 상황관리, 공공교통관리, 자동요금징수, 여행자관리, 고속도로관리 시스템 등 도로이용자를 위한 모든 서비스를 망라한 프로젝트 개발 사업이다. 특히 핵심과제인 Smart car와 Smart way의 정보공유로 안전운전을 보장하는 ITS의 꽃이라 하는 AHS(Automated Highway System) 테스트 성공에 의한 AHS 진화론은 자율주행차량을 위한 센서, 제어기술 등의 개발을 추진하고 있다.

3.3.3 선진국의 자율주행차량정책

개인용 차량의 VM(Vehicle-miles) 감소는 세계적 추세이다. 21세기 선진국들의 도로정책 핵은 도로기능 향상과는 별도로 안전한 자율주행자동차 개발에 중점을 두고 있다.

① MaaS 혁명

2016년 9월 19일 발표한 미국의 교통안전정책과 산업정책으로 추진되는 자율주행차량정책의 핵심인 「전기 차+자율주행+온디맨드서비스+V2V 및 V2I 통신네트워크」 결합으로 등장하는 MaaS 혁명은 안전과 신기술혁신의 두 목표를 위한 정책 발표이므로 A. Foxx 교통부장관과 J. Zients 국가경제위원회 의장이 공동으로 추진되었다.

② 자율주행차량

세계는 안전과 효율의 운송수단을 위한 자율주행 자동차의 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 또는 V2I (Vehicle-to-Infrastructure)의 실용화를 위하여 센서와 제어기술 개발에 노력하고 있다.

미국의 목표는 첫째, 2015년 교통사고사망자 35,000명의 사회적 문제와 교통사고의 94%가 인간의 착각에 의한 것이므로 자율주행자동차의 고성능화로 사고예방과 안전 확보, 둘째, 차량이 용에 소외된 계층을 포함한 모든 시민의 이동 편의성 제공, 셋째, 도로운행 효율화 및 자율주행차량의 신에너지 사용에 의한 교통체계의 총체적 효율증진이다.

③ 유연한 도로정책

미국은 자율주행차량의 안전을 위한 지침에서 법규 대신 지침(Guideline, Guidance)이란 유연한 학습과 개선을 위한 접근법으로 혁신 장애를 배제하고 있다. 자율주행차량을 위한 새로운 차량개발을 위하여 15개 분야지침 제시와 개발업체들의 데이터 공유로 발전효율을 높이고 있다.

④ 선진국의 미래도로정책

미국 미래도로정책은 고속주행과 수송수단 별 전용도로 구축으로 도로의 기능과 규격이 향상된 복합수송체계에 역점을 두고, 설계속도를 140~160km/h로 상향 조정과 이에 따른 안전주행을 위한 새로운 기준을 제시하고 있다.

일본은 첨단차량제어시스템(AVCS), 첨단주행지원도로시스템(ACHS) 및 SMART Cruise System 등 획기적 안전성 확보 정책을 추진하고 있다.

3.3.4 우리나라 미래 도로정책과 기술

① 미래지향 도로정책

우리 정부의 자율주행, 인공지능, 환경, 에너지 등 미래문제에 대응하는 첨단기술과 융합하여 기

존시스템을 초월한 새로운 도로(TransRoad)의 7대 비전을 2016년 8월에 발표했다. 고속도로 설계속도를 140km/h로 상향조정함으로써 상응되는 모든 기준도 조정 중이다. 특히 인구의 도시집중에 대비한 도시교통문제 대책으로 지하도로 건설을 고려중이다.

4차 산업혁명의 MaaS 혁명 및 고도 자동화 차량 HAV 실용화를 위한 센서와 제어기술 개발을 위하여 2016년 11월 국토교통부는 자율주행차량 시험운행을 전국도로에서 시행 가능하도록 허용하고 2019년까지 자율주행 실험도시 완성과 지속적 실험 및 기술평가도 실시예정이다. 그리고 글로벌 사회의 자동차여행은 유라시아에서 유럽까지 꿈을 추진하고 있다.

