

여시재

ISSUE REPORT

재단법인 여시재 연구 보고서

국가 R&D전략과 산업학 혁신체제

2017. 11

이명호(여시재 솔루션 디자이너, 기술경영학)

Future Consensus Institute



국가 R&D 전략과 시산학 혁신체제

이명호 (여시재 솔루션 디자이너, 기술경영학)

목 차

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1. 관성만 남고 방향 잃은 정부 R&D 정책 | 4. DARPA, 문제 정의에서 R&D가 시작된다 |
| 2. 왜 정부의 R&D 정책은 방향을 잃었는가 | 5. 문샷싱킹, 기술적 한계에 도전한다 |
| 3. NASA는 어떻게 두 마리 토끼를 잡을 수 있었나 | 6. 도시-시산학의 혁신체제를 제안한다 |

요 약¹⁾

Q. 혁신 생태계의 성장 밑거름이 되어야 하는 R&D 정책의 방향은 무엇일까요?

“경제 성장기에는 정부 R&D가 산업과 기업을 지원하는 데 중점을 두었다면, 이제 국민이라는 수요자 중심의 연구개발이 이뤄져야 할 때입니다.”

한국의 R&D 예산은 규모가 상당히 큰 편입니다. 미국에 비해서 적다는 목소리도 있는데 사실 1980년대 CDMA와 같은 R&D 성공 사례 이후 예산은 가파르게 상승해왔어요. 문제는 ‘시스템 전환의 실패’가 발생하고 있는 것이지요. 1980년대 중반 성공 사례를 기반으로 R&D 예산이 증가해오는 과정에서 R&D 시스템 또한 효율적으로 변화해왔어야 하는데 그러질 못했어요. 단순히 양적 규모를 키우면 성과가 나오는 것은 아닌데 말이죠.

기존 R&D 정책 혹은 방식이 효율적으로 작동하지 않는 요인들을 살펴보면, 여전히 산업을 지원하는 R&D에 집중하고 있는 문제를 지적할 수 있습니다. 우리나라 R&D 선정 시스템은 관료가 통제하는 방식입니다. 기획재정부가 예산을 최종 승인하기 때문에 기획재정부의 입맛이나 관료와 밀착된 특정 산업계가 있으면 비교적 수월하게 과제화될 수 있는 거죠. 이러한 상황에서 산업 지원에 집중하고 있는 R&D가 늘어나면 그에 따라 해당 R&D를 받는 기업체도 많아지게 되고, 결국 R&D만 받아서 유지되는 좀비 기업이 있다는 얘기까지 나오게 되는 겁니다.

"수요자 중심의 연구개발은 두 가지 차원을 고려해야 합니다."

우선 첫번째 수요자는 바로 ‘국민’입니다. 국민의 삶과 관련된 분야에 R&D 투자를 하고, 그 편익을 국민들에게 돌아가도록 해야한다는 것입니다. 예를 들어 미국의 경우, R&D 예산의 52%가 국방 분야에, 20%가 보건 분야에 투입됩니다. 국가



가 국민의 안전과 안보, 건강을 유지하기 위해 R&D 예산을 쓰는 것이지요. 한편 우리나라의 경우, 세월호 사건, 조류 인플루엔자 피해, 미세먼지 문제 등 사회적 필요가 커진 안전, 보건, 환경 분야의 획기적인 대책, 시스템들이 나오지 못하고 있어요.

이제 우리도 국민의 삶과 연결되는 주요한 국가 문제를 R&D를 통해 풀어나가는 방식으로 R&D의 질적 성장을 추구해야 할 것입니다. 이렇게 국가 아젠다로 목표를 설정하면, 그 성과도 명확하게 나올 수 있습니다. 그동안 특정 산업, 기술을 지원하는 접근으로 R&D 정책을 펼쳐오면서는 그 실효성이 명확하지 않았습니다. 연구 개발 결과물이 상용화 단계로 넘어가고, 그것이 기업의 실제 수익으로 이어지는 실적이 매우 낮다는 것이 그것을 방증합니다.

수요자 중심 R&D의 두번째 수요자는 기업체입니다. 현재 우리의 R&D 체계는 ‘대리인 문제’를 가지고 있습니다. 명확한 수요처가 없이, 연구자가 산업체 수요나 해외기술 동향을 조사한 후, 기술 개발에 대해 기업과 협약을 맺었다는 수준의 기획을 올리면 R&D로 선정되는 경우가 많습니다. 수주계약이 완전히 체결되지 않아도 계획만으로 R&D예산을 따올 수 있는 겁니다. 그 결과 R&D 결과물이 기업에서 제대로 활용되지 못하는 문제가 있습니다. 독일의 경우, 기업이 확실한 수요처로 들어오는 구조로 운영되고 있습니다. 프라운호프 연구소는 각각 정부예산과 기업체 수주 절반씩으로 운영이 됩니다. 기본적으로 기업체 수주가 되지 않으면 정부가 매칭펀드를 해주지 않는 것이지요. 따라서 기업의 수요가 있음에도 그 기업의 R&D 역량이 부족하기 때문에 그 부분을 정부가 보조해주는 거예요. 이는 혁신 생태계라는 측면에서 긍정적이라고 볼 수 있죠. 그러나 한국은 이런 작동 방식이 없습니다. 연구 이후 실질적으로 제품화하기 위해서는 조율, 튜닝 등과 같은 복잡하고 다양한 과정이 필요한데 이러한 부분을 연구자 없이 기업이 혼자 감당하기는 어렵습니다. 그런데 정확한 수요조사 없이 개발부터 하고 나서 수요자를 찾으니까 기업은 기술 연구만 되어있고 상용화 방안이 없는 일종의 반쪽짜리 R&D결과를 받지 않으려 하는 것이죠. 결국 상용화를 위한 추가연구가 이뤄져야 하는 구조예요.

따라서 수요자 중심의 R&D 체계가 필요하다고 봅니다. 독일 사례와 같이 기업 수주를 조건화하거나 정부예산 지원을 점진적으로 줄여가면서요. 또한, 앞서 말한 안전, 국방, 보건과 같이 수요자의 욕구와 과제가 명확한 분야의 정부 R&D를 해 나갈 필요가 있습니다.

“전문성과 역량을 가진 R&D 에이전시 기관이 필요합니다.”

정부는 R&D 추진에 있어 처음부터 국가적으로 풀어야 할 과제가 무엇인지에 대한 고민, 즉 문제의식을 갖고 있어야 합니다. 문제의식이 없으면 다른 나라에서 무언가를 개발한다고 하면 그 때 되어서야 시작할 수밖에 없고 개발을 하고 나서도



해당 기술을 어디에 사용할 것인지 모르게 되거든요.

기존 흐름에 따라 기술 개발부터 해놓고 이를 낭비하는 것이 아니라, 국민의 복지
와 안전이라는 문제의식을 기반으로 새로 필요한 기술을 찾아낼 수 있는 능력을
갖춰야 경쟁력 있는 혁신 R&D를 할 수 있습니다. 무엇이 필요한지에 대한 문제의
식, 이를 어떤 기술로 어떻게 해결할 것인지에 대한 아이디어 등을 축적하고 상호
연결시키는 역할을 에이전시 기관이 주도적으로 할 필요가 있는 것이고요.

현재 정부가 R&D 자금을 지원하는 데 연구자들의 자율성이 제대로 확보되지 않
는다는 지적이 있습니다. R&D 자금이 보조금이라는 인식이 강하기 때문에 정부는
가급적 많은 곳에 쪼개서 나누어주려고 합니다. 그러다 보니 과제를 제대로 평가
해서 혁신적인 아이디어가 있는 과제에 어느 정도 규모 있는 지원 혹은 투자가 이
루어지는 것이 아니라, 보여주기에 좋은 과제나 누구도 이익을 제기하지 않는 평
범한 과제를 선정하거나 지나치게 예산이 세분화되어 필요한 곳에 충분히 지원되
지 못하는 경향이 있어요.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 R&D 관련 전문 에이전시 기관의 역할이 중요
하다고 봅니다. 과학기술과 산업계의 전문가들로 구성된 미국의 DARPA(방위고등
연구계획국)와 같은 에이전시 기관은 R&D 수요 또는 요구사항을 찾아내고 이를
해결할 역량이 있는 곳은 어디인지 알아보면서, 확신을 갖고 해당 R&D 추진 여부
를 판단합니다. 또한 R&D 진행 상황을 보고 예산 규모를 유연하게 조율해나갈 수
있도록 해야 하며, 명확히 사명 의식이 있는 연구자나 기업체에게 과감히 많은 예
산을 지원해줄 수도 있어야 해요. 공무원은 에이전시 기관이 그러한 일을 할 수
있도록 큰 틀에서만 관리하고 세부적인 기획, 집행은 맡겨두면 됩니다. 이렇게 하
면, R&D 전문가들은 더 이상 기획재정부를 포함한 공무원들의 눈치를 보지 않아도
되고 보다 적실성 높은 R&D를 추진할 수 있게 됩니다.

지금까지 우리 과학기술계가 해 온 연구는 성공하지 않으면 이상한 평범한 과제
였습니다. 이미 외국에서 하는 것을 따라하다 보니 실패할 가능성이 거의 없는 과
제들을 해왔기에 성실실패라는 것이 없었던 것이죠. 보여주기에 좋은, 안정적인 과
제에 R&D 투자를 하기 보다는 획기적인 과제를 선정해야 하고, 과제를 평가하는
방식 또한 달라질 필요가 있습니다. 기획재정부가 최종 승인을 하는 구조가 아닌,
전문성을 갖춘 R&D 에이전시 기관이 주도적으로 역할 해야 혁신적인 R&D 생태
계가 조성될 수 있습니다.

1) “혁신 생태계의 성장 밑거름이 되어야 하는 R&D 정책의 방향은 무엇일까요?”라는 주제의 인터뷰를
정리한 글입니다.



1. 관성만 남고 방향을 잃은 정부 R&D 정책

지난 정부는 2016년 8월에 과학기술전략회의를 열고 대한민국의 미래를 책임질 9대 국가전략 프로젝트를 선정해 발표했다. 이름은 조금 바뀌었지만 2014년 6월의 13대 미래성장동력 발표, 2015년 3월의 19대 미래성장동력 발표에 이어 현 정부에서만 3번째다. 미래라는 기준이야 정하기 나름이지만, 보통 5년에서 20년을 내다보고 장기 전략을 짚다고 할 때, 매해 바뀌는 전략산업은 미래 전략이 아닌 트렌드 전략이라는 생각이 든다. 스마트자동차는 자율주행차로 이름이 바뀌고, 알파고의 충격은 새롭게 인공지능 과제를 등장시켰다. 실패한 사업으로 언급이 기피되던 u-시티(유비쿼터스 도시) 사업은 스마트시티로 부활했다. 포켓몬 고의 영향인지는 모르겠으나, 기존의 유사 과제가 통합되어 가상증강현실이라는 이름으로 선정되었다.

이번 정부는 “창조경제”라는 키워드를 “4차 산업혁명”이라는 키워드로 바꾸었지만, 근본적인 혁신체계에 대한 전략적 입장이 여전히 불투명하다. 정부가 이렇게 계속해서 신성장동력이나 국가전략이나 하면서 연구개발(R&D, R&D) 전략을 내놓고 있지만, 정부 정책의 효과에 대한 비판은 커지고 있다. 정부는 산업경쟁력 강화라는 명분으로 R&D 투자를 지속적으로 늘려왔다. 한 해 투자가 19조원(정부 예산의 5%)으로 국내 총생산 대비 세계 1위이고 연구 성공률은 96%라는데, 사업화율은 20%에 불과하고 국가 R&D 경쟁력은 오히려 떨어지고 있다. 무엇이 문제인가?

1970년대 농촌진흥청의 통일벼 녹색혁명과 1980년대 전화시대를 연 전자통신연구원의 전전자식 교환기(TDX), 1990년대 휴대폰 시대를 연 코드분할다중접속(CDMA) 개발 등은 정부 R&D 정책의 성공사례다. 이밖에 많은 정부 출연연구소들이 개발도상국 시대 민간의 부족한 R&D 역량을 지원하고, 모방형 R&D로 수입대체 기술을 개발해 민간에 이전해 주면서 경제발전에 기여하였다. 그러나 2000년대 이후부터 획기적인 성과가 나오지 않고 있다. 이미 민간의 R&D 역량이 높아진 상태에서 정부 주도의 R&D 수요와 수입대체 기술에 대한 수요가 감소하였는데, 정부는 여전히 산업육성 중심의 R&D 체계를 유지하고 있다.

더 근본적으로는 정부 R&D의 시장과 고객, 목적이 시대에 맞는지 재검토가 필요한데, 관성에서 벗어나지 못하고 있다. 우리나라 R&D 예산을 보면 미래창조과학부 34.3%, 산업통상자원부 17.8%, 방위사업청 13.4% 등으로 분산되어 있고, 산업지원형 예산이 50%를 넘는다. 그런데 미국은 연방 R&D 예산의 52.7%는 국방, 22.5%는 보건 의료, 8.1%는 항공우주에 집중 투자하는 등 국가의 임무 중심으로 운영하고 있다. 그리고 이렇게 정부의 명확한 목적 수행을 위해 개발된 기술을 민간에 이전해 산업을 발전시키고 있다. 아이폰에 탑재된 반도체, 위성항법장치(GPS), 터치스크린, 시리(siri) 등 대부분의 주요 기술들만 보더라도 국방부 등 정부 프로젝트의 결과물이다.

이제는 남을 따라 하는 것이 아니라 우리의 문제를 해결하는 체계로 전환해야 한다. 지금까지 정부의 정책은 인공지능이 이슈가 되면 기업과 정부출연연구소의 컨소



시범을 구성하고 시범사업을 위한 R&D를 지원해 인공지능 기술을 확보하는 방식이었다. 그러나 기술을 확보했는데 쓸 곳이 없다는 문제가 계속 반복되고 있다. 인공지능 기술 개발 자체가 아니라 정부의 어떤 임무를 수행하는 데 인공지능 기술이 필요한 식의 목적 수립이어야 한다. 선후 관계를 뒤집어서는 영원히 추격자, 모방자를 벗어날 수 없다. 국민의 안전을 지키는 변변한 기술 하나 없었던 세월호의 교훈, 질병 통제 시스템이 없었던 메르스의 교훈에서 시작해야 한다. 최고의 기술로 국민을 보호(국방, 안전, 보건의료 등)하는 국가가 되기 위한 R&D라는 임무 중심으로 어떻게 정부 체계를 개편할 것인가에 대한 논의가 시작돼야 한다.

