

었다. 역사 속의 다른 무수한 기술 시스템들은 정체의 단계에 도달했다가 쇠퇴기에 접어들었다.<sup>28)</sup> 예를 들어 19세기에는 운하 시스템과 가스등 시스템이 정체와 쇠퇴를 경험하였다. 기술사학자들과 기술사회학자들은 기술 시스템의 역사에서 그런 측면에도 적용가능한 유형과 개념들을 탐구해야 할 것이다.

28) Virginia Polytechnic Institute and State University의 히르쉬(Richard Hirsch)는 나에게 제2차 세계대전 이후에 전력산업이 '정체'(stasis)를 보이고 있다고 지적하였다. 그는 이러한 개념을 미출판 논문인 "Myths, Managers, and Megawatts: Technological Stasis and Transformation in the Electric Power Industry"에서 탐구한 바 있다.

## 미사일의 정확도에 대한 기술 시스템 접근 기술변화의 사회적 과정에 관한 사례연구

도날드 맥켄지

전략 미사일의 정확도 증가는 기술개발 과정에 관한 중요한 사례중의 하나에 해당한다. 최근에 실시된 일련의 비행 테스트에서, MX/Peacekeeper 미사일은 히로시마에 투척된 원자탄보다 훨씬 강력한 핵탄두 10기를 장착하고 8000km 이상을 비행하여 목표물을 100m 이내의 오차로 명중시킬 수 있는 능력을 보여 주었다.<sup>1)</sup> 이에 대응하는 소련의 무기가 과연 존재하느냐 하는 문제는 계속해서 논란의 대상이 되어 왔지만,<sup>2)</sup> 소련이 미국의 지상 발사 미사일을 먼저 공격할지도

\* 출처: Thomas P. Hughes, "The Evolution of Large Technological Systems", Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor J. Pinch, eds., *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987), pp. 51-82.

- 1) 예를 들어 Robinson(1984), p. 17을 보라. 정확도의 수치는 주어진 것이 아니라 실험실 테스트, 시험 폭발, 이론적 모델 구축, 수학적 분석을 포함하는 복잡한 과정의 산물이다. 이러한 결과물이 어느 정도만큼 미사일에 대한 '사실'에 해당하는지는 논쟁의 여지가 있는 문제이다. MacKenzie(1989), pp. 409-436과 각주 21)을 보라.
- 2) Keller(1985)는 소련 SS-19 미사일에 대한 Defense Intelligence Agency와 Central Intelligence Agency 사이의 논쟁을 검토하고 있다. DIA는 원형 오차를 325야드로 평가하는 반면 CIA는 425야드로 간주한다. 이러한 수치들은 미국 미사일 Minuteman III의 성능에 훨씬 미치지 못하지만 SS-19와 '무거운' SS-18은 더욱 막강한 파괴력을 가진 채

모른다는 불안감이 최근의 미국 정치권에서 대두하는 것을 막지는 못했다. 1960년대 말과 1970년대에 많은 사람들이 소망했던 안정적인 핵군축의 세계는 망상에 불과했던 것처럼 보인다. 우리는 핵무기를 먼저 발사하는 것이 이익이 될지도 모른다는 두려움 — 몇몇 사람들에게는 희망이겠지만 — 을 안고 21세기로 향하고 있다.<sup>3)</sup> 미사일의 정확도가 증가한 것, 그리고 이에 따라 적국의 미사일 격납고나 지휘 통제센터를 파괴할 수 있는 능력이 증가한 것은 이러한 상황을 빚어 낸 결정적인 요인으로 작용하고 있다.

이 논문에서는 탄도 미사일의 고도의 정확도를 가능하게 했던 기술 개발의 과정을 탐구한다. 나는 기술개발의 과정이 조직적, 정치적, 경제적인 문제들과 분리되어 다루어질 수 없다는 것을 이 논문의 전제로 삼고 있다.<sup>4)</sup> 이것은 미사일의 정확도 문제와 관련된 논쟁을 불러 일으킬 수 있다. 지금까지 많은 연구자들은 미사일의 정확도 증가 자체에는 특별히 설명할 만한 것이 없으며, 특히 사회적인 것은 없다고 가정해 왔다.<sup>5)</sup> 나는 이렇게 단순화된 기술결정론적 견해를 수용할 수

진입 차를 운반한다는 점을 명심해야 한다.

- 3) Gray는 “극한 상황에서는 미국이 소련의 영토를 고려하여 중앙 핵 배치를 위협할 수 있어야 한다”고 썼다(Gray, 1982, p. 63). 그는 여섯가지 프로그램의 성공을 신뢰할만한 위협에 핵심적인 것으로 간주한다. 나의 초점인 ‘공관한 목표에 대한 선제공격’을 비롯하여 ‘전략적 대잠수함 전쟁’, ‘탄도 미사일 방어의 몇가지 수준’, ‘북미 대륙의 방공(防空)’, ‘민간 방어와 산업적 단련’, ‘사회적 생존과 회복의 확고한 준비’가 여기에 포함된다. Gray가 요청하고 있는 것이 이러한 능력들임에 주목하라. 나는 그가 이러한 프로그램이 실제로 사용되는 것을 원한다고 생각하지 않는다.
- 4) 여기서 나의 초점은 거의 미국의 미사일에만 한정되어 있다. 소련의 미사일 유도 기술의 경우에는 공개된 기술적 정보가 극히 적고 그것을 제작했던 기관의 구조도 명확하지 않다. 서구의 지식인들은 소련 미사일의 원형 오차에 대한 가능한 수치를 상대적으로 잘 알고 있고 유도 문제에 대한 소련의 간행물도 활용할 수 있지만, 그러한 자료가 소련의 미사일에 실제로 사용되는 유도 기술을 보여주지는 않는다. 소련 미사일에 대하여 서구 사회가 지식을 획득하는 방법에 대해서는 Moncrief(1979)를 보라. 소련의 ICBM 개발과 관련해서는 Holloway(1977, 1982)이 최상의 자료이며, Berman and Baker(1982)도 참조할 만하다. 전역(戰域) 미사일에 대해서는 Meyer(1983-1984)를 보라.
- 5) 이러한 점은 Schroeder(1985)에 명확하게 설명되어 있다. Shapley(1978)는 기술결정론의 경향을 띠고 있지만 매우 유용한 정보를 담고 있다.

없다. 왜냐하면 미사일의 정확도가 변화하는 과정에는(군부나 민간 항공회사와 같은) 기술적 주체들의 활동이 개입되기 때문이다. 이러한 주체들은 기술혁신을 상당히 중요시했지만, 그렇다고 해서 그들이 반드시 궁극적인 정확도를 추구한 것은 아니었다.<sup>6)</sup>

### 기술 시스템적 접근

복잡한 문제에 어느 정도의 질서를 부여하기 위하여 나는 토머스 휴즈(Thomas P. Hughes)에 의해 개발된 기술 시스템적 접근을 사용할 것이다(Hughes, 1983; 1987). 나는 기술 시스템적 접근이 다음의 세 가지 관련된 이유 때문에 유용하다고 생각한다. 우선 휴즈는 기술적 문제와 사회적 문제를 분리하여 다루는 것을 단호하게 거부한다. 그는 1983년에 출간된 『동력의 네트워크(Networks of Power)』에서 전기 급 시스템의 성장을 다루면서 성공적인 시스템 구축가들이 기술적 문제(예를 들어 전등의 필라멘트를 고안하는 것), 경제적 문제(기존의 가스 공급회사들과 가격 면에서 경쟁을 벌이는 것), 정치적 문제(전기 공급의 발전을 가능하게 하는 각종 입법을 성취하는 것)를 동시에 해결해야 했음을 보여 주고 있다. 에디슨의 전등이나 골라드 - 깁스(Gaulard-Gibbs)의 변압기 같은 발명품들의 설계에는 시스템 구축가들이 작업했던(경제적, 정치적 문제를 포함한) 주변환경의 흔적이 각인되어 있는 것이다.

- 6) 과도한 일반화의 위험을 무릅쓰다면 20년 동안 동일한 정확도의 표준이 굳림해 왔다. 즉 항공기 관성 시스템은 1시간 비행에 1마일 정도의 오차를 가져야 한다는 것이다. 그것은 점점 가볍고 작아지고 믿음만하고 생산 가능해지고 저렴해졌지만 정확도가 크게 향상되지는 않았다. 시간당 1마일이라는 정확도 기준의 문제점에 대해서는 Crosstalk (1980), item 13을 보라.

두번째로 휴즈는 미시적인 것과 거시적인 것 (예를 들어 특정한 실험실에서의 우선순위 문제와 국가의 경제적인 상황) 사이의 절대적인 구분 역시 거부한다. 그는 군사 용어를 유추적으로 사용하여 미시적인 것과 거시적인 것의 핵심적인 연결고리로 ‘역돌출부’와 ‘결정적 문제’(critical problem)라는 개념을 제안하였다. 역돌출부는 시스템의 성장을 지연시키는 지점을 뜻하는 것으로서, 적군이 전선(戰線)에서 전체적으로 밀리고 있음에도 불구하고 특정한 지점에서는 굴복하지 않으려는 상황에 비유될 수 있다. 시스템 구축자들은, 장군들이 주요 병력을 역돌출부에 집결시키듯이, 자신의 노력을 역돌출부를 제거하는데 집중시킨다. 즉 그들은 결정적 문제를 파악하고 해결함으로써 역돌출부를 제거한다. 예컨대 에디슨은, 자신의 시스템에서 결정적인 역돌출부였던 “구리 도선의 높은 가격과 이로 인한 가스등과의 가격 경쟁력 약화”를 “고저항 (저전류) 전구 필라멘트의 발명”이라는 실험실에서의 결정 문제로 변환하였다.