② 도로기술의 지향성

3차 산업혁명기의 인간운전자동차에 대한 도로기하구조와 안전의 상관관계, 녹색운동의 회전교차로, 한국형 도로포장 등 도로 본질에 접근한 도로기술기준에 집중되고 있었는데 4차 산업혁명의 자율주행자동차 전환교통수단이 주는 환경과 에너지 등 문제에 대응하는 새로운 도로개념의 확립과 우리의 상대적으로 느린 인공지능, 데이터분석, 자동차운영 소프트웨어 분야 STEM(Science Technology Engineering Mathematics)에 의한 설계부문 강화가 요구되고 있다.

③ BIM와 IFC4(ISO 16739)

BIM은 3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 생애주기에 발생하는 모든 정보를 통합, 시설물의 형상, 속성 등을 표현한 디지털 모형으로 명확한 설계정보로 설계의도를 이해, 평가하여 신속한 의사결정을 유도하는 것이 근본적 목적이다.

BIM 표준 교환 포맷인 IFC(Industry Foundation Classes)는 건축 객체교환 표준포맷이다. 2013년 3월 공식화된 IFC4은 이어 ISO

16739로 릴리즈 되었다. IFC4 버전은 새로운 기하현상과 파라메트릭 기능, 4D, 5D모델교환, BIM와 GIS 상호운영, 온도 시뮬레이션 및 지속 가능한 평가 등에서 인프라 스트럭처까지 확대 등으로 발전되어, 구조물 모델링 요소 및 해석, 수량 산출 개선, 에너지 등 성능 및 환경 분석, GIS 좌표계 변환, 효율성 등으로 개선됨으로써 도로시설에 대한 전통적인 캐드에 의한 카피 방법이 아닌 모든 근본적 문제들을 취급할 수 있는 IFC4 기반의 「Ifc Road」는 Civil3D에 의한 변환과 뷰어 프로그램 변환으로 시각적 검증도 기능하게 개발되었다.

4. 미래의 푸트 프린트

4.1 미래예측의 불확실성

복잡계 시스템의 추론을 위한 논리에는 어딘가 적은 오차(논리의 비약)이 포함될 수 있어 이 오차의 축적이 무시할 수 없는 결과를 나올 수 있다. 그래서 예측이 얼마나 어려운가를 나타내는 「나비효과」라는 말이 있다. 20세기말 미국의 베스트셀러 『AGAINST the GODS(P. L. Bernstein-1996)』은 미래예측을 “신에 대한 대항”이라 하였다. 과학기술이 극도로 발달한 21세기에도 지진, 화산폭발, 일기예보 등의 문제와 1년 후의 경제예측도 부정확하다. 그래서 미국의 이론물리학자 Freeman Dyson은 「경제예측과 같이 과거 현재의 데이터분석에 의한 미래예측도 10년이 한계이고 그 이상은 공상과학소설(SF)이다.」라고 말하듯이 미래예측이란 어려운 문제로서 항상 불확실성을 내포하고 있다.

양적 예측은 비교적 높은 정도를 얻을 수 있으나, 질적 변화의 예측은 매우 어려운 일이므로 미래예측에 절대요소는 컴퓨터 시뮬레이션이다. 미래를 예지할 수 있는 기술은 AI, 빅 데이터 등 지적기술과 결합한 「지적 시뮬레이션」이다. 그러나 COP의 기후변

동국제회의도 21세기 말의 기온상승은 몇 도인가? 하는 예측은 지구의 평균온도 변화에는 태양활동 등 너무 많은 파라미터의 작용을 슈퍼컴퓨터의 시뮬레이션으로도 정도 높은 예측이 불가능한 문제이다.

4.2 미래도로와 도로기술

4.2.1 미래도로

육군공병의 슬로건 「시작과 끝은 우리가(First in Last out)」은 건설의 전 life cycle을 통한 사명의 범주를 표현하고 있다. 미래사회도 도로에서부터 발전하며, 좋은 자율주행자동차, 하늘을 나는 자동차도 도로가 절대요소이다. 교통약자를 포함한 모든 시민의 안전, 쾌적하고 공평한 시간분배의 이동을 보장하는 복지, 행복사회의 첨단도로는 안전, 편의성, 효율성을 위한 ITS를 활용한 MaaS 혁명성취의 도로교통을 위한 국가적 지침과 4차 산업혁명 콘텐츠가 혼합, 융합된 것이 미래 도로기술이다.