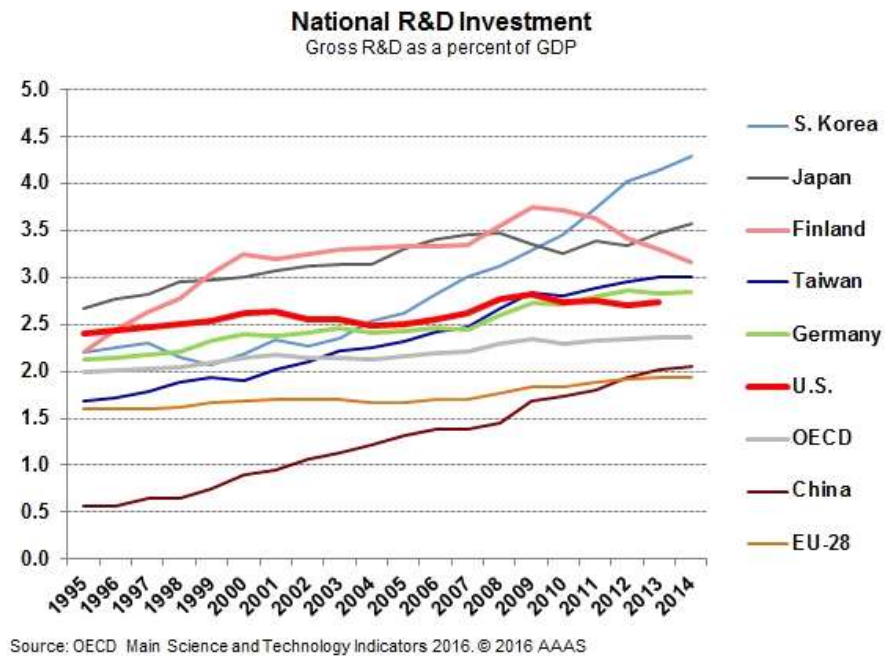
한편 국가가 할 일은 이미 진행한 R&D 과제가 실패하거나 상용화되지 않고 효과가 부진했을 때 충분한 리뷰의 시간을 가지는 것이다. 채 바퀴 돌 듯 R&D 투자에 급급할 것이 아니라 R&D의 사회적 효용에 대한 실질적인 담론이 계속되어야 한다. 그래야 R&D를 지원할 영역인지 아닌지 우리만의 기준이 수립될 수 있고 실패한 R&D 기술에 대한 충분한 리뷰(1년차, 2년차, 3년차 등 연속적인 리뷰와 리뷰 DB의 구축이 필요)가 있어야 실패를 성공의 어머니로 쓸 수도 있고, 실패라고 여겼던 기술을 다른 곳에 활용할 수 있다. R&D에서 중요한 것은 국가가 투자할 대상인가에 대한 평가 모델과 R&D 이후 진정한 리뷰의 축적이라고 생각한다.



2. 왜 정부의 R&D 정책은 방향을 잃었는가

우리나라 과학기술 연구개발(R&D) 정책이 방향을 잃고 혁신을 위한 골든타임을 놓치고 있는게 아닌가 하는 우려가 높아가고 있다. 정부에서는 과학기술 분야의 R&D 투자를 늘리며, 성과가 나타나기를 기다리고 있지만, R&D 투자대비 성과는 OECD 국가 중에서 바닥권을 벗어나지 못하고 있다. 우리나라는 정부만은 물론 민간을 포함한 R&D 투자가 GDP 대비 세계 1위이며, 작년에는 정부 예산의 5.03%인 19조가 R&D에 투자되었다. GDP 대비 미국의 두 배에 달한다. 그러나 R&D 대비 기술이전 수입(사업화 성과), 연구 생산성(기술료수입/연구비지출), 기술무역수지 적자(생산에 활용되는 국내 기술 저조) 등 성과는 초라하다. 많은 R&D 투자가 국내 산업 경쟁력을 높이는 효과가 미약하다는 것을 반증하고 있다. 최근 심각해지고 있는 제조산업 경쟁력 약화의 한 원인을 보여준다고 할 것이다. 일부에서는 총액기준으로 아직 적다고 하지만 이미 세계 6위에 달했고, 경제 규모 세계 14위에 비해서도 적지 않은 규모라고 할 수 있다.

<그림 1> OECD 국가별 R&D 투자 현황 추세



출처: OECD Main Science and Technology Indicators 2016

가. 보여주기식 연구관리: 파급력이 적은 기술만 양산

물론 눈에 보이는 성과가 없었던 것은 아니다. 표준특허수가 5위로 올라섰고, 과학기술분야의 SCI 논문수도 12위에 도달하는 성과를 달성하였다. 기술이전율도 증가하여 미국과 비슷한 수준에 도달하였다. 그런데 이면을 살펴보면 R&D 비용대비 기술개



발 건수는 미국의 5배에 달하지만, 기술이전 건당 기술료는 미국의 1/10 수준에 불과한 아이러니를 보여주고 있다. 연구성공율 96%란 파급력, 실효성이 적은 고만고만한 기술의 양산을 의미했다. 작년에 이슈가 되었던 서울대 공대 백서에서 “그동안 우리는 번트만 쳤다”는 고백의 민낯은 돈 안 되는, 남들도 다 성공하는 연구만 했다는 것이다.

그동안 정부가 손 놓고 있는 동안에 벌어진 일이라면 다행이라고 할 것이다. 그러나 10여년 전부터 정부는 근본적인 R&D 대책이라는 것을 솔하게 내놓았다. 정부가 바뀔 때마다 과학기술 출연연 지배구조 개편을 추진하였고, 국가연구개발사업 관리규정을 최근 5년간 7차례 개정하였다. 기술이전, 사업화 지원을 한다고 TLO, RTTC, 산학연기술지주, 출연연기술지주, 미래기술지주 등 부처별로 기술이전 조직을 경쟁적으로 만들었다. 산업현장 수요에 맞는 고부가가치의 유망기술 창출을 위한 관리체계를 만든다며 정부 R&D 컨트롤타워 기능 강화, 중소중견기업 중심의 R&D 지원책을 내놓았다. 추격(모방)형 R&D에서 실패용인의 모험적 도전을 장려하는 선도(창조)형 R&D로 전환하겠다는 등 숨가쁘게 대책을 내놓았다. 그러나 연구관리를 정교하게 하고, 기술이전, 사업화를 중시하겠다는 정책의 재탕에서 벗어나지 못하고 있다.

이에 대해 과학기술계의 연구자들은 정책의 일관성과 장기과제 중심의 R&D, 정부의 간접 배제와 연구자의 자율성 보장이 근본적인 해결책이라고 주장하고 있다. 창의적인 업무, 지적 업무의 경우 간접을 배제하고 자율성을 높이면 더 좋은 성과를 낸다는 것은 많은 연구에서 입증된 것이기 때문에 관리방식의 전환은 시급하다고 할 것이다.

나. 정부 R&D 시스템의 패러다임 전환 필요

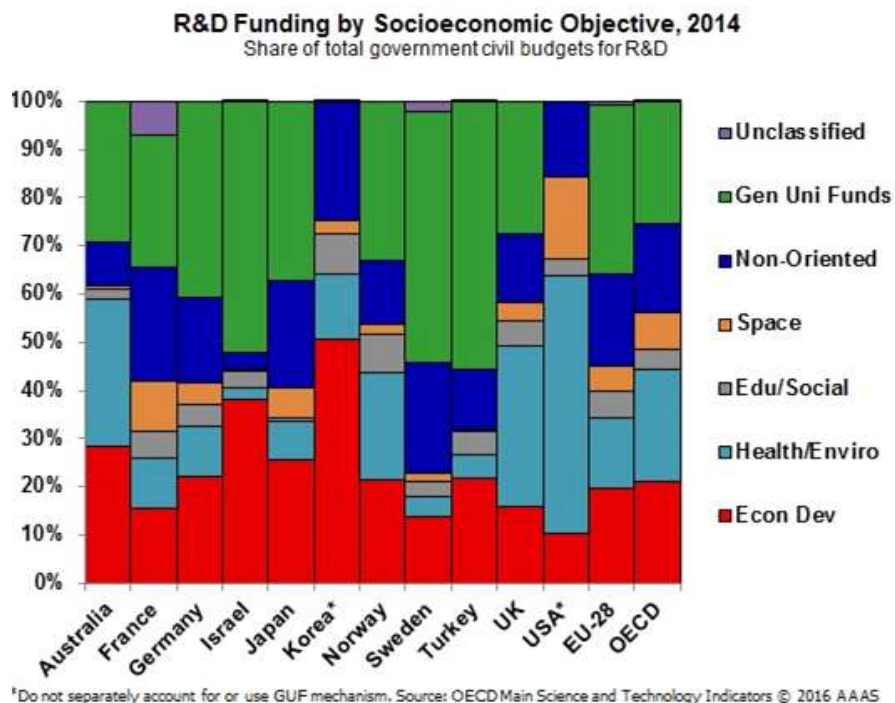
그러나 정부 R&D의 문제가 관리방식의 문제인가에 대하여 필자는 근본적인 의문을 제기하고자 한다. 과학기술이 획기적으로 우리나라 발전에 기여한 성과는 1970년대 농촌진흥청의 통일벼 녹색혁명과 1980년대 전화시대를 연 ETRI의 TDX(전전자식 교환기), 1990년대 휴대폰 시대를 연 CDMA 개발이라고 본다. 이외에 많은 정부 출연연들이 개발도상국 시대 민간의 부족한 R&D 역량을 지원하고, 모방형 R&D로 수입대체 기술을 개발하여 민간에 이전해 주면서 경제발전에 기여하였다는 것은 자랑스런 성과였다. 그러나 2000년대 이후부터 획기적인 정부 R&D 성과가 나오지 않고 있다. 이미 대기업 등 민간의 R&D 역량이 높아진 상태에서 정부 주도의 R&D 수요, 수입대체 기술에 대한 수요가 감소하였는데, 정부가 여전히 공급 중심의 R&D 체계를 유지하고 있는데 문제가 있다. 수요자, 시장 중심으로 R&D 체계가 전환돼야 하는데, 정부 출연연 중심의 R&D 후 산업계에 이전하는 방식에서 탈피하지 못하고 있다. 또한 민간에게 소비자가 원하는 기술의 방향에 대해 생각하는 기회를 제공해야 하는데 정부가 생각한 방향의 R&D를 제시하니 민간의 경쟁력이 떨어지고 있다. 즉 현재 정부



R&D의 문제는 패러다임이 변했는데 이를 따라가지 못하는 체계 전환의 실패라고 할 수 있다.

보다 근본적으로는 정부 R&D의 시장, 고객이 누구인지, 정부 R&D의 임무, 미션이 시대에 맞는 것인지에 대한 재검토가 필요한데, 관성에서 벗어나지 못하고 있는 것이 문제이다. 우리나라 과학기술 R&D 예산을 보면 미래창조과학부 34.3%, 산업통상자원부 17.8%, 방위사업청 13.4%, 교육부 9.1% 등으로 예산이 분산되어 있고, 경제지원형 예산이 50%를 넘고 있다. 그런데 미국은 연방 R&D 예산의 52.7%는 국방, 22.5%는 보건의료(이중 미국립보건원의 예산이 90% 수준), 8.1%는 항공우주(주로 NASA)에 집중 투자하는 국가의 미션 중심으로 R&D 체계를 운영하고 있다. 일본, 유럽은 연구개발주무부처에서 전체 R&D의 2/3 이상을 담당하고, 기초연구나 원천기술연구에 집중하고 있다. 즉, 선진국 모두 국민의 안전과 건강, 보건의라는 국가의 미션 달성을 위한 R&D나 이에 기초가 되는 연구에 집중하고 있지, 경제지원의 성격이 적다는 것이다.

<그림 2> 사회경제적 목적에 따른 R&D 투자 현황



출처: OECD Main Science and Technology Indicators 2016

현재 경제지원형 정부 R&D는 자금 지원자(정부)와 연구 수행자(정부 출연연), 수혜자(민간 기업)의 이해가 불일치하는 대리인의 문제와 도덕적 해이가 발생할 수 있는 문제를 가지고 있다. 결국 이를 해소하기 위하여 관리가 복잡해지고, 연구자는 감시의 대상이 되고, 기업은 연구비를 보조금(심하게 말하는 눈먼 돈) 정도로 생각하는 악순환이 계속되고 있다. 이제는 민간의 R&D 역량이 성장한 만큼, 정부의 R&D는 국가 본연의 목적인 국민의 안전과 건강을 지키는데 필요한 기술을 개발하는 방향으로 바

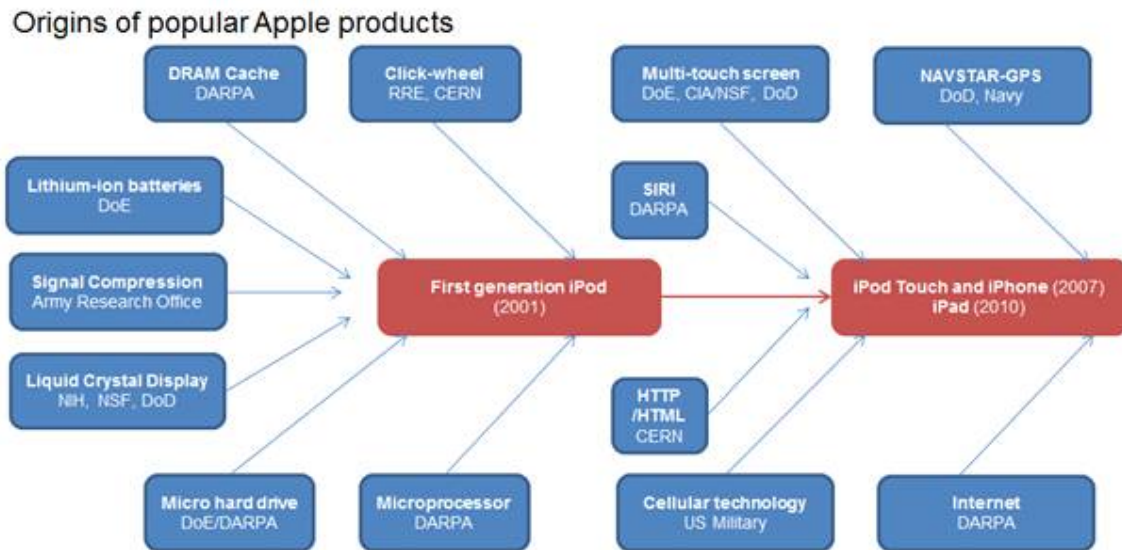


뀌어야 한다. 그리고 이렇게 정부의 명확한 목적 수행을 위해 개발된 기술이 민간에서도 사용되고 산업경제를 발전시킨다는 것이 역사적으로 입증되고 있다.

다. 정부 R&D 성과의 Spillover effect (파급효과) 유도해야

최근의 대표적인 사례가 애플의 시리(Siri)이다. 시리는 미국 국방부 산하의 DARPA(방위고등 연구기획국)가 작전수행 중인 군인을 지원하기 위한 목적으로 2003년부터 2008년까지 CALO (Cognitive Assistant that Learns and Organizes, 학습하고 조직할 수 있는 인식비서) 프로젝트로 개발된 인공지능 기술이다. 연구비 2억달러가 지원된 이 프로젝트는 스탠퍼드대 SRI인터내셔널이 주도하였고, 25개 대학 및 연구기관의 연구원 300여명이 참여하였다. 기술 개발이 완료되자 SRI인터내셔널은 2007년 12월 CALO 중에서 '음성개인비서 연구부문'을 독립시켜 시리라는 벤처기업을 설립한다. 시리는 2010년 4월 아이폰용 앱을 개발해 애플 앱스토어에 등록하자, 애플은 4주 후 시리를 2억 달러에 인수하고 아이폰의 기본기능으로 독점 제공하고 있다. 이것이 국방 연구로 시작해 민간에서 획기적인 기술로 인정받은 시리의 탄생 스토리이다.