그러나 이러한 변환이 항상 거시적인 것에서 미시적인 것으로만 이루어지지는 않는다. 미시적인 문제 역시 거시적인 문제로 변환될 수 있다. 시스템 구축자들은 전등과 같은 실험실 내부의 탐구 대상이 국가 전체로 전파될 수 있도록 사회적 환경을 변화시킨다. 여기에 휴즈의 접근법이 갖는 세번째 장점이 있다. 즉 성공적인 시스템 구축자들은 시스템과 주변환경 사이에 엄격한 경계를 두지 않는다는 것이다. 그들은 시스템이 용이하게 발전할 수 있도록 주변환경의 틀을 짜려고 지속적으로 노력하며, (종종 전기 공급회사가 규제 기관을 역으로 통제하여 자신을 보호했던 것에서 볼 수 있듯이) 기존의 주변환경을 시스템 내부에 용해시킨다.

휴즈의 시스템적 접근을 이러한 방식으로 해석함에 있어서 나는 미셸 칼롱, 브루노 라투어, 존 로의 영향을 받았다(Callon, 1987; Latour, 1983; 1984; Law, 1987). 그들의 관점은 사회적 문제/기술적 문제, 거

시적인 것/미시적인 것, 시스템/주변환경 사이의 엄격한 경계에 대한 휴즈의 암묵적인 거부를 더욱 분명한 것으로 만든다. 시스템이나 네트워크는 단순하게 주어진 어떤 것으로, 다시 말해서(마치 과거의 사회학에서 사용되었던 시스템적 접근에서 볼 수 있듯이) 의문의 여지가 없는 것으로 간주될 수 없다. 시스템이 항상 안정된 것은 아니다. 시스템은 일종의 구성물로서 적절한 조건이 존재하는 경우에만 유지될 수 있다. 시스템이 구성요소들로 갑자기 분해될 가능성은 언제나 존재한다. 행위자들은 시스템을 창출하고 유지하며, 그것이 실패할 때 시스템은 소멸한다. 시스템의 안정성은 잠재적으로 존재하는 적대적인 세력에 직면하여 종종 매우 불확실한 성취로 그치고 만다.

역돌출부를 관련 행위자들과 독립적으로 존재하는, 주어진 어떤 것으로 보는 견해 역시 옳지 않다. 발전을 가로막는 것, 즉 역돌출부가 무엇인지에 대한 동의는 무엇을 성취하려 하는가에 대한 동의를 전제로 한다. 나중에 살펴보겠지만, 무엇이 성취인가에 대한 동의는 자명하게 이루어지지 않는다. 더욱 흥미로운 것은, 목표에 대해서는 서로 간에 동의가 이루어졌다고 믿는 사람들조차도 종종 목표의 성취를 가로막는 것이 정확히 무엇인가에 대해서 의견을 달리한다는 점이다. 현명하게도 휴즈는 병목 현상과 같은 기계적인 은유 대신에, 불가피한 혼란, 유동성, 전장(戰場)에 대한 부분적 정보 등의 의미를 함축하고 있는 ‘역돌출부’라는 용어를 선택하였다. 이처럼 기발한 지체를 활용함으로써 그는 기술개발의 장벽이 가지는 본질에 대한 논란을 잠시나마 잠재울 수 있었다. 매우 합리적인 사람들이 동일한 여건에서 어떤 기술적 (혹은 군사적) 사실을 조사한 경우에도 의견은 종종 일치되지 않는다. 만일 그들이 의견을 같이한다면, 그것은 그들에게 던져진 상황의 효과에서 기인하기도 하지만, 그에 못지않게 그들이 상황 속으로 가지고 들어온 것 — 예를 들어 그들이 받은 교육, 그들이 지니고 있는 가정, 상황에 대한 이해관계 — 에서 비롯된다고 볼 수 있다.

원인-결과의 방향이 항상 역돌출부에서 결정적 문제로 향하지는 않는다. 결정적인 것으로 인정된 문제를 풀이하는 직업은 (그것이 재정적인 것이든 직업적 지위에 관한 것이든) 상당한 보상에 대한 기대를 수반한다. 따라서 자신이 풀어낼 수 있는 문제를 결정적인 것으로 파악하고, 역돌출부를 자신이 제거할 수 있는 특정한 장벽으로 간주하려는 자연스러운 경향이 존재한다. “문제를 찾다가 해답을 발견한다”는 말은 매우 상투적으로 들리지만 기술변화의 중요한 측면을 정확히 표현하고 있다. 만약 문제를 풀이하는 것에 대하여 어떤 보상이 주어진다면, 그리고 각 집단이 상이한 유형의 문제를 풀이하는 데 다른 능력을 가지고 있다면, 어떤 문제가 우선적으로 해답을 요구하는지에 대한 논쟁이 생기는 것은 충분히 예상할 수 있는 일이다. 명백한 예를 들자면, 기술자들과 회계사들이 훌륭하게 풀어낼 수 있는 문제의 유형에는 상당한 차이가 있다. 그들은 특정한 기업의 성장을 가로막는 역돌출부가 그 본질에 있어서 재정적인 것인지 혹은 기술적인 것인지에 대하여 종종 의견을 같이 하지 않는다. 이와 유사하게 서로 다른 숙련과 경험을 가진 기술자들은 기술적인 역돌출부가 하드웨어적인 것인지 소프트웨어적인 것인지에 대해 의견을 달리할 수 있다.

게다가 무엇이 ‘가능한’ 것인가에 대한 문제가 생긴다. 시스템의 발전을 지연시키는 것은 창의적인 노력을 투여할 가치가 있는 역돌출부인가, 아니면 단순히 처리하기 곤란한 자연적 한계일 뿐인가? 여기에서도 역시 불일치의 가능성이 있다. 나중에 살펴보겠지만, 현재 주로 사용되고 있는 항공기나 미사일의 유도 기술은, 그것의 개발에 관여했던 몇몇 사람들에게는 물리적으로 불가능한 것으로 간주되었다. 과학사와 과학사회학의 연구성과를 통하여 우리는, 세계의 진정한 본질에 대한 상이한 믿음들이 존재했으며, 종종 그것이 사회적으로 유형화되는 방식에도 차이가 있었다는 점을 알고 있다. 이러한 점은 기술변화의 형태에도 직접적으로 적용될 수 있다.

이것은 기술의 역사적·사회학적 분석에 관한 문제만은 아니다. 나는 유도 기술자들과의 인터뷰에서 몇몇 사람들이 (다른 용어를 사용하긴 했지만) 유사한 생각을 표현하는 것을 보았다.<sup>7)</sup> 흥미로운 것은, 그들이 이러한 문제를 얼마나 잘 표현하느냐 하는 것과 그들이 사회적으로 얼마나 성공했는가 하는 것 사이에 어떤 상관관계가 존재한다는 점이다. 여기에 아이러니가 발생한다. 기술자들은 사회학이나 여타의 사회과학을 공부할 시간을 거의 가지지 못한다. 그러나 성공한 기술자들은, 기술적인 업적을 성공적으로 달성하기 위해서는 급속이나 방정식을 잘 다루는 것 이상의 뭔가를 해야 한다고 생각한다. 기술적인 성취는 동시에 사회적이고, 경제적이며, 정치적인 성취이기도 한 것이다. 존 로의 용어를 빌자면, 성공적인 기술 활동은 ‘이질적 공학(heterogeneous engineering)’이다(Law, 1987). 물론 어떤 경우에는 기술자들이 인간적인 문제나 조직상의 협력에 제약당하는 것을 잊어버리고 급속과 방정식만으로 시스템을 창출하려고 시도하기도 한다. 그런데 이러한 기술자들은 종종 그들의 동료들이 “X가 뭔가 훌륭한 것을 만들었는데, 어찌된 일인지 아무런 주목을 못 받았어. 아무도 그것에 관심을 보이지 않더군”하고 소근거리는 대상이 되고 만다. “우리가 중력은 자유자재로 다룰 수 있지만 지긋지긋한 문서처리에는 손들었다”는 베르너 폰 브라운의 이미 고전이 되어버린 불평이 잘 보여주듯이, 다른 기술자들은 이질적 공학의 필요성을 충분히 인식하고 있지만 그것을 귀찮게 여긴다(Levine, 1982). 하지만 기술자들이 어떤 태도를 취하는가에 상관없이, 공학의 이질성은 이미 기술활동에서 불가피한 일부분이 되어 버렸다. 그러나 이질성에 초점을 둔다고 해서 기술의 사회적 연구가 ‘기술자의 사회적 책임’에 대한 (하찮은 것은 아니지만) 오래되고 모호한 논쟁에 직접적으로 기여하지는 않는다. 기술의 사회적

7) 이러한 점을 지적한 간행물로는 Copland(1981)이 있지만, 그것은 공식적인 논문이라기 보다는 단찬 후의 연설에 가깝다.