4.2.2 근 미래에 예약된 도로기술

① 지능화 신호기

4차 산업혁명 콘텐츠 이용으로 도로 정체문제를 변동하는 교통량을 원활히 처리할 수 있는 신호기와 컴퓨터를 융합하여 Maxwell's demon과 같이 물리적인 차량통행을 데이터로 정보처리하는 지능 신호기는 교통공학, 도로경제 측면의 교통소통 방법론이다.

② 태양광 패널 및 압전발전

도로포장 대신 솔라패널에 의한 발전 및 표면유리로 마찰력이 증가된 안전한 도로 또는 압전소자를 이용하여 차량통행의 물리적 변화에서 발전하여 에너지를 저장하는 Energy Harvesting concept의 도로기술이다.

③ 도로면이 빛나는 도로

도로면에 신소재이용으로 빛나는 모형으로 확실

한 정보제공, 발광도로 사용으로 태양광을 흡수하여 밤에 아름답게 비치는 보도, 도로면에 LED 디스플레이를 조사(照射)하여 교통현황을 실시간으로 정보를 제공한다.

④ 도로의 다층화와 공중회랑

21세기 새로운 Smart City의 도시유형은 거미줄 같은 도로, 통신망의 효율적 구성이 특징이다. 그래서 도로는 다층화 또는 공중회랑으로 변한다.

⑤ 자율주행과 교통정온화

MaaS 혁명의 V2V, V2I 기능을 통한 성능 및 효율의 향상과 안전을 보장하고 부작용 감소 등 교통제어의 교통정온화(Traffic Calming) 정책이다.

⑥ 에너지와 기타

오차 10cm 이내 3차원 도로지도, 그리고 전기, 수소에너지 전환 등

4.3 원 미래의 기술과 도로

4.3.1 Flying Car

길이 없는 곳도 갈 수 있는 「나르는 자동차」는 고차원의 문제를 가진 원 미래기술이다.

4.3.2 인간과 로봇기술

① 로봇의 정의

4차 산업혁명의 모든 분야에서 활동이 예측되는 로봇은 미래 산업에 특별한 기능이 기대되고 있다. 인간의 감각(센서), 두뇌(컴퓨터), 근육(Actuator)을 갖춘 로봇은 미래 사회활동에서 인간을 대신할 것이다. 이미 AI(인공지능: Artificial Intelligence)는 단순계산, 정보추적과 검색 등에서는 인간의 두뇌를 능가하고 AI와 융합된 다양하고 광범위한 미래 SF 로봇의 사회진출에 대하여 미국 기술평론가 J. Markoff는 「로봇은 인간의 관리자인가? 노예인가? 친구인가?」

라고 질문하고 있다. 그래서 무한히 발전하는 로봇의 다양한 본질을 정의한다는 것은 어려운 일이다. 전형적인 정의는 복잡 정교한 인공자동인형이며, 단축하면 「인간의 기능을 대행하는 자동기계」라 말할 수 있다.

② 로봇의 지능과 의지, 마음

로봇연구의 중요목표는 「인간의 분신과 같은 기계를 만드는 일」과 「인간 신체일부를 인공물로 치환(의치, 의족, 의수, 장기, 혈액 등)」이다. 로봇이 인간의 신체적 제약을 극복하여 진공, 방사선, 고온, 저온 등 우주 환경에 적응 가능한 기능으로 「AI 기능」을 가진 로봇이 현재 우주개발의 주역이 되고 있다.