<그림 1> Apple iPhone에 사용된 공공 R&D 기술²⁾



출처: Mariana Mazzucato

기술은 특정 목적을 위해 개발되었더라도 다른 분야에도 적용 가능한 파급효과 (Spillover effect)가 있다. 이와 같이 실리콘밸리의 많은 벤처기업들은 국방부의 연구

2) Mariana Mazzucato, The Entrepreneurial State: Debunking the Public vs. Private Sector Myths. London: Anthem



과제를 수행하면서 기술력을 갖추고 글로벌 기업으로 성장하는 모델을 보여주고 있다. 미국 정부로서는 국방상의 경쟁력을 높이고 여기서 개발된 기술이 민간기업의 경쟁력을 높이는 일석이조의 효과를 거두고 있다. 이는 정부 자금으로 개발된 기술, 발명의 소유권을 실제 개발기관(대학, 연구소, 기업 등)이 갖고, 정부는 무상의 통상실시권만을 갖는 베이 돌법(Bayh Dole Act)을 기본으로 정부 R&D와 이의 상업적 활용이라는 선순환 생태계가 구축되어 있기 때문이다. 1980년에 제정된 이법은 개발자가 원칙적으로 소유권을 갖고 활용을 보장함으로써 정부의 막대한 자금이 투입된 R&D 성공에 대한 개발자와 정부의 이해를 일치시키고, 혁신의 성과가 상업적으로 활용되는 것을 촉진하는데 결정적인 기여를 하였다. 물론 우리나라도 부분적으로 베이 돌법의 조항을 도입하였으나, 민간 소유를 보장하는 일관된 원칙이 부재하고, 국방 R&D의 경우(R&D 예산의 13.4%)는 영리기관(기업)의 소유를 제한하고 있다.

라. 국가 미션(국민의 안전과 보건 증진) 중심의 R&D 체계 수립 필요

정부의 어정쩡한 경제지원형 R&D에서 국가 미션 수행 중심의 R&D 체계로 전환해야 한다. 국가생존전략 (National Survival Strategy)와 과학기술이 가장 긴밀하게 연결되어야만 올바른 과학기술정책이 수립될 수 있다. 국가적 미션은 국가가 공공의 영역에서 풀어야 할 문제 정의에서부터 시작된다. 국가적으로 해결해야 할 문제와 추구할 목표에 맞게 과학기술 R&D 전략을 수립해야 한다. 최고의 첨단 기술로 무장된 국가, 효율성이 가장 높은 국가, 민간 기업이 보고 배우는 국가체계를 만드는데 과학기술을 활용하는 것이 정부 R&D의 기본이 되어야 한다. 그리고 이 목적을 위한 R&D에 참여한 민간이 R&D 과정 중에 나온 기술, 발명을 소유하도록 하여, 자연스럽게 R&D 성과(기술)이 민간에서 활용되는 체계로 전환해야 한다. 이는 자금 지원자(정부-국민의 세금)와 수혜자(국민)가 일치하고, 연구 수행자도 기술을 소유하는 이해가 일치하기 때문에 자연스럽게 R&D 생태계를 건강하게 발전시킬 수 있다. 신생기업이나 벤처기업 지원형 연구의 경우 연구기관의 R&D 기획을 중지하고 산업계의 의뢰에 의한 수탁 연구로 전환해야 한다. 독일 프라운호퍼연구소의 경우도 산업연구 수탁비율에 비례하여 정부예산 지원 방식으로 전환함으로써 유럽 최대 연구기관으로 성장했던 사례를 본받아야 한다. 그리고 기초연구는 대학을 중심으로 소규모로 장기간 지원하는 방식으로 전환해야 한다. 이 과정을 통하여 한국에서 필요한 지식이 창출(Knowledge Creation)되는 지식생태계가 강건해질 것이다.

이제 정부 R&D의 목적은 기술 확보가 아닌 국가의 미션 수행을 위한 것임을 명확히 할 필요가 있다. 지금까지 우리 정부의 R&D 정책은 수술로봇이 이슈가 되면, 원격의료산업 발전을 위한 수술로봇 개발을 기획하고 병원-출연연-민간기업의 컨소시엄을 구성하여 시범사업을 위한 R&D를 지원하여 수술로봇 기술 확보하는 방식이었다. 그러나 이런 방식은 불명확한 성과 달성, R&D 자금 나눠먹기, 도적적 해이 등을 극복하기 어렵다. 반면에 미션 수행형 R&D란 정부가 국가를 위해 헌신하다 부상당한



야전병원 입원 군인을 위한 원격 수술로봇 개발하여, 민간보다 앞선 최고의 서비스를 제공하는 군병원을 만드는 방식이다.

이렇게 미션에 기반한 R&D는 성과평가가 명확하고, 국가에 대한 국민의 존경과 헌신을 이끌어 낼 수 있다. 이것이 국민의 안전을 지키는 변변한 기술하나 없었던 세월호의 교훈이고, 미국이 왜 강국인지를 읽을 수 있는 대목이다. 그리고 선도형 R&D란 이와 같이 기술로 어떤 문제를 해결할 것인가를 기획하는 것에서 시작된다는 것을 명심해야 한다. 그리고 실패에 대한 지원, 중복 경쟁, 자율적 관리 등이 보장돼야 한다.

최고의 기술로 국민을 보호(국방, 안전, 보건의료 등)하는 국가가 되기 위한 R&D라는 미션 중심으로 어떻게 정부 R&D 체계를 개편할 것인가에 대한 논의가 시작돼야 한다. 그러한 틀에서 정부의 과학기술에 대한 역할과 행정체제도 이에 맞게 가장 최적의 형태로 개편되어야 할 것이다.



3. NASA는 어떻게 두 마리 토끼를 잡을 수 있었나

가. 미션 수행형 조직의 R&D 성과와 시사점

역사상 NASA (National Aeronautics and Space Administration, 미국항공우주국) 만큼 인류에게 꿈을 주고 인류의 위대함을 증명한 조직은 없을 것이다. 최초로 인간이 지구 밖의 우주라는 공간에 발을 내디딘 달 착륙 이후 NASA는 전세계인들에게, 특히 청소년들에게 미지의 세계에 도전하라는 메시지를 던져줄 뿐만 아니라, 과학기술계로 젊은 인재들을 끌어들이는 역할을 해오고 있다. 또한 NASA의 위대한 업적은 NASA 만큼 우리 일상에서 쓰이는 많은 혁신적인 기술과 제품을 개발한 조직도 찾기 어렵다는 것이다. 이와 같이 인류 평화의 상징과 같은 NASA는 사실 미국과 소련(구 러시아) 간의 치열한 냉전의 산물이었다.

1957년 10월 소련이 최초로 인공위성 스푸트니크 (Sputnik, 러시아어로 '꼬마 여행 친구'라는 뜻) 1호를 쏘아 올리자, 미국은 이 발사체(로켓)가 핵탄두를 탑재한 대륙간 탄도미사일로 미국 본토를 공격할 수 있다는 충격에 대대적인 대책을 모색한다. 이때 나온 대응책 중의 핵심이 우주개발이라는 명분과 기존의 국방연구 역량을 넘어 과학기술계의 역량 결집을 위해 군이 아닌 민간주도로 1958년 10월에 설립된 NASA 였다. 물론 1차 세계대전 당시인 1914년에 정부, 산업계, 학계의 항공 및 무기 관련 프로젝트를 총괄하기 위해 설립된 NASA의 전신이라고 할 수 있는 NACA (National Advisory Committee for Aeronautics, 국가항공자문위원회)가 있었으나, 자문위원회의 성격을 넘지 못하고 있었다. 결국 미국 정부는 미증유의 사태에 직면하여 NACA를 중심으로 여러 개의 로켓개발 기관, 육군 탄도미사일국 등 분산된 조직과 예산을 하나로 합치는 결단을 한다.

나. NASA, 대담한 미션으로 우주개발 역량 결집에 성공

곧이어 소련이 1961년 우주인(유리 가가린)을 지구 궤도에 보내자 NASA는 소련을 넘어서는 우주역량을 개발하기 위하여 1960년대 안에 우주인을 달에 보낸다는 미션을 공식적인 목표로 내걸었다. 1961년 5월 당시 케네디 대통령은 의회에서 "미국은 60년대가 끝나기 전에 인간을 달에 보내 무사 귀환시켜야 합니다. 다른 어떠한 우주 계획도 인류에게 이보다 강렬한 인상을 심어줄 수 없다고 확신합니다. 이는 또한 장기적인 우주 탐사 계획에 중요한 전환점이 될 것이며, 이를 위해 온갖 어려움과 막대한 비용을 감수할 것입니다."라는 유명한 연설을 한다. 이와 같이 NASA의 미션은 공식적으로는 우주개발이지만, 진짜 목적은 당시 미국의 생존을 위협할 수 있는 위기를 극복하기 위해 소련의 군사력과 과학기술력을 넘어서는 역량을 갖추는 것이었다.

국가의 전폭적인 지원 하에 NASA는 1969년 7월 최초로 아폴로 11호 우주인을 달



에 착륙시키는 미션(아폴로 계획)을 완수한다. 당시 미국 정부가 NASA에 투입한 예산이 최대였을 때(1966년) 연방정부 예산의 4.41%, GDP의 0.75%를 차지(현재는 예산 비중이 1/10 정도로 감소)하였으며, 최대 인원 또한 41만명(내부직원 4만명, 외부직원 37만명)에 달했다. 전체 아폴로 계획에 투입된 예산은 총 250억 달러에 달했으며, 아폴로 계획은 실패한 우주선 2개(아폴로 1호, 13호), 사망자 3명(아폴로 1호)에 불과한 대성공을 달성하며 1972년 17회로 조기 종료(원래는 20호까지 계획)된다. 이후 아폴로 계획은 스카이랩 우주정거장 계획으로 전환된다.

이와 같이 미국이 먼저 달에 인류를 보낸다는 미션을 달성하고 우주기술(로켓 등 제반 미사일 기술)에서 소련을 압도하게 되면서 NASA의 목표는 군사적 성격에서 순수 민간 우주과학 연구(화성 등 심우주탐사, 우주망원경 등) 중심으로 변하고, 예산과 조직 축소의 길을 걷게 된다. 이는 소련의 유인 달탐사 계획 포기과 우주정거장 계획으로의 전환, 이후 소련의 붕괴로 NASA의 임무가 국가의 절박한 목표에서 멀어졌기 때문이기도 하였다. 그러나 NASA는 여전히 우주개발 경쟁력에서 부동의 세계 1위를 유지하고 있으며, 2012년 예산은 127억 달러(국민 1인당 135.9 달러 부담)로 GDP 대비 0.283%, 정부 R&D 대비 29.4%를 차지하고 있다. 인력은 NASA 소속(본부와 11개 센터)이 18,170명(2012년), 협력 기관 참여 인력이 242,724명(2011년)으로, 대학과 산업계를 포함한 국제적인 협력을 강화하고 있다. 최근에는 NASA를 중심으로 한 정부 주도의 우주개발이 줄어들면서 SpaceX(Tesla), Boeing, Blue Origin (Amazon), Virgin Galactic 등 민간 기업에서 우주화물선, 우주여행선 개발 경쟁이 시작되는 등 우주개발이 민관 경쟁 및 협력 체제로 바뀌고 있다.

다. NASA의 기술이전: 검증된 첨단 기술로 민간 시장을 개척

우주개발이라는 표면적 목적 뒤에 미사일 등 군사력 강화라는 내심의 목적으로 출발하였지만 NASA가 미친 사회경제적 효과는 지대하였다. NASA에 따르면 전신인 NACA부터 100년 동안(1915~2015) 연간 예산은 185억 달러에 달했지만, 경기부양효과는 1,230억~2,460억 달러로 추정하였다. NASA에 1달러씩 투자할 때마다 7~14달러의 경기부양효과가 발생한다는 것이다. 이는 주로 NASA 예산의 45%가 투입되는 R&D와 제품화로 개발된 기술의 spin-off(기술이전)에 따른 것이다. 연간 민간에 이전된 NASA의 주요 50개 기술을 기반으로 1,600 여건의 새로운 제품이 개발되었으며(2012년 기준), 이전된 기술당 연간 100만 달러의 매출이 창출되는 것으로 나타났다. 또한 소프트웨어 사용계약, 특허(지적재산권) 라이선스, 산업계 기술이전 계약 등 매해 약 2,000건의 기술이전이 이루어지고 있다. 우리 생활에서 많이 쓰이는 정수필터, 무선 청소기, 메모리폼, 에어쿠션 운동화, 핸드폰용 카메라, 공기정화기, 귀 체온계, 인공심장, 라식수술, 투명 세라믹, 냉동 건조식품 등 많은 제품이 NASA의 기술에서 나온 것이다.



NASA에서 개발된 기술이 이렇게 민간분야에서 큰 파급효과를 낼 수 있었던 것은 군이 아닌 민간주도로 조직을 구성하였다는 것과 동시에, 출범 4년 후인 1962년에 기술활용계획(Technology Utilization Plan: TUP)을 수립하고, 다양한 방식으로 기술의 상업적 활용을 지원하였기 때문이었다. NASA는 기술 확산을 위하여 주로 4가지 방법을 사용하였다. 첫째, NASA가 개발한 기술, 관련 특허를 상업용으로 판매한다. 둘째, NASA가 기존 기술을 발전시켜 산업 성장을 돕는다. 셋째, NASA가 기업과 계약을 맺고 필요한 기술을 공동 개발한다. 넷째, NASA 연구원들이 민간 전문가들과 상업용 기술을 개발한다.