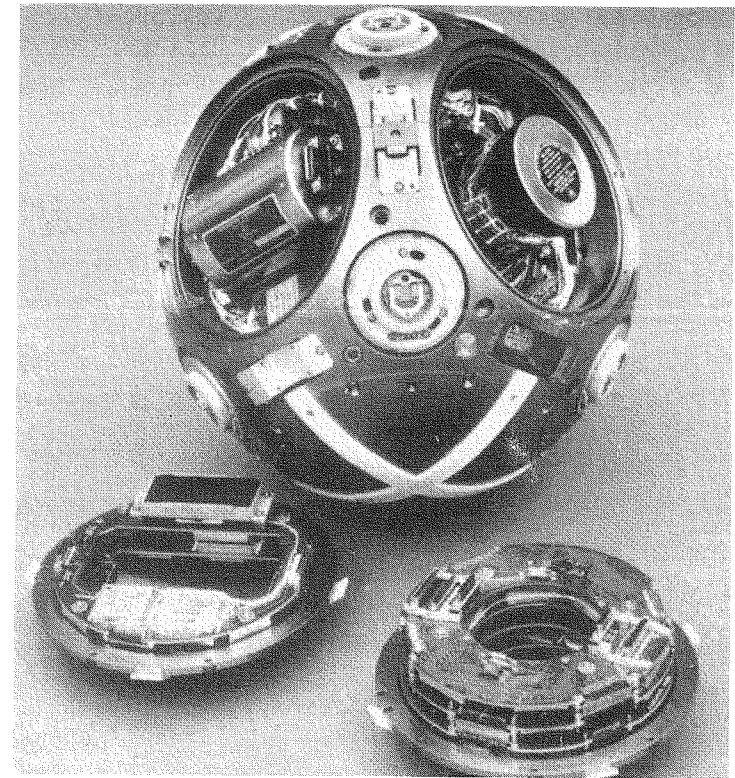
연구의 일차적인 목적은 성공적으로 간주되는 기술 활동을 결정하는 요인들을 탐구하는 데 있다.

### 미사일 유도에 대한 기술 시스템적 시각

매우 단순화된 수준에서는 시스템적 접근을 미사일 유도에 적용한다는 것이 불합리하게 보인다. 미사일 유도의 지배적인 형태는 ‘자기 충족적’이기 때문이다. 잘 알려진 바와 같이 관성 유도는 다른 유도 및 항행(航行)의 형태가 전형적으로 요구하는 외부의 입력에 의존하지 않는다. 예컨대 관성 유도 시스템에서는 현재의 위치를 측정하기 위한 천체 관측이 불필요한데, 이에 따라 “천문학을 벽장 속으로”라는 어구가 초기의 관성 항행 장치를 묘사하는 데 널리 사용되었다. 관성 유도 및 항행은 (미사일, 비행기, 잠수함 등의) 항행체 내에 탑재된 ‘관성 측정 장치’가 감지하는 가속도의 측정에 의해 가능해진다. 통상적인 관성 측정 장치는 서로 수직을 이루고 있는 세개의 가속변계(加速變計)를 포함한다. 그것은 일련의 자이로스코프와 피드백 제어에 의해 (항행체의 요동이나 방향전환에 무관하게) 특정한 방위를 유지하고 있는 ‘안정된 지지대’ 위에 설치되어 있다.<sup>8)</sup> MX/Peacekeeper 미사일의 ‘선진 관성 준거 시스템’(AIRS: Advanced Inertial Reference System)은 복잡한 관성 측정 장치의 일종이다(<그림 1>을 보라).

이러한 방식으로 관성 측정 장치는 감지되는 가속도를 측정하며 그것은 자이로스코프를 통하여 특정한 준거틀에 대한 값으로 표시될 수

8) 몇몇 시스템에서는 가속변계와 자이로스코프가 차량에 단순히 고정되어 있고, 배선반 컴퓨터가 자이로스코프에 의해 감지된 차량의 변화에 따라 가속변계의 방향이 바뀐다는 사실을 설명하도록 프로그램되어 있다.



<그림 1> 두 반조립제품을 제거하면 제3세대 자이로스코프가 보인다(왼쪽). 세 가속변계 중의 하나인 특정한 힘을 통합하는 수신기도 보이고 있다(오른쪽). 사진은 노드롭사 전자부가 제공하였음.

있다. 한편 항행체에 탑재된 컴퓨터(초기 시스템에서는 아날로그 방식이었지만 지금은 강력한 디지털 방식으로 바뀌었다)는 지구 자기계의 변화된 값을 보정한다. 컴퓨터는 측정된 가속도값으로 항행체의 속도를 얻어내며 알려진 초기값을 통하여 항행체의 위치를 알아낸다.<sup>9)</sup> 그 결과 시스템은 비행기 항행의 경우에 항행체의 위치에 대한 간단한

9) 특히 초기 시스템에서는 몇몇 수학적 기능이 독립적인 컴퓨터보다는 하드웨어에서 직접 실행되었다. 관성 유도에 관한 더욱 상세한 설명은 Hoag(1971)을 참조하라.

출력을 제공하고, 미사일 유도에는 항행체가 주어진 목표물로 향하는 데 필요한 보정값을 계산한다.

관성 유도를 보조하기 위해 추가적인 정보가 제공될 수도 있다. 최근의 순항 미사일은 컴퓨터에 저장된 '지도'와 비교할 수 있는 입력을 만들어 내기 위하여 레이다 고도계를 사용한다. 트리던트 I 미사일은 천체의 위치를 추가 입력으로 받아들이며, 트리던트 II 역시 같은 방식을 채택할 예정이다. 하지만 반복하건대, 아무런 보조장치가 없는 관성유도는 그 자체로 자기충족적이다. 이러한 점은 판매상의 이점으로 기능해 왔으나(그것은 악천후나 적군의 전파방해 등에 영향을 받지 않는다), 나중에 살펴보겠지만 기술적 현실화를 어렵게 하는 요소로도 작용하였다.

이러한 의미에서 미사일 유도는 휴즈가 연구했던 전기 공급 시스템과 상당히 다르다. 오히려 (한때 관성 항행의 경쟁대상이었던) 지상 중계소나 인공위성의 무선 신호 수신에 의존하는 다양한 전파 항행 시스템들이 전기 공급 시스템과 유사할 것이다. 전파 항행 시스템은, 구성요소들간의 상호연결이 송전선이 아닌 전자기 복사에 의존하고 있지만, 전기 공급 시스템과 마찬가지로 물리적 네트워크의 일종이다. 군부가 전파 항행 시스템에 강력하게 반대했던 것은 바로 이러한 이유 때문이었다. 또한 전파 항행에서는 전기 공급 네트워크의 경우처럼 지리적인 확산의 정도가 중요한 문제가 된다(반면 관성 시스템은 내부 프로그래밍에 의해 전세계를 포괄할 수 있기 때문에 지리적 확산이 문제되지 않는다). 그러나 우리가 두 가지 시스템의 사회적인 측면에 접근해 보면 이러한 유비관계는 깨지기 시작한다. 전파 항행의 기술적인 결과물은 사적 소유권으로 확립되기 어려우며, 이 문제는 무선 통신의 초기 개척자들을 계속 괴롭혀 왔다(Douglas, 1985, p. 130). 따라서 전파 항행은 경제적 측면에서 전기 설비와 다르며, 휴즈가 전기 공급에서의 부하 요소(load factor)와 결부시켰던 독특한 사회기술적 역동

성은 전파 항행의 가장 두드러진 시스템 기술에서도 존재하지 않는다.

하지만 만약에 우리가 시스템의 개념을 협소한 물리적인 의미로 한정한다면 그것은 매우 빈약한 것이 되고 만다. 시스템의 개념을 도입함으로써 우리는 주요한 문제를 이해하는 데 적어도 네 가지 방식의 도움을 얻을 수 있다. 먼저 그것은 우리에게 관성 유도의 작동이 자기충족적인 경우가 제한되어 있음을 일깨워 준다. 관성 유도 시스템이 제대로 작동하기 위해서는 미사일의 발사 위치, 목표물이 놓인 정확한 지점, 그리고 적어도 지구자기장의 상대적인 비율 등에 대한 지식을 필요로 한다. 이러한 형태의 시스템적 연결을 통하여 명백히 중립적인 과학의 일부분(특히 측지학과 지구물리학)이 핵심적인 군사적 중요성을 획득하게 되는 것이다. 저공으로 비행하는 순항 미사일의 출현으로 국소적 중력 이상(異常)에 대한 지식이 이전보다 훨씬 중요하게 된 것은 대표적인 예이다(한편 고도가 증가함에 따라 중력 이상의 영향이 급격히 감소되기 때문에 고공으로 비행하는 탄도 미사일의 경우에는 국소적 중력 이상이 미사일을 발사하는 지점 근처에서만 중요시된다). 나는 중력 이상의 군사적 중요성이 증가함에 따라 세계 중력장 지도(World Gravity Map)의 출판이 계속 미루어져야 했다는 말을 들은 바 있다.

두번째로 지적할 것은 관성 유도 역시 하나의 '시스템'이며 미사일의 정확도가 시스템의 산물이라는 점이다. 가속변계, 자이로스코프, 탑재된 컴퓨터, 중력장 지도, 측지학적인 자료, 탄두가 다시 대기권에 진입할 때 발생하는 사건은 정확도의 설정에 있어서 핵심적인 요소에 해당한다. 게다가 그것들의 전체적인 효과는 개개 요소들의 단순한 합과 동일하게 간주될 수 없다. 예를 들어 강력한 디지털 컴퓨터가 탑재됨으로써 자이로스코프에서 나타나는 오류의 예상가능한 형태는 수학적으로 모형화될 수 있었다. 이에 따라 오차 산출, 즉 각 부분의 정확도에 관한 기여도를 계산하는 것은 더 이상 각 부분이 최종 결과

에 독립적으로 기여하는 정도를 산술적으로 합하는 형태가 될 수 없었다.