이와 같이 인간과 로봇의 관계는 급속히 접근하고 있으나 설계향상으로 진화하는 로봇 탄생은 완전한 설계데이터란 정보의 시뮬레이션에 의한 정보만의 세계에 있는 로봇의 지능이란? 생물과 기계와의 차이를 묻는 본질적인 의문으로 넘을 수 없는 장애는 「뇌」라는 궁극적 인공장기이다. 미래 로봇은 「의지(意志)」를 가지므로 사회전반에 미치는 영향은 인간의 존재와 정의에 대한 변화는 「인간의 본래모습, 윤리, 종교, 철학」까지 흔들리지 않을 수 없는 미래가 예측된다. Ray Kurzweil은 2045년에 뇌의 해명이 완료되어 근 미래에는 로봇과 인간과 융합될 수 있다고 주장하고 있으나 「마음」이란 주관영역으로 과학의 범위를 초월한 본질을 알 수 없는 최후 신비에 속하므로 정의하기 어려운 분야이다. 또한 「마음」은 객관적 관찰과 검증할 수 없으므로 과학의 대상이 아니고 따라서 아무리 컴퓨터가 발전해도 로봇이 인간의 마음을 가질 수는 영원히 없을 것이라는 주장도 있다.

4.3.3 우주 엘리베이터

① 자동차, 에너지와 자연환경

자동차는 탄생과 동시 안전문제로 사회적 지탄을 받은 존재이고 현재 자동차는 공간을 초월한 CO₂ 분출로 자연환경 오염의 원인이 되고 있다. CO₂에 의한 환경악화에 대응한 교토의정서의 20년간의 국제정치 실패를 4차 산업혁명의 자율주행자동차 및 신에너지 개발 등 새로운 대책이 시작되고 있다. 그러나 이미 한계를 넘은(?) 지구규모의 환경문제는 최악의 빅뱅이 예상되어 인류는 생존을 위한 피난길을 준비하고 있다.

② 우주로 가는 길

성경이야기의 「바빌론 탑」, 아쿠다가와(芥川龍之介)의 『거미줄(蜘蛛の絲)』, 미국의 『별들에 거는 다리』, 영국의 『낙원의 샘』 등 과학 작가들의 SF와 애니메이션 작가의 우주로 향한 공상이 연출되고 있다. 지구 외의 행성은 동경 또는 탈출의 목적지이다. 『우주로 가는 길』은 인류가 스스로 지금의 지구규모 환경문제에서 회복하는가 여부에 따라 「피난길」은 「관광의 길」이 될 것이다.

③ 궤도 엘리베이터

1961년 지구를 한 바퀴 돈 우주개발 시작에서 60년 된 현재 우주경험자는 600인 미만인 이유는 수송기관이 로켓이기 때문이다. 그래서 케이블을 사용하는 엘리베이터로 우주여행이 가능할까? 그러면 지구를 회전하는 궤도상에 있는 궤도 엘리베이터는 로켓보다 저렴한 비용, 안전, 확실한 여행을 보장할 수 있다고 생각된다. 우주 관광, 우주 리조트, 거대시설 정지궤도 스테이션, 궤도 캐터펄트(Catapult)에 의한 지구탈출, 타행성궤도 진입이 가능하여 우주, 소행성에서 자원을, 우주태양광 발전위성에서 에너지를 받을 수 있다.

우주 엘리베이터의 시스템 구성은 철도열차와 흡사하며, 케이블, 클라이머(climber 열차), 해상 터미널(적도상역), 정지궤도 스테이션(역), 케이블의 우주 측 끝에는 무게균형 추가 있는 「우주 열차」이다. 케이블은 지상에서 우주 정지궤도를

지나 지구반경의 15배 이상, 달 까지 거리의 4분의 1이 소요된다. 현실성의 열쇠는 케이블에 사용되는 재료이다. 가능성 있는 재료는 탄소원자로만 구성된 「카본나노튜브」이다. 우주열차의 실현시기를 10년, 30년, 50년으로 보는 사람, 불가능하다는 사람도 있다. 그러나 2050년대가 표적인 듯 느껴진다.

④ 우주 엘리베이터의 미래

세계 인구는 73억 명을 넘어 금세기 중 100억 명에 도달한다는 예측과 대기 중의 CO₂ 농도의 상승, 식량수급의 불균형, 담수의 부족과 수질오염 등 지구규모의 환경문제가 인류를 위협하고 있는 21세기의 우주는 호모 사피엔스가 아프리카를 벗어남으로 인류가 발전하듯이 인류의 최후 희망이고 무한한 개척지이다. 신 개척지는 의지를 가진 로봇을 조종하는 기술자에 의하여 우주SOC에 제일 먼저 미래 첨단도로가 건설될 것이다.



우주엘리베이터 개념도