라. 매트릭스 조직으로 R&D와 엔지니어링을 결합한 조직 운영에 성공

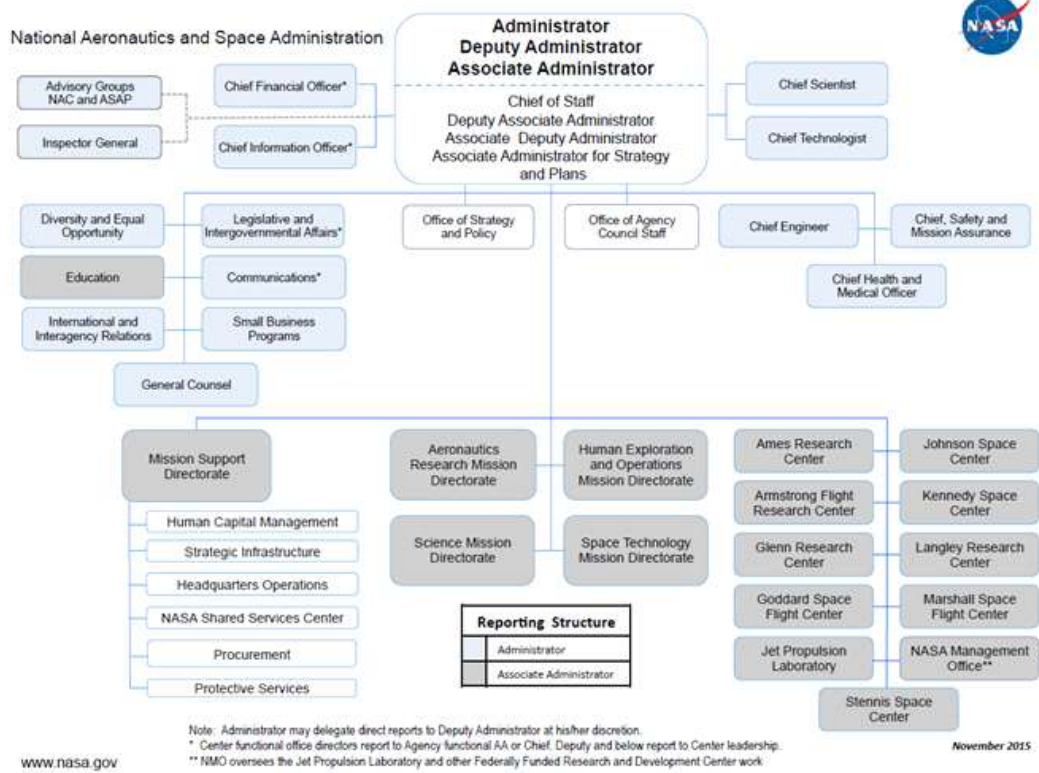
한편 방대한 조직과 예산을 가진 NASA가 어떻게 관료주의에 빠지지 않고, R&D와 엔지니어링 기능을 통합한 효율적인 조직이 될 수 있었을까? 이것은 당시 이론으로만 존재하였던 매트릭스(Matrix) 조직을 NASA가 처음으로 구현해 낸데 있었다. NASA는 설립 초기부터 기존에 독립적으로 운영되던 각종 연구소(센터) 등의 전문 조직을 묶어서 동시다발적으로 진행되는 여러 프로젝트들을 성공적으로 수행해야 하는 문제를 안고 있었다.

결국 NASA는 기획, 프로젝트 관리, 행정을 담당하는 본부와 전문 기능의 센터로 구성된 매트릭스 조직(프로젝트 조직과 기능 조직을 절충한 조직 형태)으로 운영하는 방안을 찾았다. 우주선 발사가 성공하기 위해서는 비행 추진체, 연료, 재료공학, 비행 시뮬레이션, 로봇 공학 등 다양한 분야 전문가들의 참여와 협업이 필요하다. 그래서 이들 전문가들을 분야별로 묶어 다양한 센터(NASA에서는 Centers of Excellence로 부름)를 설립하고, 이 센터들의 전문가들이 여러 프로젝트(연평균 80여개의 프로젝트를 수행)에 참여하는 조직운영 방식을 도입한 것이다. 이와 같은 매트릭스 조직은 연구소(Center)의 전문성을 유지하면서(지식과 경험의 축적), 임무 수행의 효과성(시너지 효과)을 높이는 성과를 보여주고 있다.

NASA가 가진 또 하나의 특징은 R&D 중심의 연구소 보다는 프로젝트 구현 중심의 엔지니어링 조직 같이 운영되고 있다는 것이다. NASA는 미션 달성을 위해 PDCA(Plan Do Check Action) 사이클(시스템 엔지니어링)로 업무를 수행하고 있다. 즉, 수요(임무, 목적) → 기획(Top-down) → 설계/제작 → 시험/발사 → 활용/기술이전으로 업무를 통합하여, 프로젝트 관리에 뛰어난 성과를 보여주고 있다. 또한 NASA가 엔지니어링을 중시한다는 것은 구성원의 대부분이 이공계 학사, 석사 출신들이고 기술자가 많다는 것에서도 드러난다.

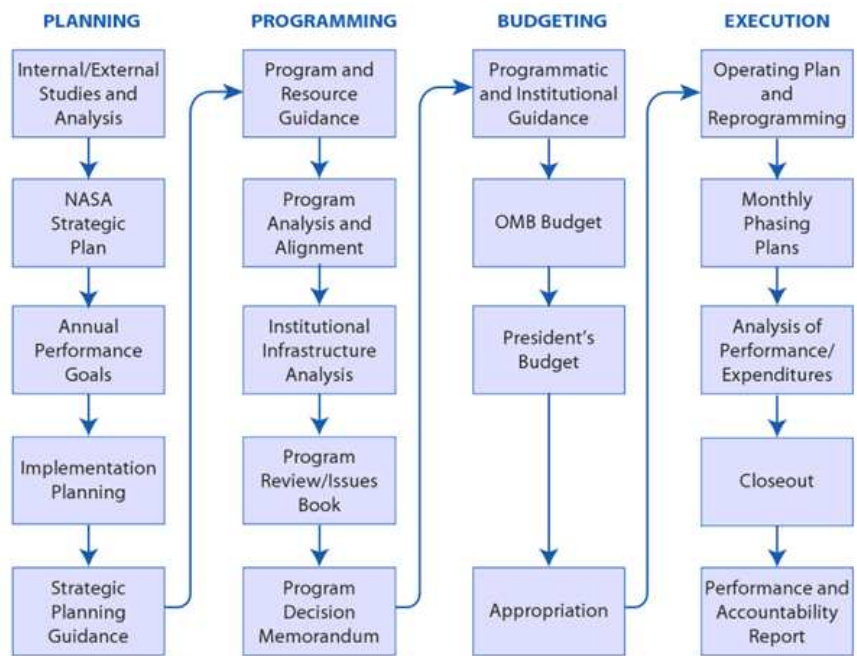


<그림 2> NASA의 매트릭스 조직구조



출처: NASA

<그림 3> NASA의 예산계획 및 집행절차: Top-down 방식



출처: NASA



마. 국가적인 거대 미션 중심으로 R&D 조직 거버넌스 개편 필요

이상에서 살펴본 봐와 같이 NASA는 미국 정부의 미션수행 조직이면서도 R&D 조직이라는 성격을 가지고 있으며, 일반적인 R&D 조직보다 더 파급력이 큰 신기술 개발과 상용화의 성과를 내고 있다. 물론 많은 예산과 정부의 전폭적인 지원이 바탕이 되었지만, 불가능한 미션을 달성하기 위하여 기존에 없던 방안을 고안해 내고, 이를 구현하기 위하여 과학적 지식을 바탕으로 기술적 방법을 찾거나 기존에 없던 새로운 기술을 개발하는 방식으로 운영되고 있는 것이 NASA의 성공요인이라고 할 수 있을 것이다. 미션 완수를 위하여는 기술의 완성도가 높아야 하고, 특정의 극한 상황(우주 공간과 우주선이 사용자 중심의 혁신적 실험 공간인 Living Lab의 역할을 함)에서 사용된 첨단기술이기 때문에 자연스럽게 민간과 산업계로 이전되는 선순환 피드백이 작동하고 있다. 결국 이는 세상에 없던 새로운 방법, 기술에 대한 고안과 도전, 실현이라는 혁신적 기술(원천기술, 선도기술)의 등장을 촉진하는 효과를 내고 있다.

한편 미국은 연방정부가 국가의 명확한 임무를 수행하는 데 필요한 범위 내에서 과학기술을 적극 지원하고 활용해야 한다는 임무중심의 원칙을 가지고 있다. 이에 따라 미국의 R&D 활동은 뚜렷한 임무를 가진 부처나 기관들을 중심으로 한 분권적 구조로 운영되고 있다. 전후 미국의 가장 큰 임무는 국방 및 질병 극복이었고, 이에 따라 연방정부 R&D 예산 및 조직은 국방부(DOD), 국립보건원(NIH) 및 에너지부(DOE)에 집중하는 구조를 가지고 있다.

그러나 현재 우리나라 정부 R&D의 문제점은 탑다운(Top-down) 방식의 국가적 미션이나 실행(문제 해결) 중심으로 조직이 통합되어 있지 않고, 세분화된 기능 중심의 연구소들이 용도가 불분명한 작은 기술 개발이나 지식창출에 매달리고 있다는 것이다. 그러다 보니 선진국과 비슷한 기술이 개발되었다고 하지만 실용화 하기에는 완성도가 낮거나, 실용화의 주체가 없어 무용지물이 되는 경우가 반복되고 있다. 또한 연구자들이나 기술자 등 프로젝트 참여자들이 가장 창의적으로 새로운 방안과 발명이 가능하도록 하는 프로젝트 운영시스템의 강점을 살리지 못하고 있다.

이를 극복하는 근본적인 방안을 찾아야 한다. 몇 년 전에 한국항공우주연구원을 미국의 NASA와 같은 조직으로 개편하는 논의가 있다가 수그러 들었던 적이 있다. 이제는 미국의 NASA(항공우주), NIH(보건의료) 처럼 연구를 바탕으로 국가의 근본적인 미션을 수행하는 뚜렷한 목적을 가진 몇 개의 그룹으로 재편하는 것이 필요하다고 본다. 특히 국민의 안전이 중요해진 이때 국민안전청(가칭)을 신설하여 소방, 방재, 안전, 구조 등의 기능과 관련 R&D 조직을 산하로 통합할 필요가 있다. 또한 최근 IoT, 자율주행차, 에너지, 환경, 스마트도시 등 도시관련 이슈가 커지고 있는데 4차 산업혁명 시대를 대비하여 미래도시에 대한 국가 차원의 대응이 필요하다. 일반적으로 교통(자율주행차와 이에 따른 교통시스템의 변화)과 생산양식(4차 산업혁명 시대의 산업의 변화)의 변화는 근본적인 도시의 변화를 가져온다. 또한 에너지와 환경 등 지속가능성



의 문제가 심화되는 상황에서 이를 대비한 미래도시의 모습은 국가 경쟁력을 좌우할 수 있다. 미래도시와 관련된 기술을 종합적으로 연구개발하고 미래도시 건설을 기획, 추진하는 미래도시연구계획청(가칭) 같은 조직을 만드는 것을 제안해 본다.

[표 1] NASA의 우주기술 개발 및 민간활용 사례

구분	기술명	개발 목적	민간 활용
우주선 기술	카이놀 섬유	로켓의 내열 소재	용광로 작업복, 방재 마스크 등 내열 섬유
	알루미늄 단열장치	지구 대기권 통과시 마찰열을 차단하기 위한 우주선 단열 장치	태양 복사열 차단 건축 단열재
	투명 세라믹 소재	열추적 미사일 안테나 보호	치아교정기
	비행기 보조 수직날개	항공기 연료절감	항공기 연료절감
	수소 연료 전지	우주선내 전기 공급: 수소와 산소의 결합으로 전기와 부산물인 물 생산	전기자동차 연료전지
	형상 기억 합금	접힌 상태에서 적당한 온도를 받으면 원래 형태로 퍼지는 인공위성 안테나 금속	브래지어용 와이어
	연료 펌프 기술	우주선의 연료 펌프 기술	소형인공심장
	레이더 제어 기술	무기발사 제어용으로 개발한 레이더 기술	라식수술시 안구 움직임을 추적하는 레이더 기술에 활용
	장거리 위성 통신	우주탐사때 장애없이 지구와 통신하기 위해 개발	장거리 위성 통신, TV 위성 중계 기술
우주 탐사 기술	디지털 화상 처리 기술	우주선에서 촬영한 우주 사진 처리 기술	컴퓨터 단층촬영(CT), 자기공명영상(MRI) 영상 처리
	달 표면 이미지 처리 기술	달 표면의 그림자 사진으로 달의 분화구와 계곡의 깊이를 컴퓨터로 측정해 이미지를 재생하는 기술	피부 확대사진
	적외선 온도 측정 기술	항성과 행성의 온도를 측정하기 위해 개발된 적외선 센서 기술	귀 체온계
	위성탐사 기술	온도와 색 정보를 이용하여 위성 탐사	어군탐지기: 수온-염록소로 어군 탐지
	허블 우주망원경의 스케줄 관리 기술	허블 망원경을 이용한 다양한 조건에서의 최적의 관측 스케줄(대상과 시간) 관리 알고리즘(프로그램)	병원 의료관리 시스템
	소형 카메라	우주인이 활용할 소형 카메라 기술	핸드폰용 카메라
	휴대용 드릴	월석채취용 휴대용 드릴 기술	무선 청소기
	박테리아 검출기	화성 탐사선이 생명체를 찾기 위한 박테리아 검출 기술	
우주인을 위한 기술	연기 감지기	우주선 내에서 우주인 안전을 위한 일산화탄소 탐지 기술	연기감지 화재경보기
	공기 청정기	밀폐된 우주선 내에서 공기 질을 유지하기 위한 기술	공기 청정기



	정수 필터	우주선에서 물을 재사용하기 위한 이온정수 시스템 기술	정수 필터
	동결 건조식품	가볍고 작고 장기 보존이 가능하고 조리가 쉬운 음식 개발	동결 건조식품
	온도계 알약	우주인의 체내 온도를 추적하기 위한 온도계	운동선수, 소방대원, 잠수부의 체온 모니터링
	메모리폼	우주인 보호를 위한 충격흡수성과 복원성이 좋은 소재 개발	
	에어쿠션 신발	우주인의 무릎관절 보호를 위한 신발 안창 기술	나이키의 에어쿠션 운동화
	눈 보호용 필터	우주인의 눈을 보호하기 위한 유해광선 차단 필터	선글라스 렌즈
	우주선 계기판 보호 소재	우주선 계기판 손상 방지 기술	안경, 선글라스의 긁힘 방지 렌즈
	말하는 식물	센서 통해 물이 마르면 '물줘요' 메시지	말하는 식물
	수경재배 기술	장거리 우주여행에서 토양없이 작물을 재배하기 위한 기술	수경 채소 재배 기술



4. DARPA, 문제 정의에서 R&D가 시작된다

가. 불확실성을 대비하라

'앞으로 예상되는 문제를 발굴하고, 이에 대한 기술적 해결책을 찾아서 증명하라.' 미국 방위고등연구계획국(DARPA, Defense Advanced Research Project Agency)의 역할을 한마디 문장으로 표현하면 이와 같다. 자체 연구소가 없으면서도 획기적인 R&D 성과를 내놓고 있는 DARPA는 독특한 조직이다. 우리가 일상적으로 사용하는 마우스, 인터넷, GPS, Siri에서부터 드론, 무인자동차, 스텔스 전투기에 이르기까지 모두 DARPA에서 나온 것이다. 민간 시장의 판도를 바꾼 '파괴적 혁신(Disruptive Innovation)'의 대표적인 조직이 국방 R&D 조직이라는 것 또한 아이러니라고 할 수 있다.