이것은 단순히 기술적인 문제가 아니다. 왜냐하면 그것은 유도 기술의 제작과 관리를 담당하는 기관의 사회적 조직과 직접적으로 상호 작용하기 때문이다. 이처럼 복잡하고 값비싼 기술의 경우에는 분업의 편성이 불가피하다. 예를 들어 미 해군 미사일의 경우에는 전략 시스템 사업국(Strategic Systems Program Office)의 서로 다른 부서들이 미사일의 유도 시스템과 그것을 탑재하는 잠수함의 항행 시스템을 담당하고 있는 반면, MIT의 찰스 스타크 드레이퍼 연구소(Charles Stark Draper Laboratory)와 로크웰 인터내셔널(Rockwell International)의 자동제어 항해 시스템부(Autonetics Marine Systems Division)와 같은 독자적인 민간기업들이 설계를 맡고 있다. 그러나 트리던트 미사일의 항성 추적자(star tracker)가 잠수함 항행 시스템에 적용되어 오차를 수정하는 데 기여한다는 사실에서 알 수 있듯이 두 시스템은 상승 효과를 가지면서 미사일의 정확도에 기여하고 있다. 따라서 구성 조직들의 하위 목표와 책임 소재를 명확히 구분하는 것은 매우 어려운 사회적 문제에 해당한다.

이것은 미사일 유도에 대한 기술 시스템적 시각이 갖는 세번째 장점으로 이어진다. 즉 기술적 문제는 동시에 조직적이고 경제적이며 정치적인 문제인 것이다. 이러한 점은 미사일의 정확도와 같은 기술적 특성에 대한 기대치를 결정하는 과정에서 잘 드러난다. 정확도는 세부적인 설계를 결정하는 요소가 된다는 점에서 기술적이다. 하지만 그것에는 수많은 개인들의 경력뿐만 아니라 특정 기업이나 프로젝트 담당 부서, 심지어 군대의 관련 부서의 사활이 달려 있기 때문에 조직적인 문제가 포함된다. 대부분의 경우에 다양한 이해관계들은 서로 충돌한다. 기술자들과 그들이 주도권을 장악하고 있는 조직은 대체로 자신의 기술이 완전하게 활용되는 것을 추구하며, 기술의 선택에 필

요한 특정한 환경의 설정이 유발하는 결과를 알고 있다. 반면 프로젝트 관리자들은 혁신적인 기술에 지나치게 의존하는 것을 막고 너무 많은 것을 요구하는 제안을 거절하는 경향을 가지고 있다. 어떤 기술자는 “프로젝트 관리자의 경우에는 보수적인 사람과 해고되는 사람의 두 부류가 있다”고 나에게 말하였다. 결정을 내리기 위해서는 복잡한 계산이 행해져야 한다. 1960년대의 해군 함대 탄도 미사일 사업에서는 장기적인 관점에서 선제 핵공격이 가능한 미사일을 개발해 공군과 경쟁하는 것이 좋은지, 아니면 해군 미사일의 독특한 역할을 추구하는 것이 좋은지에 대한 결정이 중대한 사안으로 부상하였다. 결국 후자의 관점이 승리하였는데, 이에 따라 포세이돈(Poseidon) 미사일의 설계에는 정확도가 그렇게 높지 않은 비교적 작은 미사일을 대량으로 구비하는 특성이 반영되었다.

해군과 공군의 초기 미사일 사업에서는 경제적 요소가 중요하게 부각되지 않았다. 해군 함대의 탄도 미사일 사업에 관한 1955년의 메모에서 해군 작전 사령관이었던 알레이 버크(Arleigh Burke) 제독은 “우리가 더 많은 자금을 필요로 한다면 우리는 그것을 쉽게 얻을 수 있다”고 썼다(Burke, 1955, p. 6). 그러나 방위 산업이 통상적인 상업적 압력으로부터 상당히 자유로웠음에도 불구하고 내가 인터뷰했던 유도 기술자들은 기술적 결정이 동시에 경제적인 것이라는 사실을 잘 인식하고 있었다. 이러한 점은 소형 ICBM 미지트맨(Midgetman) 미사일에서 잘 드러난다. MX/Peacekeeper 미사일이 50~100기가 배치될 예정이었던 반면 미지트맨 미사일은 600기 정도가 계획되고 있어서, 미지트맨 미사일의 유도 시스템 설계 방식을 선택하는 과정에서는 경제적인 고려가 매우 중요한 위치를 차지하고 있었다.

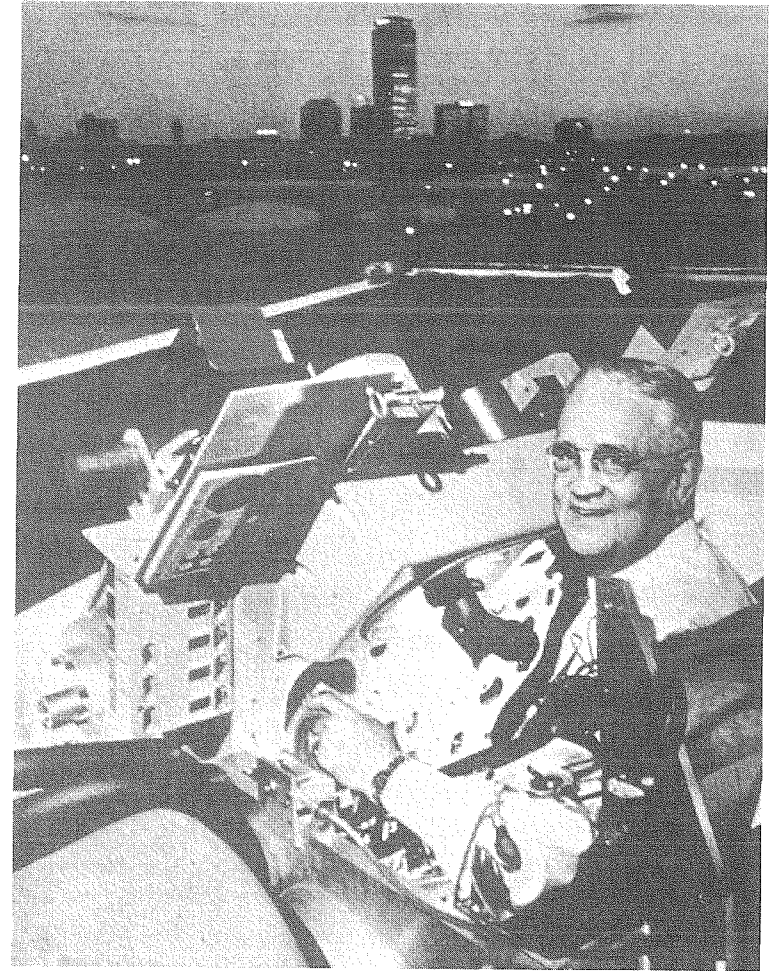
미사일의 정확도와 같은 설계 변수를 정하는 것은 정치적인 문제이기도 하다. 격납고 속에 있는 소련 미사일을 파괴할 수 있는 미국의 미사일을 설계할 수 있는가 하는 문제는 미국에서 첨예한 논쟁의 대상이

되어 왔고, 이 논쟁에서 미사일의 정확도는 결정적 문제로 부상하였다. 대체적으로 국방 문제의 강경파들은 그것이 가능하다고 주장하였고, 온건파들은 불가능하다고 주장하였다. 특히 1960년대 말에서 1970년대 중반에 걸쳐 브루크(Brooke) 상원의원과 맥인타이어(McIntyre) 상원의원에 의해 주도된 의회 로비 활동은 선제 핵공격의 가능성으로 이어지는 기술적 발전에 반대하였다. 이러한 활동의 효과를 정확히 평가하기는 어렵지만, 그 시기에 미사일 정확도의 향상을 추진했던 사람들이 그것을 위협으로 느꼈던 것은 사실이다. 게다가 이 논쟁은 군부내에서도 약간의 파장을 불러일으켰다. 적어도 국가정책이 모든 전략 미사일의 선제 핵공격 가능성을 추구하는 것으로 선회했던 1970년대 중반까지는 해군보다 공군이 선제 핵공격에 더욱 큰 열정을 가졌던 것으로 보인다.<sup>10)</sup>

이렇게 기술적인 것, 조직적인 것, 경제적인 것, 정치적인 것이 서로 얽혀 있다는 사실은 기술 시스템적 접근의 네번째 장점, 즉 이질적인 공학의 필요성에 대한 강조로 이어진다. 여기서 찰스 스타크 드레이퍼(Charles Stark Draper)라는 인물이 중요하게 부각된다(<그림 2>를 보라). 드레이퍼가 이끌었던 그룹이 관성 유도 및 항행을 탐구하는 유일한 집단은 아니었다. 중요한 초기 연구는 북미 항공(North America Aviation: 로크웰 인터내셔널의 전신)의 자동제어부와 베르너 폰 브라운(Werner Von Braun)과 함께 미국으로 건너온 일련의 독일인 유도 기술자들, 그리고(확실하지 않지만) 노드롭(Northrop)에 있던 기술자들 등에 의해서 이미 수행되었다.<sup>11)</sup> 드레이퍼가 다른 기술자들과 과학자

10) 이러한 판단은 나의 인터뷰 자료 및 Sapolsky(1972), Greenwood(1975), Rosenberg(1982), Kaplan(1984)와 같은 문헌들에 입각하고 있다.