파괴적 혁신의 대명사인 DARPA는 사실 예상치 못했던 1957년 소련(구 러시아)의 스푸트니크 발사와 같은 적국으로부터의 기술적 충격(Technological Surprise)을 방지하기 위해 설립되었다. 소련의 스푸트니크에 대항하여 미국은 1958년 직접적인 경쟁 조직인 NASA를 설립하는 한편, 앞으로 있을 수 있는 기술적 충격을 미연에 방지하기 위하여, 예상되는 도전에 미리 준비한다는 선제적인 임무를 수행하는 ARPA를 설립한다. DARPA의 설립 당시 명칭은 Defense(국방)라는 단어가 없었는데, 이는 NASA 설립을 민간주도로 한 것과 같이 민간(주로 대학과 기업 연구소)의 과학기술 지식과 역량을 활용하자는 의도를 담고 있었다.

이후 DARPA의 구체적인 역할과 중점 지원, 협력 대상은 시대적 요구에 따라 바뀌었다. 설립 초기에는 기초연구(신소재 개발) 지원에 집중하여 다양한 분야가 접목된 학제간 연구를 위해 대학 등 학계를 주로 지원하였다. 국가적으로 산업 경쟁력이 중시되던 1980년대에는 국방력과 산업 경쟁력 강화를 동시에 추구하는 민군겸용기술(Dual-Use Technology) 연구에 집중하기도 하였다. 최근에는 다시 명칭에 국방을 붙였는데, 이는 DARPA의 모델을 따르는 ARPA-E(에너지부), I-ARPA(정보부), HSARPA(국토안보부) 등이 설립된 데 따른 것이기도 하다.

나. 현장 중심의 과제 발굴과 아이디어를 결합하여 기술적 해결책 모색

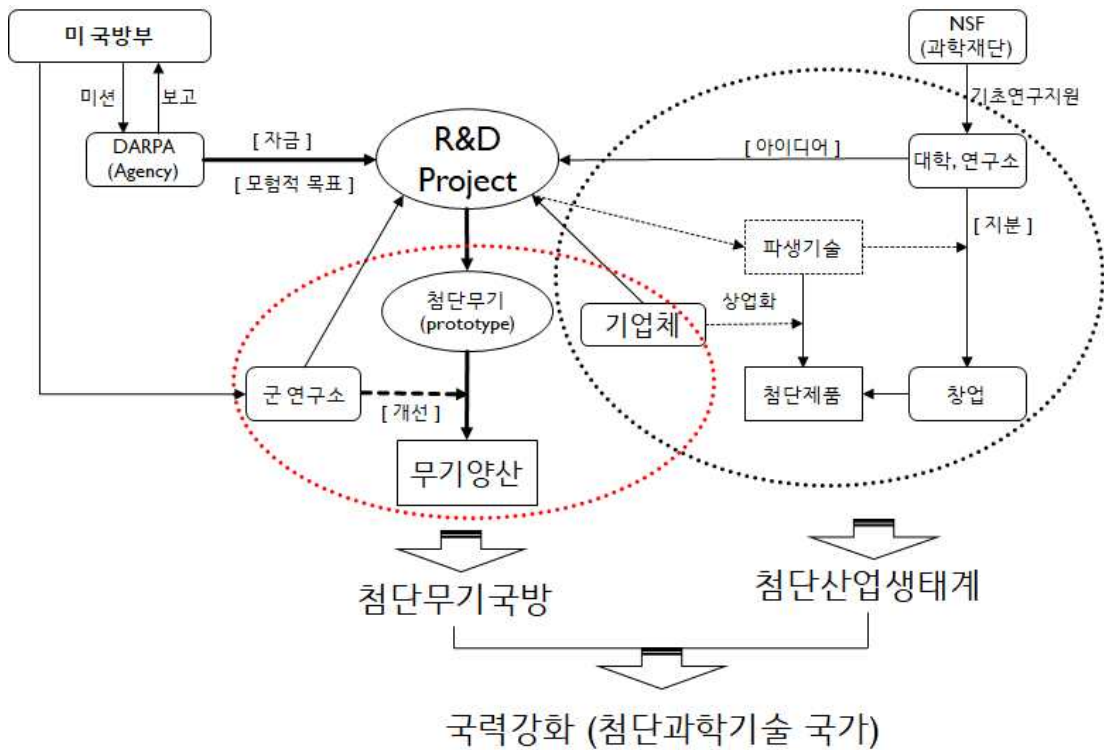
DARPA의 연구는 주로 잠재적 위협에 대비하거나 전략적 우위를 차지하기 위하여 중요하고 획기적인 수혜(Revolutionary Advantages)가 기대되지만 실패할 우려도 큰 과제에 집중하는 특징을 가지고 있다. 그러나 연구 과제의 선정은 철저히 현장 중심이라고 할 수 있다. 군과 국방부 각 국의 요구 사항을 조사하면서, 미래의 지휘관들이 무엇을 요구하는지, 앞으로 예상되는 문제와 기술적으로 해결해야 할 과제는 무엇인지를 조사하여 선정한다(top down 방식). 예를 들면 인터넷은 핵 공격으로 통신



망이 손상되었을 때 어떻게 분산적으로 통신망을 유지할 수 있을 것인가의 문제를 풀기 위하여 시작된 과제이며, 스텔스기 또한 당시 강화된 소련의 방어망을 뚫기 위해서는 레이더에 안 잡히는 전투기가 필요하다는 문제의식에서 출발한 과제였다.

이와 같이 DARPA는 성공할 경우 획기적인 수혜를 기대할 수 있지만 기술적인 실패의 위험도 큰 고위험 고성과(High Risk, High Pay-off)의 과제를 수행하지만, 기술적 해결책의 모색은 상당히 현실적이고 중단기적인 성격을 지니고 있다. 과제 탐색 단계에서 DARPA는 과제 해결의 아이디어를 내부에서 구하는 것이 아니라 주로 대학, 연구소 등의 기초연구에서 찾는다(bottom up 방식). 자체 연구소가 있다면 내부의 한정된 지식과 전문성 만에 의존할 가능성이 높기 때문에 기존에 없던 혁신적인 해결책을 찾기 위하여 외부의 다양한 분야의 연구 성과를 활용할 수 있는 안목과 유연성, 민첩성을 갖도록 조직을 만든 것이 DARPA의 강점이라고 수 있다.

<그림 4> DARPA를 중심으로 기초와 첨단 연구의 순환 생태계



출처: 이명호

DARPA는 장기적인 성격의 기초연구 결과(아이디어)를 바탕으로 단기간에 기술적 솔루션을 구현한다는 가교적(Bridging The Gap) 역할을 자신의 임무로 명확히 하고 있다. 즉 DARPA의 성공 모델은 제한된 시간 내에 모든 지식과 역량을 집중하여 기초연구로부터 도출된 과학적 개념을 발전시켜 문제를 해결할 수 있다고 기술적으로 증명(Proof-of-Concept)하는데 있다. 기술적으로 증명이 되면, 국방성의 각군 서비스



과학기술(Service S&T) 부서에 이전돼 파일럿 플랜트(pilot plant) 구축, 시험생산(test bed) 등의 과정을 거치거나 산업체에서 생산하게 된다. 그리고 연구결과인 지적재산권은 대학, 기업이 소유하고 사업화할 수 있도록 하고 있다.

이런 측면에서 DARPA와 NSF(미국과학재단)은 동전의 양면 같이 보완적으로 움직이고 있다고 할 수 있다. NSF는 대학 등을 대상으로 작지만 장기적인 연구지원을 통해 기초연구에 집중할 수 있는 환경을 제공한다. 반면, DARPA는 매우 풍부한 연구비(NSF에서 지원하는 연구비의 3~10배)를 지급하되 매우 실용적인 문제해결을 지향한다. 따라서 NSF 모델과 ARPA 모델은 국가혁신시스템, 연구생태계의 측면에서 서로 보완적인 관계에 있다. ARPA는 혁신생태계에서 대학, 기업, 정부를 연결하는 허브(연구 자금 지원, 정보 교류, 연구 네트워크 형성 등)이자 산학연에 흩어진 아이디어(기초연구 성과)와 인적, 물적 자원을 활용하여 혁신을 이뤄내는 산실 역할을 하고 있다.

다. 스푸트니크의 도전에 역발상으로 GPS를 개발하다

GPS 개발 사례는 단적으로 이와 같은 DARPA의 활동 방식을 보여준다. 소련의 스푸트니크 위성이 우주에서 지구로 보내는 주파수를 추적하던 존스홉킨스대 부설 응용물리학연구소(APL) 2명의 연구원은 스푸트니크 신호음이 기지국 관찰자와 가까워질 때는 커지고, 멀어지면 작아지는 이른바 도플러 원리를 이용해 위성의 위치를 확인할 수 있을 것이란 생각을 하게 된다. 두 사람은 수 주일 만에 컴퓨터로 스푸트니크의 궤도를 추론해 낼 수 있게 됐다고 언론에 발표한다. 당시 소련의 컴퓨터 역량으로는 자신들이 쏘아 올린 위성의 궤도를 계산할 수 없었다.

이 보도를 본 미해군연구소(NRL)의 소장은 두 사람에게 연락하여 궤도를 안다고 전제 할 때 그 솔루션을 뒤집어 수신국 위치를 알 수 있는가를 묻는다. 즉 '도플러 효과를 이용해 위성위치를 파악하던 방식'의 연구를 뒤집어 '위성신호를 바탕으로 한 지구상 물체의 위치 파악'이라는 숙제를 받은 것이다. 해군은 위치측정용 위성을 이용하면 잠수함이 지구상 어디에 있든 자신의 위치를 확인하고 항해가 가능하다는 숙원을 풀 수 있는 것이었다. 1958년 봄, 해군본부의 요청을 받은 두 사람은 곧바로 도플러 항법시스템구축 제안서를 만들었다. 폴라리스 핵미사일을 장착한 잠수함의 항법용이었다. 그 해 여름 DARPA는 17일 간의 심사과정을 거쳐 50쪽짜리 제안서를 승인한다. 1958년 10월 DARPA의 자금지원 결정이 내려졌고 트랜짓 개발이 시작됐다. GPS 위성기술의 시대가 열린 것이다.

최근의 경우 애플의 시리(Siri) 또한 DARPA의 프로젝트로 개발된 병사들의 정보습득을 도와주기 위한 무인 커뮤니케이션(인공지능) 기술이다. 연구비 2억달러가 지원된 이 프로젝트는 스탠퍼드대 SRI인터내셔널이 주도하였고, 25개 대학 및 연구기관의 연구원 300여명이 참여하였다. 기술 개발이 완료되자 SRI인터내셔널은 2007년 12월 프로젝트 중에서 '음성개인비서 연구부문'을 독립시켜 시리라는 벤처기업을 설립하였



고, 바로 애플에 인수되었다. 사실 아이폰에 탑재된 반도체, GPS, 터치스크린, Siri 등 대부분의 주요기술들은 DARPA 등 정부 프로젝트의 결과물이다. DARPA는 이와 같은 방식으로 미국 첨단 기업들의 주요 기술 공급자 역할을 하고 있다. 현재 DARPA가 집중하고 있는 6개의 기술 부서(Technical office)는 바이오 기술, 국방과학, 정보 혁신 기술, 마이크로시스템 기술, 전략 기술, 전술 기술이며, 2016년도 예산은 29억 달러(3조 3000억원)다.

라. 새로운 아이디어에 집중하는 유연하고 수평적인 조직 운영

DARPA의 성공 요인은 1)소규모의 유연한 조직 2)수평적 조직 3)실질적인 자율권과 관료적 간섭의 배제라고 할 수 있다. DARPA의 전형적인 단위사업(Project)은 3~5년 동안 1,000~4,000만 달러의 예산으로 한두 개의 대학을 포함한 5~10개 내외의 대학과 기업이 동시에 참여하는 연구조직과의 계약 형태로 수행된다. 이때 각 단위사업은 기술적 사항과 예산집행에 대한 전권을 행사하는 단 한 명의 프로그램 매니저(Program Manager, PM)에 의해 관리된다. PM은 독립적이고 막강하면서도 폭넓은 재량권을 가지고 있으며, 동시에 막중한 책임이 주어진다. PM은 미래의 주요 이슈를 발굴하고 문제 해결을 위해 연구 과제를 선정하며, 외부 연구기관을 조직하여 해결책을 기술적으로 실증하는 역할을 맡는다.

그렇기 때문에 R&D 사업에서 일반적인 Peer review(동료 전문가 평가) 절차가 없고 과제의 수행(프로젝트의 기획 및 선정)을 PM의 의지에 전적으로 맡기고 있다. Peer review를 하면 다양한 측면의 점검이 가능하지만, 선정과정이 길고 보수적인 과제가 채택될 가능성이 높고, 결과적으로 즉각적이고 혁신적인 과제 추진에 방해가 된다고 보는 것이다. Peer review 절차가 없는 대신 기획된 혹은 진행 중인 프로그램에 대한 사업평가(program review)를 받으며, DARPA의 전략과 예산은 국방부에서 검증하고 있다.

PM 중심의 신속한 의사결정과 원활한 활동을 위해 DARPA는 유연한 수평적 조직 체계를 갖추고 있다. DARPA는 조직의 수장인 국장(Director), 부서장(Office Director), PM이라는 3단계의 철저하게 소수 정예 조직으로 되어 있다. 각 부서장의 주요 임무는 적합한 PM의 발탁과 지원이다. 전체 규모는 각 과제를 책임지는 100~150여 명의 PM을 포함하여 300여 명에 불과하다. PM들은 통상 5~6명의 인력(staff) 지원을 받고 있고, 또 5~6명의 지원인력들은 각각 1~2명의 인력 지원을 받고 있는 구조다.

PM은 모두 3~5년의 계약직으로 고용되며, 이는 신속한 고용과 과제 완료 후 퇴출이라는 완벽한 자율성과 신축성을 확보하기 위한 것이다. 새 프로젝트는 새로운 PM의 임명과 동시에 시작하여 PM의 임기와 함께 종료된다. 과제의 성공에 있어서 PM의 역할이 중요하기 때문에 DARPA는 최고의 아이디어를 가진 인재, 자율성을 갖고



목표를 완수하기 위해 열정적으로 도전하는 인재를 뽑기 위해 노력하고 있다. 또한 기술적 능력뿐만 아니라 기업가정신을 함께 보유한 과학자 및 엔지니어를 PM으로 영입하고 있다. 성공적으로 프로젝트를 마친 PM은 이전 직장으로 복귀하거나 관련 기술의 사업화, 창업 등으로 기업체에 스카우트 되면서 개인적으로는 자신의 경력을 한 단계 업그레이드 하는 성과를 얻게 된다.

마. 끊임없는 자기 혁신과 건전한 연구생태계 조성으로 혁신 가속화

DARPA의 또 하나의 특징은 정형화된 틀을 벗어나 끊임없이 새로운 시도를 한다는 것이다. 컴퓨터와 인터넷 분야의 많은 연구 성과들은 명확한 목표와 계획에 따라 진행됐다가보다는 시대를 앞선 몇몇 선각자의 통찰로 대략 방향을 잡고 진행 과정에 유연하게 대처하며 새로운 기회를 포착하여 혁신을 이룬 경우가 많았다. 무인 자동차(Autonomous Car)와 로봇 프로젝트에서는 신속한 결과를 얻기 위해 랩(Lab) 차원의 연구 프로그램 대신 우승 상금을 내건 경쟁 방식의 연구 프로그램을 개최하기도 하였다.

결론적으로 DARPA가 설립 초기부터 60여년 동안 끊임없이 혁신적인 성과를 낼 수 있었던 것은 유연하고 수평적인 조직구조와 제도적 장치, 부서장과 PM 등 핵심 인력의 독립적인 결정권, 끊임없는 조직의 자기혁신, 그리고 이 모든 것을 보장해 준 정부와 의회의 지원이 있었기 때문일 것이다. 또한 정부와 민간의 원활한 인력과 정보의 교류, 기초연구와 사업화의 가교적 역할, 정부 R&D 결과물(기술, 제품, 지재산 등)의 민간 이전이나 공유 등 사업화와 확산이 모두 가능한 혁신적인 연구생태계가 조성되어 있었기 때문이라고도 할 수 있다.

바. 한국도 연구 기획과 수행을 책임지는 별도의 연구 프로젝트 기구가 필요

우리나라의 정부 R&D 시스템의 경우 학계의 기초연구를 바탕으로 실용화, 사업화 연구로 이어지는 연계가 부족하고, 공동연구, 융합연구가 제대로 되지 않고 있다. 연구의 기획 및 실행단계에서 학계, 기업, 연구소 등이 공동으로 참여하는 DARPA 방식의 장점을 본받아야 할 것이다. 그리고 도전적 연구 자체가, 초기 기획단계에서 의도하지 않은, 상상하지 못한 파급 효과로 이어진다는 점을 염두에 둔 프로젝트 운영이 필요하다. 연구개발 기획단계 초기부터 산업경제적 효과를 계약 문서에 기입하게 강요하는 방식으로는 혁신적 연구 성과를 기대하기 어렵다. 이런 것들이 연구개발자의 시각이 협소해지고, 위험을 추구하기보다는 위험을 회피하는 결과를 초래하고 있다고 본다.

근본적으로는 DARPA와 같이 PM의 주도로 글로벌 프런티어가 될 수 있는 연구 과제를 기획하고 실행을 책임지는 제도를 만들 필요가 있다. 지금과 같이 몇몇 기관이



기술 동향 및 잠재적인 과제를 조사, 발굴하고, 이를 바탕으로 연구과제 선정기관이 따로 있고, 수행은 연구소가 하는 방식, 즉 연구 기획자, 선정자, 수행자가 분리되어 있는 선수-심판의 분리원칙(누가 선수이고 누가 심판인지도 잘못 분류되어 있지만)을 버릴 때가 되었다고 본다. 이런 분리 방식은 기술 추격형 R&D와 같이 선진 사례가 알려져 있고, 누가 수행하나 성공 가능성이 비슷한 상태에서 특혜나 도덕적 해이 등을 피하고 공정성을 기하기 위한 방법이었지만, 혁신적 R&D로 전환해야 할 현재 상황에는 안 맞는 방식이라고 본다. 감사를 대비하여 공정성을 기한다고 하다 보니 예산을 잘게 쪼개어 나눠 먹기식으로 운영되고 있다는 비판도 나오고 있다. 기획(감독, PM)과 수행(선수)가 한 팀이 되어 경기를 하고, 심판(정부)은 결과만을 평가해야 할 것이다.

그리고 연구소에서 과제를 기획하거나 제안하여 정부에서 예산을 받는 연구과제중심 운영제도(PBS, Project-based System)라는 것이 얼핏 보면 기획과 수행을 일치시켰다고 하지만, 연구소 중심의 기획으로 자기 조직의 필요성을 합당화시키는 근본적인 한계를 가지고 있다. 연구 수행기관이 기획을 하는 것이 아니고 DARPA와 같이 별도의 기관이 연구를 기획하고, 최적의 수행 팀(여러 대학, 연구소, 기업 등으로 구성)을 구성하여 연구를 진행하는 방식으로 재편이 필요하다. 현재 미래부와 산업부의 PD(Program Director) 제도도 연구 과제를 발굴하거나 감독, 자문하는 기능에 머무르고 있는 한계를 보여주고 있는데, DARPA 같이 독립적인 과제 기획과 수행 기능을 가진 조직으로 발전시켜야 한다.

한국에서 어떻게 DARPA 같이 자체 연구소 없이 혁신적인 연구를 기획, 수행하는 R&D 거버넌스 조직을 만들 수 있을 것인가? 우선 정부 주도로 신성장동력을 발굴하기 위한 R&D 전략 수립이라는 낡은 프레임에서 빨리 벗어나야 한다. 신성장동력을 만드는 R&D는 기업의 역할이고, 정부는 끊임없이 신성장동력이 될 수 있는 기술이 등장하고 사라지는 경쟁적인 생태계조성을 위한 정책에 한정해야 한다. 정부의 R&D 목적은 국가의 임무를 수행하는 데 필요한 과학기술의 개발을 적극 지원하고 활용한다는 임무중심의 원칙을 명확히 해야 한다. 인공지능 기술 개발이 목표가 아니라 정부의 어떤 임무를 수행하는데 인공지능 기술이 필요하다는 목적을 명확히 해야 한다. 목적 달성을 위한 신기술을 개발하다 보니 인공지능, 자율주행차 같은 성장동력이 나오는 선후 관계를 뒤집어서는 영원히 추격자, 모방자를 벗어날 수 없다. DARPA 같은 조직이 중심이 되어 국가에서 시급히 해결해야 할 과제를 발굴하고, 아이디어를 찾고, 연구를 기획하고, 연구팀을 조직하여 책임지고 과제를 수행할 수 있도록 독립성과 자율성을 보장해 줄 때, 정부 R&D가 제 방향을 찾을 수 있을 것이다.



5. 문샷싱킹, 기술적 한계에 도전한다

가. 항공산업을 연 오티그 프라이즈 대서양 횡단 비행 대회

1927년 5월 20일 뉴욕을 출발한 작은 비행기 한대가 33시간만에 모습을 드러내자, 이를 축하하기 위해 10만 명의 프랑스 파리 시민들이 일제히 환호했다. 뉴욕의 한 야구장에서 4만 명의 군중이 지켜보는 가운데 출발한 비행기는 한때 연락 두절이 되면서 런던, 베를린 등의 주식시장 거래가 중단되는 소동이 벌어지기도 했지만, 마침내 무사히 활주로에 내렸다. 최초로 무착륙 단독 대서양 횡단 비행에 성공하는 순간이었다. 이날의 영웅은 바로 찰스 린드버그였다. 일약 세계적인 영웅이 된 린드버그는 6천 달러를 들여 직접 제작한 길이 8m의 '세인트루이스호'로 오티그 프라이즈(Orteig Prize) 상금 2만 5천 달러를 거머쥐었다. 1919년 오티그 프라이즈 대회가 공표된 지 8년 만에 우승자가 나온 것이었다.

1903년 라이트 형제가 이른바 '나는 기계'로 첫 비상에 성공한 이후 비행기는 제1차 세계대전을 전후하여 주로 군용기로 사용되었다. 하지만 민간부문에서는 상용화가 매우 지지부진한 상태였다. 워싱턴-뉴욕간 비행, 뉴욕-시카고간 시험 비행이 시도되었지만 번번히 실패하였다. 최초의 비행사 40명 중 31명이 비행 도중 목숨을 잃을 만큼 비행기는 아직 위험한 시제품이었고, 대중이 비행기를 이용하기에는 넘어야 할 난관이 많았다. 이런 상황에서 혼자서 비행기로 대서양을 횡단하는 것은 목숨을 건 도전이었다. 그런데 25세의 평범한 청년이 도전하여 성공하였다. 이 사건은 대중의 비행에 대한 관심을 폭발시켰고, 비행에 대한 대중적 수요를 창출하였다.

1927년 기점으로 미국에서 인가 받은 비행기 수는 이전에 비해 400% 증가하였고, 비행기 조종사 면허 시험 응시 인원이 300% 증가하였다. 이후 3년 동안 비행기 여객 수는 30배 증가하였다. 1930년 유나이티드 항공사의 보잉 247 여객기는 시속 240km의 속도로 한번에 10명의 승객을 실어 날랐다. 자동차로 한 달이 걸리던 미 대륙횡단이 하루도 안 되는 20시간 이하로 줄어들었다. 항공산업이 등장한 것이다. 당시 2만 5천 달러의 상금이 걸린 오티그 프라이즈에 도전하기 위하여 전체적으로 40만 달러의 투자가 일어났다. 결국 오티그 프라이즈는 비행기술의 발전과 대중의 관심을 끄는 촉매자 역할을 하였다고 할 수 있다. 혁신적 기술과 산업은 대중의 관심과 경쟁 속에서 발전한다는 것을 다시 한 번 증명한 것이다.

나. 오랜 역사를 가진 상금을 건 기술경진대회

기술적 난제를 해결하기 위하여 상금을 건 경진대회의 역사는 길다. 1707년 경도 측정이 잘못되어 영국 해군 2천 여 명이 좌초되어 목숨을 잃은 사건이 발생한다. 정확한 경도 측정이 가능해야 해상을 제패할 수 있다는 것을 깨달은 영국의회는 1714



년 바다에서 경도를 측정하는 기술에 오늘날 미화 수백만 달러에 해당하는 2만 파운드의 상금을 걸었다. 결국 1735년 시계를 이용한 경도 측정법이 개발되었다.

통조림 발명도 비슷하다. 넓은 유럽 대륙에서 전쟁을 벌이던 나폴레옹은 신속한 병력이동으로 전장을 누비는 기동전술을 즐겨 사용하였고, 기동 시간을 단축하기 위해서 전장에서 음식을 조리해 먹는 시간을 줄여야만 했다. 1795년 나폴레옹이 식사시간을 단축시키는 획기적인 방법을 제시하면 상금을 주겠다고 하자, 와인병에 조리한 음식을 넣어 보관하는 병조림이 발명되게 된다. 병조림으로 이동속도가 빨라지면서 승승장구하던 프랑스군은, 그러나 영국군의 통조림에 발목이 잡히게 된다. 영국군은 더 가볍고 깨지지 않는 주석으로 만든 통조림을 만들어 프랑스보다 더 빠른 기동력을 발휘하게 된 것이다. 이와 같이 기술경진대회는 기존의 사고로는 풀기 어려운 새로운 발상과 접근이 필요한 해결책을 찾는 데 뛰어난 효과를 보여주었다.

다. 기술적 한계에 직면하면 상금을 걸고 해결책을 널리 구하라

이후 다양한 발명에 기반한 근대적인 산업이 발달하게 되면서 상금을 건 경진대회 방식의 기술개발은 뜸해지게 된다. 기업 등에서 체계적인 연구개발(R&D)을 수행하는 연구소를 설립하고, 산업군이 형성되어 기업들이 기존 제품의 품질 개선에 주력하게 되면서 경진대회의 효과성이 줄어들었기 때문이었다. 그러다 기술경진대회가 다시 주목을 받게 되는 것은 엑스프라이즈(X-Prize)재단이 개최한 안사리(Ansari) 우주왕복선 대회였다. NASA의 우주개발 프로젝트가 화성으로 옮겨가면서 유인 우주선에 대한 개발이 주춤해진 사이 1996년 엑스프라이즈재단은 민간 우주산업의 시대를 열겠다고 경진대회를 선언한다. 처음에는 상금 모금이 안되어 어려움을 겪다가 2002년 인도 안사리 가문이 1,000만달러(약 115억원) 상금을 보증하면서 대회가 본격화된다.

우승팀은 조종사를 포함해 세 명을 태운 재사용이 가능한 우주선이 지상 100km까지 올라갔다 내려와 2주 안에 다시 같은 우주선으로 올라갔다 내려와야 하며, 정부 지원을 받지 않는 민간팀이어야 한다는 조건이었다. 미국, 캐나다, 러시아, 영국, 이스라엘, 아르헨티나 등 전세계에서 27개 팀이 참가하여 2004년 폴 앨런(마이크로소프트 공동 창업자)이 투자한 스페이스쉽원(SpaceShipOne)이 우승하였다. 이 대회의 관건은 그동안 천문학적 비용이 들던(NASA의 아폴로 계획에 투입된 예산 총액은 250억 달러였음) 우주선을 저렴한 비용으로 제작하는 방안을 찾는 것이었다. 참가 팀들은 100만~2,500만 달러를 투자하여 저렴한 우주선을 개발하였고, 이후 SpaceX(Tesla), Blue Origin (Amazon), Boeing, Virgin Galactic 등 민간기업들은 기존 우주선 제작비를 1/100 이하로 줄이는 우주화물선, 우주여행선 개발 경쟁이 시작된다.

자율주행차도 미국 국방부의 DARPA(국방고등연구계획국) 챌린지(Challenge)의 성과라고 할 수 있다. 자율주행차 개발을 추진하던 DARPA는 개발 진척이 느리고 성과가 부진하자 공개적인 경진대회 방식을 도입한다. 200만 달러의 상금을 걸고 2003년



대회를 선언하고, 2004년 모하비 사막에서 열린 대회에서는 230Km 목표 중에 한 대만이 12Km를 주행하고 멈추는 등 모든 팀이 실패하였다. 그러나 불과 1년 후인 2005년 대회에서는 5대가 230Km를 완주하였고, 스탠포드대 팀이 우승하였다. DARPA는 2007년에 다시 사막이 아닌 모의도심 주행 대회를 개최하여 카네기 멜론대-GM팀이 우승하였다. 이후 구글은 양 대회 우승팀인 스탠포드대와 카네기 멜론대팀 인력을 영입하여 선도적으로 자율주행차 프로젝트를 시작하였다.

라. 엑스프라이즈재단의 경진대회 아젠다 선정 방식

현재 막대한 상금을 건 경진대회 방식의 기술개발을 주도하고 있는 곳은 엑스프라이즈 재단이다. 우주왕복선 대회를 통해 세계 최초의 상업용 민간우주선이 개발됐고, 2010년 멕시코 만에서 사상 최악의 기름 유출 사고가 발생했을 때는 400% 개선된 기름 제거 기술에 상금을 수여하였다. 구글이 최대 스폰서로 참여한 달에 탐사로봇을 보내는 '구글 루나 엑스프라이즈'(Google Lunar X Prize)를 진행하고 있으며, 최근에는 쿨컴과 같이 스캔 한 번으로 질병을 진단하는 휴대용 의료기기를 개발하는 '트라이코더 엑스프라이즈'(Tricorder X-PRIZE)도 진행 중이다(트라이코더는 영화 스타트렉에 나오는 태블릿 크기의 의료기기이다).