11) 앞의 두 집단에 대해서는 Mueller(1960), Haussermann(1981), Slater(1966)을 보라. 하디(Hardy)는 1985년에 개인적인 서신왕래를 통하여 노드롭에서의 연구를 친절하게 알려 주었다. 이 시기의 노드롭 연구에서 역사적으로 중요한 측면은 Eckert와 Mauchy로부터 공수(空輸) 디지털 컴퓨터 BINAC을 주문했다는 점에서 찾을 수 있다. Stern(1981), pp. 116-136를 보라.



<그림 2> 계측 연구소의 지붕에 설치된 아폴로 사령선 시뮬레이터 속에 있는 찰스 스타크 드레이퍼. 뒤쪽으로는 찰스 강과 보스톤 빌딩이 보인다. 사진은 찰스 스타크 드레이퍼 연구소가 제공하였음.



들 사이에서 두드러질 수 있었던 것은 그의 이질적 공학 때문이었다. 그의 유일한 라이벌은 자동제어부의 존 무어(John R. Moore)였다.

종종 새로운 기술을 추진하는 과정에서 필수적인 역할을 담당하는 이질적 기술 활동은 그 기술이 필요하다는 느낌을 만들어낸다. 근본적으로 새로운 장치는 이미 존재하는 시장을 활용하지 않는다. 시장 자체가 구성되어야 하는 것이다.<sup>12)</sup> 그러나 제2차 세계대전이라는 당면한 상황에서 드레이퍼와 다른 개척자들이 직면했던 문제는 그것이 아니었다. 제2차 세계대전을 통한 폭격의 경험으로 정확한 항행의 필요성은 충분히 부각되었고, 이에 따라 적군의 개입이나 날씨의 변경에 영향을 받지 않는 기구의 필요성은 분명해졌다. 필요한 일은 기술의 필요성을 보이는 것이 아니라 그것의 실현가능성을 보이는 데 있었다. 만약에 드레이퍼와 다른 기술자들이 이 일에 실패했다면, 마치 우리가 반중력 차폐물(antigravity screen)의 사례에서 보듯이, 관성 유도는 필요성은 있지만 불가능한 기술이 되었을 것이다.<sup>13)</sup>

가속도의 이중적분배에 의한 항행이라는 개념이 새로운 것은 아니었다. 내가 알기로는 동물의 비행 방식을 논의했던 머피가 그 개념을 최초로 다루었다(Murphy, 1873).<sup>14)</sup> 그러나 그것의 실현가능성에 대해서는 두 종류의 반박이 제기되었다. 첫번째는 실제적인 문제로, 유도 항행에 사용될 정도의 정확도를 가진 가속변계와 자이로스코프가 제작될 수 없다는 것이었다. 두번째는 관성 항행이 물리학 법칙을 위배하는 것이라는 반박이었는데, 특히 자기충족적인 시스템에서는 중력벡터의 변화로부터 가속도를 감지해 낼 수 없다는 주장(일반 상대성이론의 핵심적인 가정)이 관성 항행의 개념을 무의미하게 만들었다.

예를 들어 막스 슈러(Max Schuler)는 나중에 관성 항행의 결정적인

12) 이 점에 관한 뛰어난 연구는 Jenkins(1976)이다.

13) 내가 논의하고 있는 시기의 반중력 차폐물에 대한 관심은 "The Trouble with Gravity" (1950)을 보라.

14) 나는 파우웰(Claud Powell) 덕분에 머피의 메혹적인 저술에 관심을 기울일 수 있었다.

이론적 기초를 제공한 것으로 평가된 논문에서, 가속도벡터의 적분배에 의한 항행 개념을 내포하고 있는 아이디어를 '거의 불가능한 시도'라고 묘사한 바 있다.<sup>15)</sup> 기존의 미국 자이로스코프 제조업체들은 관성 항행에 필요한 정도의 정확도를 가진 자이로스코프를 생산하라는 제안에 부정적인 반응을 보였다. 그 때에는 드레이퍼도 1시간 비행에 1마일 정도의 오차가 발생하려면 당시보다 100배 정도 정확한 자이로스코프가 필요하다고 계산하였다(Draper et al., 1947). 미 공군의 소망대로 음속에 가까운 속도로 폭탄이나 순항 미사일을 싣고 소련까지 날아가서 10시간 비행 후에 1마일 정도의 오차로 목표물을 명중시킬 수 있는 시스템을 성취하기 위해서는 자이로스코프의 기능이 1000배 만큼 향상되어야 했다.<sup>16)</sup>

관성 유도 기술을 확립하기 위하여 노력하는 과정에서 드레이퍼가 자원을 활용한 방식은 우리를 놀라게 한다. 그가 이끌었던 MIT 계측연구소(Instrumentation Laboratory: 1970년대 초에 MIT에서 분리된 후에는 찰스 스타크 드레이퍼 연구소로 알려졌다)는 대학 내 연구소였기 때문에 재정이 넉넉하지 못한 편이었다. 따라서 연구소는 외부 자금의 지속적인 유입을 필요로 하였다. 그러나 대학이라는 맥락은 여러 가지 면에서 도움을 주었다. 당시에 MIT는 세계에서 가장 인정받는(지금도 그렇지만) 공과대학 중의 하나였고 전쟁 중의 성공적인 과업 수행으로 명성을 얻고 있었다. 따라서 MIT와의 관련성은 (MIT 내의 많은 사람들이 그 프로젝트에 회의적이었음에도 불구하고) 드레이퍼가 제안한 프로젝트와 드레이퍼 자신에게까지 상당한 신뢰감을 주는 요인으로 작용하였다. 드레이퍼가 군부에 대한 조언이나 상담 역할을

15) Schuler(1923), p. 349. 이 구절의 해석은 이론(異論)의 여지가 있다. Bell(1969)를 보라.

16) 이 시기에 미 공군은 탄도 미사일보다 폭격기와 순항 미사일을 선호하는 경향이 있었다. 그것의 역사는 매우 복잡하고, 부분적으로는 공군이 육군으로부터 독립하는 과정과 관련되어 있다. 공군 탄도 미사일의 역사에 대해서는 Beard(1976)을 보라. 육군과 공군의 관련된 분쟁은 Armacost(1969)를 참조하라.

많이 받았던 것도, 그가 명백한 재정적 이해관계를 가진 산업계의 인물보다 의심을 적게 받았기 때문이었다. MIT의 졸업생들이 군부와 정계에서 많은 요직을 차지하고 있었던 점도 빼놓을 수 없다. 특히 중요했던 것은 드레이퍼 밑에서 수학한 공군 및 해군 장교들이었다. 드레이퍼는 자신이 제2차 세계대전 때 수행했던 사격조준기 개발 작업과 관련된 사람들을 비롯하여 군부 내에서 폭넓은 개인적 친분관계를 유지하고 있었다. 핵심적인 계약은 종종 술자리에서 친구들 사이의 협상으로 해결될 수 있었다. 나는 이러한 사실이 부당하다고 생각하지 않는다. 가능성이 확립되지 않은 기술을 만들어내는 데 있어서 이러한 과정은 필수적인 부분이며, 만일 환경이 보다 관료적이었던면 오히려 필요한 연구자금이 제대로 충당될 수 없었을 것이다.

어떤 계기가 요구될 때, 드레이퍼는 즉각적이고 직감적으로 행동할 수 있었다. 관성 항행의 가능성에 대한 물리학자 조지 가모브(George Gamow)의 공격이 군부의 지속적인 지원을 위협하는 것으로 판단되자, 드레이퍼는 이미 성취된 과제들을 보고하는 기밀 회의를 개최하여 맞대응하였다.<sup>17)</sup> 그는 초보적인 관성 시스템으로 항행되는 비행기를 타고 대륙을 가로질러 로스앤젤레스에서 열리는 다른 회의에 참석하였는데, 그것은 그 회의가 세상의 주목을 받게 하면서 동시에 관성 항행의 불가능성을 주장하는 사람들의 기반을 허물어 버리는 효과를 가졌다. 관성 시스템에 관한 연구 내용 중의 일부가 기밀 분류에서 해제된 이후에, 그는 유명한 텔레비전 앵커맨인 에릭 세버레이드(Eric Sevareid)와 동승하기도 하였다. 그러나 그가 수행했던 대부분의 작업은 매우 의례적인 것이었다. 군부에 있는 후원자들을 방문할 때, 그는 소위 '박사의 연구비 청구서'(Doc's dollar bills: 최근 기기의 작동상태

17) Scientific Advisory Board(1949). 가모브의 공격은 "Vertical, Vertical, Who's Got the Vertical?"이라는 제목이 붙여졌다. 나의 인터뷰에 응했던 몇몇 사람들은 그 사건을 기억했지만, 그것이 기록된 문서는 추적할 수 없었다. 예를 들어 국회도서관의 가모브 논문집에서도 관련 기록은 발견되지 않았다.

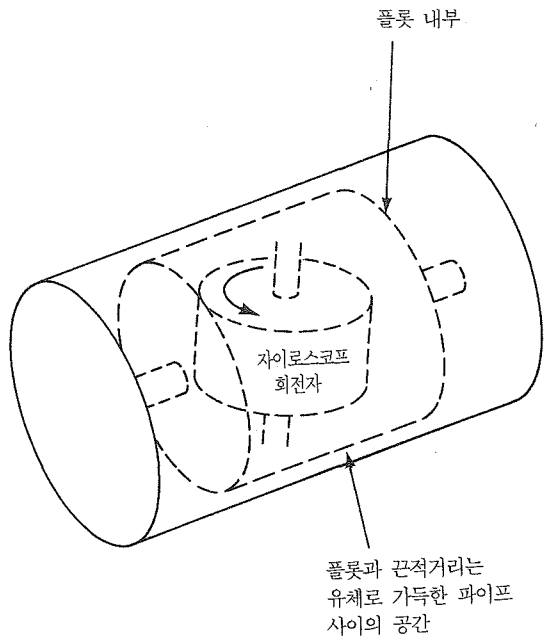
를 보여주는 지갑만한 크기의 그래프로서 기밀유지를 위하여 눈금은 그려지지 않았음)로 붙였던 것을 들고 다니곤 했는데, 그것은 관성 항행 기기의 제작과 관련된 문제점들이 극복되고 있음을 후원자들에게 다시금 확신시키고 한편으로는 그 결과에 부정적인 사람들을 설득하기 위한 것이었다.

새로운 기술이 성공하려면 후원자들을 프로젝트에 붙들어 두는 것만으로는 부족하다. 프로젝트와 간접적으로 관련된 사람들 역시 종종 새로운 방식으로 행동하도록 설득되어야 했다. 예를 들어 연구소의 수위는, 만약에 그가 빗자루로 시험판을 건드렸을 경우에 그것을 보고 하도록 설득되었다. 그것을 소홀히 한다면 자이로스코프의 출력에서 설명될 수 없는 들쭉날쭉함이 발견될지도 모르는 일이었다. 자이로스코프와 가속계계를 조립하는 사람들은 얼굴에 난 잔털의 처리나 휴가 기간의 활동에 대하여 교육을 받아야 했다. 콧수염이나 햇볕에 탄 피부에서 떨어지는 작은 조각들이 민감한 기기에 치명적인 재앙을 유발할 수도 있었기 때문이었다. 이처럼 드레이퍼는 평상시의 활동을 아무런 문제 없이 당연한 것으로 받아들이는 사람들에게 엄청난 노력을 기울였다. 그리고 연구소 밖에서 관성 항행 기기를 다루는 사람들 역시(지침에 따라) 정확하게 행동하도록 설득되어야 했다.<sup>18)</sup>

### 역돌출부와 결정적 문제

만일 드레이퍼 그룹이 자신의 활동을 지금까지 설명한 것에 국한시

18) 이러한 목표를 성취하기 위한 후일의 책략은 여기에 써 둘 만한 가치가 있다. 관성 기기에 대한 고의적인 위해(危害)를 우려한 미 해군 항공 시스템 측은 그 장치들을 통상적인 회색이나 흑색이 아닌 금빛으로 칠했는데, 그것은 성공적인 방편으로 판명되었다. Crosstalk(1980), item 5를 보라.



<그림 3> 플롯 1차원 자유도의 통합 자이로스코프(매우 도식화된 그림).

켰다면 프로젝트는 아마 실패했을 것이다. 통상적으로 기술적인 것으로 간주되는 작업도 매우 중요한 역할을 담당하였다. 그것의 본질은 휴즈의 '역돌출부/결정적 문제'라는 틀을 통해 잘 설명될 수 있다.

드레이퍼는 자신의 그룹이 제대로 작동하는 관성 시스템을 실제로 제작하기에 앞서 관성 시스템의 역돌출부를 체계적으로 분석하였다. 드레이퍼가 앞으로 만들어질 시스템에서 역돌출부를 파악하는 방식은, 콘스탄트가 말한 '추정 변칙'(presumptive anomaly: 과학적으로 도출된 가정이, 어떤 미래의 조건에서는 통상적인 시스템이 실패한다거나 근본적으로 다른 시스템이 더욱 잘 작동할 것이라고 암시하는 경우)과 동일하지는 않지만 비슷한 유형을 취하고 있었다(Constant, 1980, p. 15).

초기의 분석에서 드레이퍼는 가속변계보다 자이로스코프를 핵심적인 문제로 간주하였다(Draper et al., 1947). 내가 이미 언급한 바와 같

이 드레이퍼가 당시에 생각하고 있었던 시스템을 위해서는 자이로스코프의 기능이 100~1000배 정도로 향상되어야 했는데 반해, 가속변계가 1시간 비행 후에 1마일 이내의 오차를 가지려면 10배 정도의 기능 향상으로 충분하였다. 계측 연구소의 초기 작업에서는 자이로스코프에 관한 연구가 우선시되었다. 1950년대 후반에 이르러 관심의 대상이 폭격기나 순항 미사일에서 탄도 미사일로 변경된 이후에야 가속변계의 개발에도 동등한 우선순위가 부여되었는데, 그것은 가속변계가 폭격기나 순항 미사일보다 탄도 미사일에 훨씬 중요한 것으로 생각되었기 때문이었다.

1947년 경에는 잘 규정되고 강력한 자이로스코프의 개발 공정이 계측 연구소에서 이미 확립되어 있었다. 그것은 플롯 1차원 자유도의 통합 자이로스코프(floated single-of-freedom integrating gyroscope)라는 특정한 자이로스코프에 대한 설계 유형을 포함하는 것으로서 약간의 변화를 거쳐 오늘날까지 이어지고 있다. 이러한 설계는 비록 드레이퍼 등에 의해서 분석적으로 정당화되긴 했지만 단순히 이론적인 선택은 아니었다. 그것은 드레이퍼가 제2차 세계대전 당시 대포 제어 시스템에 대한 작업에서 많이 경험했던 설계 유형이었다. 자이로스코프 회전자를 진자(振子) 성분으로 교체하는 것을 포함한 비교적 간단한 수정에 의해서, 1차원 자유도의 자이로스코프는 가속변계로 바뀌었다(Draper, 1977, pp. 240-243). 나중에 1950년대에 이르면, 1차원 자유도의 플롯 자이로스코프와 강한 친화성을 가지고 있는 보다 세련된 두 가지 기본적인 가속변계, 즉 진자 통합 자이로 가속변계(Pendulous Integrating Gyro Accelerometer, PIGA)와 펄스 통합 진자 가속변계(Pulsed Integrating Pendulous Accelerometer, PIPA)가 설계되었다.<sup>19)</sup>

19) 세부 설계에는 차이가 있지만 드레이퍼 연구소의 PIGA는 새로운 개념이 아니었다. 무엘러가 설계한 PIGA는 미사일이 엔진 차단 속도에 도달하는 시간을 측정하기 위하여 V-2 유도 시스템에서 사용되었다. Mueller(1960), Haeussermann(1981)을 보라.

과학의 사회적 연구에서 잘 알려진 용어를 기술의 연구에 적용한다면, 플롯 1차원 자유도의 통합 자이로스코프는 후속 개발 작업에 대한 패러다임이 되었다고 할 수 있다. 여기서 패러다임은 넓은 의미로서의 연구에 대한 공유된 틀이 아니라, 후속 작업의 예제이자 자원으로 기능하는 '구체적인 수수께끼 풀이'를 가리키고 있는데, 이것은 패러다임에 대한 보다 명확하고 '철학적으로 심오한' 의미에 해당한다.(Kuhn, 1970, p. 175) 최근에는 기술 영역에 패러다임의 개념을 적용시키는 데 상당한 관심이 기울여지고 있지만(예를 들어 Dosi, 1982를 보라), 내가 아는 한 패러다임의 구체적인 의미를 심도있게 다룬 저작은 오직 하나밖에 없다(Gutting, 1984. Sahal, 1981도 보라). 이것은 유감스러운 일인데, 왜냐하면 나는 지금까지의 기술적 전통이 보유하고 있는 일관성의 많은 부분이 공유된 예제에서 비롯된다고 생각하기 때문이다. 이러한 일관성이 저절로 성취되는 것은 결코 아니다. 지적 자산을 공유한다는 것이 발전의 유일한 경로를 상징하지는 않는다. 어떤 '공유된 틀'에 '묵여 있는' 그룹이라는 생각은 종종 '기술 궤적'(technological trajectory)과 같은 잘못된 기계적 비유로 사람들을 이끌곤 한다.<sup>20)</sup>

드레이퍼 그룹의 기본적인 패러다임은 목표지향적인 개량 작업을 지속적으로 수행할 것을 요구하였다.<sup>21)</sup> 그러한 과정은, 비록 세부적으로는 복잡하고 창의적이지만, 상당히 간단하게 묘사될 수 있다. 드레이퍼 그룹의 목적은 기기의 정확도를 계속해서 증가시키는 데 있었다. 여기서 나는 '정확도'라는 용어를 자명한 어떤 특성을 가진 것으로 사용하지는 않는다. 오히려 나는 정교한 테스트 절차(이것은 테스트되는 기기가 무엇인가에 따라 달라지지만)에 의해 결정되는 전체적인 변수들의 집합을 말하고자 한다.<sup>22)</sup> 정확도의 증가를 가로막는 장애물과 역

20) 이에 대한 보다 자세한 설명은 MacKenzie and Wajcman(1985), pp. 11-12를 보라.  
21) 이러한 과정을 가장 잘 포착하고 있는 저술은 Denhard(1963)이다.