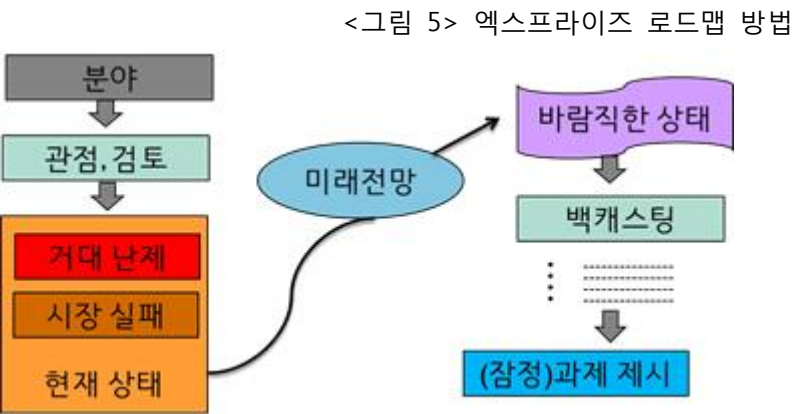
엑스프라이즈재단의 미션은 “인센티브를 주는 경쟁을 통해 혁신가들을 고무함으로써 인류가 직면하고 있는 중요한 난제에 대한 해법을 찾고 기술 진보를 앞당긴다”이다. 재단은 엑스프라이즈 로드맵 방법으로 경진대회 과제 발굴을 하고 있는데, 3단계의 프로세스를 거치고 있다. 첫째, 거대한 도전이 필요하거나 시장 실패가 있는 영역의 과제를 선정한다. 둘째, 해결된 미래의 상태를 가정(전망)하여 필요한 기능을 정의한다. 셋째, 이 기능을 달성하기 위해 해결해야 할 기능(기술적 목표) 목록을 과제로 제시한다.

엑스프라이즈재단의 이사장인 피터 디아만디스는 “볼드(BOLD)”라는 책에서 “목표는 분명히 이해하고 있지만 도달하는 방법을 모를 때” 경진대회가 효과적이라고 말하고 있다. 이와 함께 대회가 성공하기 위해서는 활용할 수 있는 혁신가 집단이 충분히 있어야 하고, 소규모 팀으로 문제를 해결할 수 있는 기술적 과제이어야 한다고 제시하고 있다.

SpaceX의 일론 머스크가 저항이 없는 진공 튜브형태의 레일 속에 객차를 넣어 발사시키는 신개념의 이동수단인 Hyperloop 컨셉을 오픈소스로 개발하는 경진대회를 열고 있는 것도 주목할 만하다. 캘리포니아주가 LA-SF 연결 고속철도 계획을 발표하자, 일론 머스크는 2시간 30분 소요되는 고속철도 보다 빠른 30분만에 주파(시속 1200Km) 가능한 Hyperloop 컨셉을 제안한다. 이를 증명하기 위하여 SpaceX Pod 경진대회는 객차 디자인 심사와 시제품 성능심사라는 두 단계로 나누어 디자인 심사에 통과한 팀에 성능심사에 필요한 시제품 제작을 지원하는 상금을 주는 방식으로 진



행하고 있다.



출처: 익스프라이즈

마. 4차 산업혁명 시대, 문샷싱킹의 R&D 방식 필요

올해 가장 큰 화두는 4차 산업혁명일 것이다. 인터스트리 4.0이라 하기도 하고, 본격적인 디지털혁명이 시작되었다고 하기도 한다. 4차 산업혁명의 특징은 인공지능과 로봇이라기보다는 이러한 기술들을 바탕으로 가상 세계와 현실 세계가 통합되는 CPS(Cyber-Physical System) 또는 O2O(Online to Offline)라고 할 수 있다. 즉 3차 산업혁명을 기반으로 한 디지털과 바이오산업, 물리학 등의 경계를 융합하는 기술 혁명이다. 이는 기존과 다른 새로운 개념의 제품과 서비스가 등장한다는 것이고, 이를 가능하게 하는 기술 또한 기존의 패러다임을 뛰어넘는 다양한 기술적 도전이 필요하다는 것을 의미한다.

구글의 창업자 래리 페이지는 구글 임직원들에게 다음 단계는 이전 단계보다 10%가 아니라 10배 더 훌륭해야 한다며 '달에 로켓을 쏘아 올리겠다'는 목표로 기술적 한계에 도전하라고 '문샷싱킹(Moonshot Thinking)'을 강조한다고 한다. 패러다임 전환기에 새로운 발상, 새로운 도전이 필요하다. 새로운 개념의 시도를 촉진하고 다양한 아이디어가 경쟁하도록 하는 방식으로서 상금을 건 기술경진대회는 효과적인 R&D 전략이라고 할 수 있다. 기존에 없던 새로운 기술의 창조, 기존의 방식을 뒤엎는 파괴적 혁신, 새로운 젊은 세대에게 도전의 기회를 제공하는 다양한 기술경진대회가 한국에서도 등장하기를 기대한다.



6. 도시-시산학의 혁신체제를 제안한다

가. 미국 군산학의 두 얼굴, 혁신과 전쟁

스탈린이 집권하면서 소련은 대대적인 중화학공업의 육성과 과학자 양성계획을 추진한다. 그 결과 1957년 소련은 미국보다 먼저 우주를 향해 스푸트니크 위성을 쏘아 올렸다. 미국은 발각 뒤집혔다. 2차 세계대전을 끝낸 원자폭탄을 위성 발사체에 탑재하면 미국 본토가 핵전쟁의 전쟁터가 될 수 있게 된 것이다. 위기를 느낀 미국은 바로 다음해 군과 민간의 과학기술 역량을 결집한 미항공우주국(NASA)과 방위고등연구계획국(DARPA)을 설립했다.

NASA에는 소련보다 먼저 달에 우주인을 보낸다는 미션을, DARPA에는 앞으로 있을 수 있는 기술적 충격을 미연에 방지하고 예상되는 도전에 미리 준비할 수 있는 국방과학기술을 개발하는 미션이 주어졌다. 이 양 기관은 동전의 양면과 같은 기관이었다. 이미 주어진 거대 미션을 빨리 수행할 수 있도록 총력을 기울이도록 하는 거대 조직과 앞으로 있을 수 있는 미지의 과제를 발굴하고 민첩하게 대응할 수 있는 작고 유연한 조직이라는 2개의 다른 성격의 조직을 동시에 출범시킨 것이다. 이후 NASA, DARPA에 막대한 예산이 투입됐고, 지금도 미국 국가 연구개발(R&D) 예산의 50%가 넘게 국방 R&D에 투입되고 있다. 최근 기준으로 국방에 766억달러, NASA에 120억달러, DARPA에 29억달러를 R&D에 투자하고 있다.

NASA와 DARPA 설립을 승인했지만, 아이젠하워 대통령은 퇴임 연설에서 군산복합체가 가져올 어두운 미래에 대해 우려를 표명했다. 우려는 현실로 나타났다. 군산복합체가 탄생했고 미국은 20세기 수많은 국제 분쟁과 전쟁의 주역이 됐다. 연구소에서 개발된 첨단 장비와 무기가 많은 전쟁에 투입됐고, 군수산업체의 수요를 위해 전쟁을 일으킨다는 비난이 대두됐다.

그러나 이는 또 다른 얼굴이 있었다. 대학과 기업체 연구소 등에 지원된 국방 R&D 투자는 세계적인 신기술을 탄생시켰다. 신기술 개발에 참여한 연구원들이 벤처기업 등을 설립하고, 기술이 민간에 이전되면서 신경제를 선도했다. 국방R&D→신기술 탄생→민간 이용→신산업 탄생이라는 선순환 구조가 탄생한 것이다. 이는 소련이 가지지 못한 구조였으며, 결국 소련은 과도한 국방비 경쟁으로 몰락했지만, 미국은 군산학으로 신경제의 기반을 만드는 시스템의 우위를 확보했다.

나. 미국 국방 R&D가 가져온 신기술과 민간산업 육성이라는 선순환 구조

많은 국방 R&D의 성과는 연구원 없는 연구조직이라는 DARPA에서 나왔다. '앞으로 예상되는 문제를 발굴하고, 이에 대한 기술적 해결책을 찾아라'라는 임무를 부여받은 DARPA는 획기적인 발상으로 세상을 바꿀 기술을 개발하는 놀라운 성과를 냈다.



핵전쟁에도 끊어지지 않는 통신망 연구에서 인터넷이 탄생했다. 내비게이션에 쓰이는 위치추적시스템(GPS)을 개발했다. 무인자동차, 드론, 스텔스 전투기 등이 탄생했다. 애플의 시리(지능형 개인 비서)와 같은 인공지능 기술이 국방 R&D에서 민간으로 넘어가는 구조를 만들었다. 같은 기술이 군에서도 쓰이고 민간에서도 쓰일 수 있도록 스피노프(spin-off)를 지원했다.

무모한 달착륙 경쟁으로 예산을 낭비하고 있다는 비난을 받았던 NASA는 1달러 예산을 들여 개발한 기술이 민간에 이전·파급되어 7~14달러의 경기 부양 효과를 냈다. 2000여건의 기술이 이전되어 1600건의 신제품이 탄생한다. 무선청소기, 나이키의 에어쿠션 운동화, 핸드폰용 카메라, 라식수술, 귀 체온계, 인공심장, 투명세라믹, 어군탐지기, 연기감지기, 공기정화기, 장거리 통신, 냉동 건조식품 등 헤아릴 수 없는 많은 제품이 NASA 기술에서 나왔다.

미국 군산학 시스템의 특징은 국방 R&D 투자가 기초연구→군에 적용(실용연구) 후 민간이양이라는 연구→기술→제품으로 쉽게 이어지는 순환 구조를 만들어 냈다. 이를 위한 미국의 법과 제도를 살펴보면 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 정부는 기초연구와 실용연구를 분리하고, 연계해 지원한다. 미국과학재단(NSF)은 작지만 장기적인 연구를 수행할 수 있도록 대학 등의 자율적인 기초연구를 집중 지원한다. DARPA는 대학 등의 기초연구 아이디어를 활용해 정부에서 사용할 수 있는 실용적인 문제해결 기술을 개발하기 위해 NSF의 3~10배에 달하는 매우 풍부한 연구비를 지원한다.

둘째, 정부에서 사용해본 실용연구 결과를 첨단 기업들에게 이전하거나 창업하게 한다. DARPA 같은 조직이 대학, 기업(산업), 정부를 연결해 주는 허브 역할을 한다.

셋째, 국방 등 정부 R&D 성과를 신속하게 민간에 이양되도록 법과 제도를 만들었다. 베이돌법(Bayh Dole Act, 1980)을 제정해 연방정부자금으로 개발된 특허는 개발을 담당한 대학, 연구소, 기업이 소유하도록 했다. 정부는 무상의 통상실시권을 가지고, 개발자가 소유권을 가지는 혁명적인 발상을 했다. 또한 연방기술이전법(FTTA, 1986)으로 모든 연방 연구자에게 기술이전을 의무화했다. 나아가 연구자가 이해 저촉이 없는 한 민간의 상용화 개발에 참가하는 것을 허용했다.

다. 한국은 R&D가 실용적 성과로 이어지지 않는 단절된 구조

한국 정부의 R&D 투자는 2015년 19조원으로 정부 총예산의 5.03%에 달하는 세계 최고 수준이다. 정부와 민간 R&D를 합쳐서도 GDP 대비 세계 1위(한국 4.36%, 일본 3.39%, 미국 2.77%, 중국 1.84%)다. 그런데 한국의 R&D 투자대비 성과는 OECD 국가 중 바닥권이다. 연구대비 사업화 성과로 인한 기술이전 수입은 저조하고, 기술무역 수지는 57억달러 적자로 OECD 최하위다. 반면 미국, 일본, 독일 등은 모두 기술무역이



흑자다.

연구개발비 대비 기술개발건수는 미국의 5배, 연구 성공률은 96%나 된다. 그러나 건당 기술료 수준은 미국의 10분의 1 수준이다. 특허와 논문은 늘었지만, 산업적 파급력이 없는 구조다. 즉 "그동안 우리는 작은 번트만 쳤다"라는 서울대 공대 백서 주장처럼 작은 성공위주, 안정 지향형 연구로 미래를 개척하는 데는 근본적인 한계를 보이고 있다. R&D가 신기술→신제품→신산업으로 이어지는 선순환 구조가 작동하지 않는 것이다.

한국의 R&D와 미국의 R&D가 근본적으로 다른 차이는 한국은 산업지원형 R&D(전체 예산 중 약 50%)를 하고 있고, 미국은 정부에서 필요한 R&D(전체 예산 중 국방 50%, 보건의료 20%)를 한다는데 있다. 미국은 혁신적인 과학기술을 개발, 활용해 국가를 보호하고 국민의 건강과 안전을 지키는데 집중하고 있다면, 한국은 산업을 지원하는 R&D에 집중하고 있다.

그런데 성과는 반대로 나타나고 있다. 산업을 지원한다는 한국은 산업지원 효과가 거의 없고, 국방과 보건에 집중하는 미국은 오히려 산업적 효과가 큰 아이러니를 보이고 있다. 추격형 경제에서는 산업지원형 R&D가 성과를 냈다면, 이제는 한계에 도달했다.

라. 미국은 국방-군산학, 한국은 도시-시산학에 도전해야 한다

국방기술은 매우 구체적인 과제를 해결해야 한다. 정확하고 빠르게 포탄의 탄도를 계산하기 위해서는 고성능의 컴퓨터가 필요하고, 미사일에 장착하기 위해서는 작고 견고한 반도체가 필요하다. 국방 R&D는 치열한 생사의 현장에서 사용해야 하는 실용성과 최고의 성능을 추구하는 특징이 있다. 미국은 군산학으로 이러한 과학기술 역량을 키우고, 이 역량이 산업계로 스며들어가는 선순환 구조를 만들었다.

한국은 R&D를 어떻게 혁신할 것인가? 국민의 안전과 보건, 삶의 질 향상에 집중해야 한다. 해결책 중에 하나는 도시-시산학(도시-산업-대학이 협력하는 혁신생태계)에서 찾을 수 있다. 국민의 삶의 질 향상이라는 국가의 임무는 도시라는 공간에서 구현되게 된다. 즉, 도시의 기능을 향상시키는 도시 R&D는 국민의 삶의 질 향상이라는 실용적인 성과와 직접적으로 연계되어 있다. 스마트 홈, 스마트 도시는 자원과 에너지를 절약하고, 환경과 삶의 질을 높일 수 있는 중요한 연구 영역이다.

4차 산업혁명이라는 패러다임 전환기를 맞이해 집과 도시가 근본적으로 변하고 있다. 산업화 시대를 넘어서 디지털사회로의 진화가 일어나면서 집과 도시의 성격이 변하기 시작했다. 대량생산 대량소비사회의 상징인 대도시가 소량 맞춤형생산과 소비의 시대에 경쟁력을 잃고 있다. 3D 프린터와 스마트공장은 생산과 유통의 경계를 허물고 있고, 공장이 도시 안으로 들어오고 있다. 무인자동차와 스마트 교통통제 시스템은 도



로의 모습과 교통 체계를 근본적으로 바꿀 것이다.