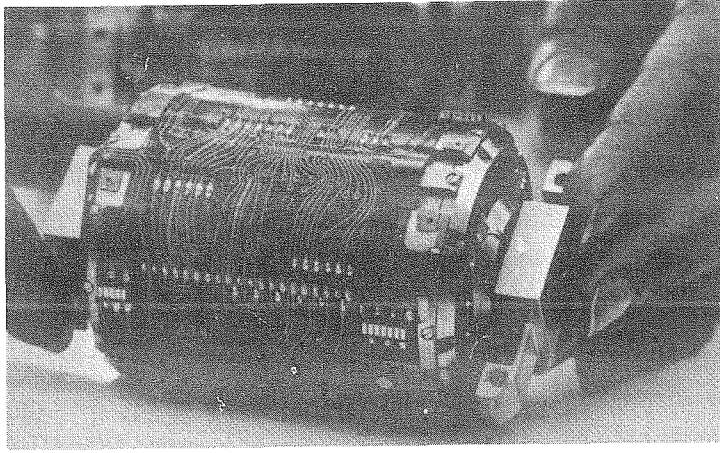
돌출부가 무엇인지 결정하고 그것을 해결가능한 결정적 문제로 전환하기 위하여 경험적·이론적 차원의 시도가 지속적으로 행해졌다. 계측 연구소의 연구원들이 이러한 문제들을 풀이하는 데 있어서 중심적인 역할을 수행하긴 했지만, MIT의 다른 조직들(예를 들어 금속공학과)과 외부의 기업들(예를 들어 정밀 볼 베어링 분야에 속한 회사들) 역시 문제의 해결에 관여하였다.<sup>23)</sup> '128번 경로 현상'(Route 128 phenomenon)에서 보듯이, 계측 연구소의 연구원들은 종종 결정적 문제에 대한 해답을 연구소 외부에서 끌어들었다. 1965년에 이르면 계측 연구소에서 파생되어 설립된 기업이 적어도 30개에 달했고, 연간 매출액 역시 1400만 달러에 이르렀다(Roberts, 1968. Ragan, 1980도 보라).

관성 기기의 세부 설계에 있어서 '정상기술'(normal technology)은 보수적인 동시에 강력하다는 점에서 '정상과학'(normal science)의 특징과 유사하다. MX 미사일에 사용되는 제3세대 자이로스코프(<그림 4>)와 같이 드레이퍼 연구소가 최근에 설계한 기기들은 1940년대의 기본적인 설계와 대단히 유사하며, 그 이전의 기기들 역시 그것에서도 도출되었다는 점에서 정상기술은 보수적이라고 할 수 있다.

또한 정상기술은 30년간의 창의적 노력의 결과로 세부적인 변형이나 개량이 축적되어 결국 엄청난 성능의 향상을 가져왔다는 점에서 강력하다고 할 수 있다. 최신 기기의 성능에 대한 수치는 물론 기밀로 분류되어 있지만, 드레이퍼가 밝힌 바에 따르면 본래도에서 이탈하는 정도가 시간당 0.000015에서 0.0000015 사이라고 한다(Draper, 1975, p. 26). 만일 그것이 실제로 성취되었다면, 우리가 논의의 대상으로 삼은 기간에 성능은 105배 정도 향상된 셈이다.

22) Law(1987)가 강력히 제안했듯이 테스트는 기술의 사회적 연구에서 중심적인 주제가 되어야 한다. 테스트에 관한 중요한 연구로는 Vincenti(1979), Constant(1983)이 있다.

23) 이 시기에 MIT에서 진행된 다른 개발 작업에 대해서는 노블(D. F. Noble)의 매혹적인 Forces of Production(1984)와 Wildes and Lindgren(1985)를 보라.



<그림 4> MX/Peacekeeper 제3세대 자이로스코프. 사진은 노드롭사가 제공하였음.

여기서 우리는 이 논문의 출발점, 즉 미사일 정확도의 증가로 접근하게 된다. 자이로스코프와 가속변계의 성능이 향상된 것이 정확도 증가의 유일한 요인은 아니지만(더욱 강력해진 컴퓨터의 탑재, 개선된 중력장 지도와 측지학의 자료, 항행체의 대기권 재진입에 대비한 신소재의 개발과 설계의 개선 등이 마찬가지로 언급되어야 한다) 상당히 중요한 요인임에는 틀림없다. 이러한 점을 염두에 두면서 역돌출부와 결정적 문제가 단순히 주어지는 것이 아니라는 주장을 고려한다면, 이러한 기술이 거의 드레이퍼 연구소에 의해서만 개발되었다는 사실은 매우 의미심장한 것이다. (드레이퍼 연구소와 비슷한 소련의 기관이 있을지는 모르지만) 미국에서는 이와 유사한 경우가 벨 항공텍스트론(Bell Aerospace Textron)밖에 없다.

나의 요지를 좀더 명확히 하겠다. 미국에서는 적어도 30년 이상에 걸쳐 관성 기기가 최소한 8곳 이상의 연구소에서 개발되어 왔다. 여기에는 자동제어부, 노드롭 항공사, 스페리(Sperry), 하니웰(Honeywell), 제너럴 모터즈(General Motors)의 교류 점화플러그부(AC Spark Plug

Division), 키어포트(Kearfott), 리튼 산업(Litton Industries), 벨 항공 등이 포함된다. 그리고 유럽에도 몇 군데의 연구소들이 있다. 이상의 연구소들의 작업은 대부분 '역돌출부/결정적 문제'라는 개념에 따라 설명될 수 있다. 그러나 그들은 드레이퍼 연구소와는 두 가지 측면에서 달랐다. 먼저, 무엇을 역돌출부로 파악하는가가 동일하지 않았다. 두 번째로, 다른 집단에서는 시간이 지남에 따라 기본적인 기기 설계가 많은 변화를 겪었다.<sup>24)</sup> 예를 들어 리튼 산업은 플롯 자이로스코프(특히 2차원의 자유도를 가진 것)와 '건조식' 자이로스코프를 거쳐 최근에는 레이저 자이로스코프를 사용하고 있다(앞에서 내가 벨을 부분적인 예외로 따로 분리시킨 이유는, 벨은 상당한 기간 동안 기본적인 설계를 안정적으로 개량하는 방식을 취해 왔기 때문이다).

이러한 두 가지 문제 중에서 나의 주장과 보다 관련이 깊은 것은 첫번째 것이다. 왜 상이한 집단들은 역돌출부를 서로 다르게 파악하는가? 이 물음에 대해서는 뚜렷한 해답도 있고 보다 완화된 답변도 있다. 뚜렷한 해답은 서로 다른 그룹이 상이한 목표에 우선 순위를 부여하고, 따라서 필연적으로 진보에 대한 장벽을 다르게 파악한다는 점에서 찾을 수 있다. 드레이퍼 연구소는 정확도에 핵심적인 우선순위를 부여했지만 다른 집단은 그러한 방식이 적절하지 않다고 생각했다. 다른 집단의 목표는, 성공적인 설계가 반드시 충족시켜야 하지만 그것을 뛰어넘을 필요는 없는 정도(예컨대 1시간 동안 자이로스코프의 오차율이 0.01 정도)로 정확도를 설정하는 것과 신뢰도 증가, 경량화, 부피 감소, 생산 가능성 증가, 기기의 저가화 등의 문제에 집중되어 있었다. 여기서 내가 드레이퍼 연구소는 높은 수준의 기술을 보유하고

24) 설계가 시간에 따라 변화된 범위를 평가하는 것은, 두 가지 설계의 유사성 정도에 대한 판단을 포함하고 있기 때문에, 매우 어려운 일이다. 여기서 나는 인터뷰에 응했던 사람들의 일반적인 판단을 수용하고자 한다. 그들에 의하면, 레이저 자이로스코프는 기계적 자이로스코프와 근본적으로 다른 장치인 반면, 드레이퍼 플롯 장치의 경우에는 그 정도의 차이가 존재하지 않는다.

반면 다른 집단의 활동은 낮은 기술 수준에 근거했다고 주장하려는 것은 결코 아니다. 왜냐하면 다른 집단에서 추구하는 목표 역시 레이저 자이로스코프처럼 첨단기술로 간주되는 기구와 연결되어 있었기 때문이다. 내가 말하고 싶은 것은, 완전히 다른 목표는 아니지만(신뢰도 증가나 경량화 등은 드레이퍼 연구소의 관심사이기도 했다) 최소한 서로 다른 목표에 우선순위를 부여함에 따라 상이한 형태의 기술변화가 유발된다는 점이다.