대도시의 화려한 백화점이 사라지고 편의점, 온라인 구매가 일반화되고 있다. 변화가에 위치했던 은행들이 사라지고 온라인과 스마트폰 뱅킹이 더 편리함을 주고 있다. 다양한 건강관리 디바이스가 등장하고, 원격진료가 가능해지고, 인공지능이 암 진단을 하는 등 병원이 변하고 있다. 교육과 학교도 하루가 다르게 변하고 있다. 지옥 같은 몇 시간을 낭비하는 출퇴근이 아니라 재택근무, 직장과 거주가 근접 또는 일치할 날이 얼마 남지 않았다. 이러한 변화로 도시가 다시 태어나고 있다.

이와 같은 도시의 변화에 주목하고 세계적인 기업들, 특히 IT 기업들이 미래도시 산업에 뛰어들기 시작했다. 구글의 지주회사인 알파벳은 좋은 미래도시 건설을 목표로 사이드워크랩(Sidewalk Labs)을 설립했다. 알파벳의 최고경영자(CEO) 래리 페이지는 주거비용, 교통, 에너지, 헬스케어 같은 도시 문제를 해결하기 위해 도시 인프라 전체를 향상시키겠다는 목표를 밝혔다. 21세기형 미래도시 건설사업에 도전장을 내민 것이다. 엘론 머스크(Elon Musk) 테슬라 최고경영자(CEO)도 "지구환경과 인류에게 덜 해로운 연료를 사용하는 지속가능한 교통수단을 실현하겠다는 계획에서 태양광 발전 등 지속가능한 주거 공간, 도시로 사업을 확대하고 있다. IBM, Cisco, 지멘스 등은 이미 오래 전부터 스마트도시와 에너지 절약 건물 등에 대한 투자를 확대해오고 있다.

도시산업은 미래 핵심 산업이다. 또한 도시산업 규모가 나날이 커지고 있다. 앞으로 전세계에서 40년간 20만명 규모의 도시가 1만3000개 이상 건설될 전망이다. 25억명이 도시로 나오게 된다. 중국은 30만명의 분당 신도시 규모의 도시를 매년 100개를 건설하고 있다. 에너지 절약형 도시, 디지털 기반의 스마트 홈, 스마트 도시, 미래의 산업에 적합한 클러스터 도시에 대한 요구가 증가하고 있다. 산업혁명 시대의 도시가 아닌 디지털시대의 도시 건설은 강력한 미래 산업이 될 수밖에 없다.

마. 세계를 선도할 도시-시산학 R&D에 도전하자

이 세상에 없던, 모든 사람이 그것 없이는 못사는 것을 발명할 때 세계 문명을 이끌어 나가는 것이다. 전기, 전구, 세탁기, 냉장고, 인터넷, 컴퓨터, 핸드폰 등 오늘날 우리가 사용하는 대부분의 것들을 미국이 발명했다. 그래서 미국이 세계를 주도하고 있다. 그리고 그 핵심에는 냉전시대의 군산학이 있으며, 미국의 혁신을 이끌어 왔다. 하지만 이제는 평화시대의 산업이 필요한 시대다. 삶의 문제를 구체적으로 해결하는 실용적인 도시-시산학 R&D를 상상해 보자.

현재 전세계적인 에너지 수요증가와 지구 온난화는 획기적인 에너지 절감 기술의 등장을 요구하고 있다. 효율이 높고 시공이 간편한 태양광 발전기술, 조광과 냉난방을 자동 조절해 전기를 줄이는 기술, 40년이 아니라 150년 살 수 있는 건축 기술 등 많은 기술이 개발돼야 한다.



건설과 운용비용을 줄이는 기술 향상도 필요하다. 100년전 엠파이어스테이트 빌딩은 조립식공법으로 19개월 만에 지어졌다. 포드는 자동차를 컨베이어에서 조립해 원가를 5분의 1로 줄이는 혁신을 이룩했다. 집과 건물의 건설비를 획기적으로 줄이는 공법, 도시 운영비를 절감하는 도시 ERP 등 앞으로 개발, 발명돼야 할 기술 등이 많다.

삶의 질을 높이는 스마트 홈과 도시 R&D는 국민의 삶의 질 향상과 미래 산업이라는 두 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있는 R&D다. 건강을 체크하고 생활 습관을 알려주는 변기, 침대 등 건강을 관리하는 가구와 스마트 홈, 교감하는 가구, 도시를 관리하는 인공지능 기술 등 스마트 홈, 스마트 도시 안에서는 손에 잡히는 수많은 기술과 제품들이 탄생할 수 있을 것이다.

바. 대한민국 도시-시산학 R&D에 성공하는 법

시산학으로 R&D 시스템을 혁신하기 위해서는 어떻게 해야 할까?

첫째, 대통령 직속으로 미래도시-스마트시티 위원회를 만들고, 국가의 전략산업, 핵심산업으로 육성하는 임무를 부여해야 한다.

둘째, 현재 스마트홈, 스마트시티 관련 R&D 예산은 물론이고, 많은 정부 각 부처 R&D 예산을 스마트홈, 스마트시티에 적용 가능한 프로젝트를 발굴하는데 집중하고, R&D 기획과 실행을 통제하는 컨트롤 타워를 만들어야 한다.

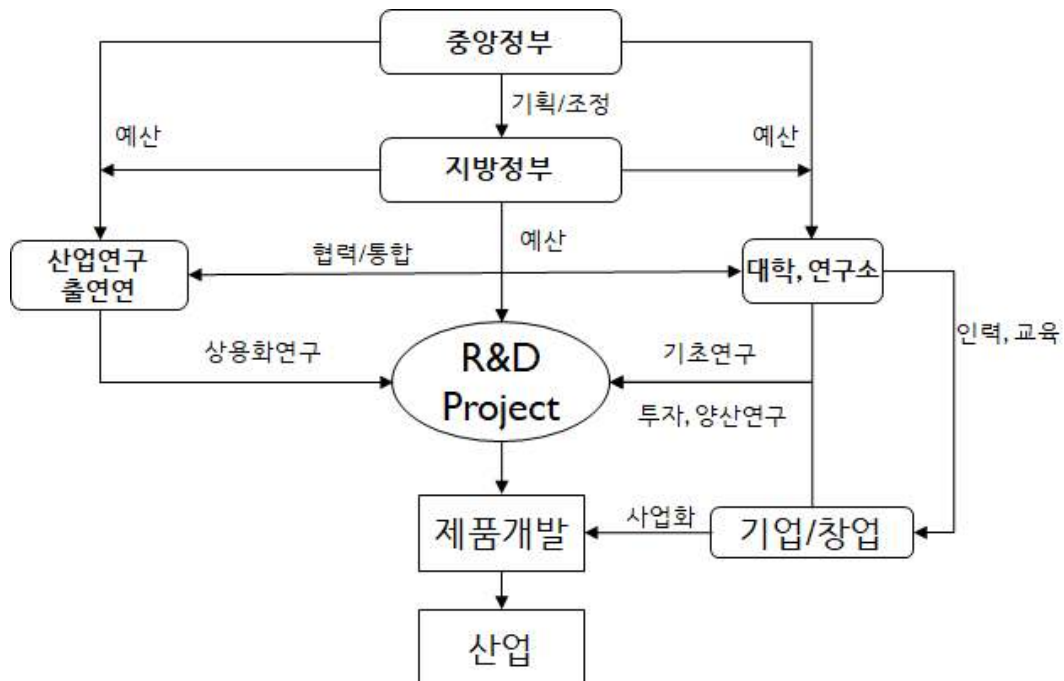
셋째, 컨트롤 타워는 국토부, 미래부, 출연연, 토지주택공사 등 정부와 공기업, 민간의 R&D를 체계적으로 연계하는 협력 구조를 만들어야 한다. 특히 민간과의 협력이 가장 중요하다. 마스터플랜에 대한 합의를 바탕으로 기관별, 단계별 핵심 부분에 집중하고, 영역별 진화가 일어나는 과정을 체크하고 조율해 나가야 한다. 스마트 홈과 시티로 연결되는 거대한 레고를 상상해 보자.

넷째, 시산학을 추진하는 지역 거버넌스를 구축하자. 시도정부를 중심으로 특화산업에 대한 종합계획을 수립하고, 지역의 대학과 공공 연구소가 지역 산업체들과 협력하는 구조를 만들어야 한다. 그러기 위해서는 시도정부가 대학과 공공연구소에 대한 예산 지원이 가능하도록 중앙정부의 재정권을 시도정부에 이양할 필요가 있다.

새로운 도전이 필요하다. 앞서가는 일본, 추격하는 중국을 바라보지 말고, 세계의 변화, 세상의 변화를 보면서 인류의 삶을 향상시킬 수 있는 것을 창조하자. 인간의 삶이 있는 집과 도시는 혁신의 시발점이고 대상이다.



<그림 6> 시산업 혁신시스템 체제



출처: 이명호



참고문헌

- DARPA (2015). Breakthrough Technologies for National Security, DARPA. 2013.3
- Darren McMahon (2013). “Special Forces” Innovation: How DARPA Attacks Problems. Harvard Business Review, 2013. 10
- KEIT (2016). 2017년 미국 정부 R&D 예산요구(안) 분석. 한국산업기술평가관리원, 2016
- KIAT (2015). 미국의 기술혁신 시스템 강화를 위한 개혁방향. 한국산업기술진흥원, 산업 기술정책 브리프, 2015-1호
- KIAT (2015). 유럽의 혁신역량 확충을 위한 이노베이션 공동체 추진현황. 한국산업기술진흥원, 산업기술정책 브리프, 2015-4호
- KISTEP (2015). 미국 정부의 FY 2016 R&D 예산요구안 분석. KISTEP 통계브리프, 2015년 5호
- N. Yorke-Smith et al. (2012). The Design Of A Proactive Personal Agent For Task Management. International Journal on Artificial Intelligence Tools Vol. 21, No. 1 (2012)
- NASA (2012). NASA’s Impact in the US: A Tech Transfer Perspective, NASA 2012.2.9.
- The Tuuri Group (2013). NASA Socio-Economic Impacts, 2013. 4
- 관계부처합동 (2015). 정부 R&D 혁신방안, 관계부처합동, 2015. 5. 13
- 김왕동 (2010). 미국의 변혁적 연구 동향과 관리체계-NSF, NIH, HHMI, DARPA 비교 분석. STEPI, 정책자료 2010-08
- 김자봉·김동환 (2010). 금융그룹의 매트릭스 조직에 관한 연구. 한국금융연구원. 2010
- 박승룡 (2013). ARPA의 마우스 개발 과정에서의 정부, 학계, 기업 역할. 기술과 경영, 2013.12
- 배영자 (2013). 1950년대 미국 과학기술정책과 ARPA. 기술과 경영, 2013.12
- 송치웅 (2013). DARPA의 주요 특성과 성과 그리고 K-ARPA 구축 제안. 기술과 경영, 2013.12
- 송치웅 외 (2013). 창의적 연구개발을 위한 K-ARPA 시스템 구축 방안, 정책연구 보고서, 과학기술정책연구원. 2013.
- 송치웅·이성호(2015). 창의적이고 도전적인 연구개발 시스템(K-ARPA) 구축 제안. Science & Technology Policy, 2015
- 이주호·김기완·홍성창 (2014). 고위험·고가치 연구 활성화를 위한 연구개발부문의 개혁의 제. KDI Focus, 통권 249호.
- 이태규 (2015). 핀란드 사례를 통한 중소기업 R&D 지원시스템 비교와 시사점. 한국경제



- 연구원, KERI 정책제언 15-04, 2015.5.15.
- 장용석 (2011). ARPA, DARPA, ARPA-E : 창의적 연구개발 모형. 과학기술정책연구원, 과학기술정책, 21권 3호.
- 장용석 (2013). 한국형 ARPA 구축의 주요 과제. 기술과 경영, 2013.12
- 정밀화학정책연구센터. DARPA의 기술혁신 접근 방법과 산업에서의 반영. 한국화학연구원 정밀화학정책연구센터.
- 조현대 외 (2008). 해외 주요국 공공연구시스템의 진화적 특징과 시사점. 과학기술정책연구원, 과학기술정책, 2008 MAR-APR
- 조항희 외 (2013). 과학기술기반 창조경제 구현을 위한 조사분석 연구-창의적 연구개발을 위한 K-APPA 시스템 구축방안. 과학기술정책연구원, 정책연구 2013-18
- 조항희·강희종 (2011). 국가 우주개발사업의 효율적 추진체계 개편방안. 과학기술정책연구원, 정책연구 2011-03
- 주독한국대사관본분관 (2013). 아이디어의 나라, 독일의 과학기술 정책 및 연구개발 추진 동향. 주독한국대사관본분관, 2013.10
- 진석용 (2013). 미국 혁신적 연구의 산실 DARPA. LG경제연구원, LG Business Insight 2013.7.31.
- 진석용 (2013). 혁신 연구 체제의 구축, DARPA로부터 배운다. 기술과 경영, 2013.12
- 황진영 외 (2005). 항공우주 기술파급효과 분석 및 산학연 협력방안수립 연구. 한국항공우주연구원, 2005. 12.

[기사]

- NASA 기상천외 우주여행기술. 사이언스타임즈 2016.05.23
- NASA 탄생 100년...우주에서 지상으로 내려온 1800개 꿈의 기술. 매일경제 2015.03.11
- NASA의 마술 같은 우주 모험과 기술. 시사IN 2008.8.5
- 나사의 우주 기술이 지구의 삶을 변화시킨 10가지 증거. 허핑턴포스트 2016.2.29.
- 美 항공우주국, 생활-의료기술도 첨단 달린다. 동아일보 2003.12.23.
- 벤처기업 같은 국가 연구조직 DARPA. 사이언스타임즈 2013.10.01.
- 브래지어 속에 든 NASA 기술. 한겨레신문 2007.3.7
- 생활 속에 깊이 파고든 나사의 첨단기술. 과학동아 2000.11.9.
- 생활 속으로 파고드는 우주기술. 동아사이언스 1998.10
- 우주 기술은 신상품의 寶庫. 조선일보 2008.3.7.
- 우주 화물운송·여행... 민간 개방으로 '우주산업 新 르네상스'. 조선일보 2016.6.13.
- 우주기술 스핀오프(Spinoff), 전자신문, 2016.7.9.



우주서 쓰던 NASA 특허 56개 풀렸다. 매일경제 2016.5.10

[홈페이지]

<http://lboon.daum.net/mk/patent>

<http://aerofreak2017.tistory.com/34>

<http://aerofreak2017.tistory.com/35>

<http://ayrton94.egloos.com/670244>

<http://smartincome.tistory.com/261>

<http://smartincome.tistory.com/763>

<http://www.greatbusinessschools.org/nasa/>

<http://www.pmi.org/learning/articles/nasa.aspx>

<https://www.darpa.mil/>

<https://www.nasa.gov/>

<https://www.xprize.org/>