왜 다른 집단들이 상이한 우선순위를 부여하는지를 설명하는 것은 대단히 복잡한 문제이기 때문에 여기서 완전히 다룰 수는 없다. 물론 결정적인 요인 가운데 하나는 특정한 성질을 갖는 기기를 필요로 하는 구조이다. 다음 절에서 보이겠지만, 유도 기술자들은 부분적으로만 그것에 영향을 미칠 수 있었을 뿐이며, 따라서 시간이 지남에 따라 외부로부터 규정된 요구가 일련의 기술적인 과제를 창출하였다. 이러한 과제들은 전술 미사일, 민간 항공기, 대부분의 군용 항공기와 최근의 순항 미사일, 전략 폭격기, 추진 로켓, 잠수함 항행 시스템, 전략 미사일 등과 관련되어 있었다. 서로 다른 조직들이 각각 다른 과제들을 맡아 특화하게 되었는데, 종종 하나의 조직이 한가지 이상의 과제를 맡는 경우도 있었지만 3 개 이상의 과제를 다루는 경우는 거의 없었다. (한 곳에서는 계약을 따내고 다른 곳에서는 잃는 식으로) 최초의 전문적인 특화는 우연적으로 결정되었지만, 일단 그것이 성립하면, 특정한 과제에 적합한 이질적인 기술 활동의 방식이 개발되기 때문에 매우 강력한 힘을 가지게 되었다.

그러나 우선순위의 결정에는 다른 문제도 연관되어 있었다. 대기업에 소속하지 않고 대학에 속해 있었던 드레이퍼 연구소가 높은 정확도를 추구하는 문제에 특화하게 된 것(특히 그것을 탄도 미사일에 응용하는 것)은 우연히 발생한 일이 아니었다. 미국의 대대적인 전략 미사일 증강이 완료되기 시작했던 1965년 이후에 전략 미사일 시장은 점

차 축소되었던 반면, 관성 기기 사용에 대한 민간 시장은 성장하기 시작하였고 군용 항공기 시장 역시 상대적으로 강세를 유지하였다.<sup>25)</sup> 특히 민간 부문과 (과거보다는 덜하지만 여전히 중요한) 군용 항공기 부문은 잠재적으로 높은 부가가치를 보장하는 영역으로 비쳐졌다. 그러나 이러한 부문들은 갈수록 높은 '입장료'를 요구하는 영역이기도 했다. 이윤에 대한 동기는 기업의 관심을 유발했지만, 입장료라는 장벽은 대규모 투자 능력을 갖추지 못한 집단의 의욕을 꺾어버리는 원인이 되었다.<sup>26)</sup> 얼마 후에 드레이퍼 연구소의 소장이 된 로버트 더피(Robert Duffy)는 1972년 10월에 그가 목격한 상황을 다음과 같이 요약하였다.

나는 기기의 성능을 중시하는 요구에서 높은 신뢰도에 대한 요구(상업적 용어로 말하자면 소유권 비용의 감소)로 강조점이 강하게 이동하는 것을 느꼈다. 우리가 어떤 경우에도 이러한 요구들이 서로 모순된다고 해석한 적은 없지만, 강조점의 변화는 예상치 못한 방식으로 우리 연구소에 영향을 미쳤다. 우리 연구소에서는 기기의 성능에 대한 집착이 완화되기보다 오히려 강화되었는데, 그것은 시장(특히 상업적인 시장)이 성능의 문제에는 어느 정도 무시한 채 비용이나 사용자 편의라는 목표로 기업들을 유도했기 때문이었다(Duffy, 1973, p. 3-1).

서로 다른 집단이 역돌출부를 서로 다르게 파악하는 이유에 대한 좀더 완화된 대답은, 이 논문의 서두에 제시된 바와 같이, 설사 동일한 목표에 동의한 사람들이라 하더라도 그것의 성취를 방해하는 것이 무엇인지, 혹은 그것을 성취하는 최상의 수단은 무엇인지에 대해 반

25) 내가 여기서 제시한 시장에 대한 평가는 Litton Guidance and Control Systems에 의해 제공되었는데, 그것은 내가 인터뷰에서 받았던 느낌과도 일치한다.

26) 민간 시장에 최초로 진출했던 Sperry는 이내 철수해야 했고, 두번째로 진출했던 AC Spark Plug Division of General Motors는 초기에 엄청난 손실을 경험하였다.

드시 동의하지 않는다는 데 있다. 이와 관련된 흥미로운 사례는 관성 시스템이 외부 정보에 의해 보완될 필요성의 여부를 둘러싼 논쟁이다. 미국에서는 그것이 잠수함 탄도 미사일과 최근의 순항 미사일을 통하여 중요한 문제로 부상하였다.<sup>27)</sup> 내가 여기서 탄도 미사일이 높은 정확도를 갖도록 설계되어야 하는가에 대한 논쟁을 말하고자 하는 것은 아니다. 여기서 문제가 되는 것은 높은 정확도라는 목표에 아무런 의문을 제기하지 않은 사람들 사이에서 발생한 논쟁이다. 나의 인터뷰 자료를 보면, 두 경우 모두에 있어서 드레이퍼 연구소의 몇몇 구성원들은 관성 기기의 성능이 충분히 발전하기만 하면 순수한 관성 기기만으로도 요구되는 정확도를 충족시킬 수 있다고 주장하였다.<sup>28)</sup> 이러한 주장은 다른 기술자들(일부는 드레이퍼 연구소 외부에 있었다)에 의해 성공적으로 반박되었는데, 그들은 관성 기기가 앞으로 더욱 발전한다고 해도 주요한 역돌출부를 제거할 수 없다고 주장하였다. 따라서 순항 미사일 사업에서의 초기 논쟁은 나에게, 더욱 정확한 관성 기기를 주장하는 진영과 중력 모델이 근본적인 문제라고 생각하는 진영 사이의 논쟁인 것처럼 비쳐졌다.<sup>29)</sup> 설사 관성 기기가 오차 없이 완벽하게 작동한다 하더라도, (저공·저속으로 비행하는) 미사일 항로의 중력장에 대한 지식이 불완전하여 이로부터 오차가 발생한다면 요구되는 정확도의 수준을 달성할 수 없게 된다. 따라서 지형 확인 시스템

27) 미국의 지상 발진 미사일은 발사장치가 움직이지 않으면 외부 정보에 의해 보충될 필요가 없다. 나는 인터뷰를 통하여 소련의 ICBM은 이와 달리 항성 추적자를 운반한다는 흥미로운 증거를 확보했다.

28) 두 가지 에피소드에 관한 정보가 내가 완전히 바라는 것은 아니다. 이 단락에서의 설명은 이후에 보완될 필요가 있다.

29) 물론 드레이퍼 연구소는 중력장에 관한 불완전한 정보가 높은 정확도를 성취하는 데 장애물이 된다는 것을 알고 있었다. 이에 관한 해결책으로 제시된 것은, Milton Traegeser가 설계한, 중력장의 경사도를 측정하는 관성 기기였다. 중력 경사도 측정장치는 드레이퍼 연구소가 아니라 벨 항공에서 설계되었지만 트리던트 잠수함에 사용될 예정이었다. Gerber(1978)는 드레이퍼와 벨의 설계(그리고 제3의 것인 휴즈의 설계)를 비교하고 있다.

(TERCOM)을 사용하여 관성 시스템을 보완할 필요가 생기게 되는데, 만일 그것이 가능하다면 관성 시스템 자체가 높은 정확도를 가져야 할 필요는 없어진다.

이러한 종류의 논쟁이 발생할 가능성과 이에 따라 역돌출부 및 결정적 문제가 협상가능한 성격을 지니게 되는 것이 과학사회학자들을 조금도 놀라게 해서는 안된다. 최근의 많은 연구들은 ‘해석적 유연성’의 범위, 즉 합리적인 사람들이 특정한 일련의 증거들로부터 무엇을 만들어 낼 수 있는가에 대해서 의견을 달리할 수 있다는 사실을 명확하게 밝히고 있다(Pinch and Bijker, 1987을 보라). 그런데 기술이 과학보다 더욱 실제적인 활동이기 때문에 기술의 경우에는 과학보다 해석적 유연성이 더욱 제한되어 있다고 주장하는 사람들이 있다(Mulkay, 1979a). 그러나 이러한 주장은 적어도 네가지 이유 때문에 타당성을 상실한다. 첫째, 내가 생각하고 있는 종류의 불일치는 설계 과정에서 발생하는 데 반해, 작동에 대한 기준은 사후적으로 주어진다.<sup>30)</sup> 둘째, 과연 무엇을 ‘작동하는’ 것으로 간주해야 하는지가 문제시된다. 각 집단은 서로 다른 생각을 가질 수 있으며(Pinch and Bijker, 1987), 심지어 대단히 힘들고 난해하며 기술적인 맥락에서도 논쟁은 발생할 수 있다(Robinson, 1984; Noble, 1984; Wildes and Lindgren, 1985). 셋째, 기술이 작동하기 위해서는 기술적 요소 이외에도 종종 사회적·경제적 요소를 포함하는 일군의 조건들이 필요하며, 따라서 작동이 실패한 요인이 무엇인지는 자명하지 않을 수 있다. 넷째, 기기가 작동한다는 공인된 사실로부터 설계 과정에서 취해진 모든 결정이 옳았다는 결론을 바로 도출할 수는 없다. 예컨대 트리던트 I은 관성 유도 시스템을 보완하기 위하여 항성 추적자를 장착하여 만들어졌다. 이 미사일은 광범위한 테스트를 거쳤고, 그 결과 최소한 정확도에 대한 세부

30) 그 기준은 일상적인 작업을 수행하는 사람들의 학습을 통하여 피드백되는 설계 과정에서 찾을 수 있다. Nelson and Winter(1982)를 보라.

사항을 만족시키며 심지어 그것을 능가하기도 한다는 사실이 아무런 의의(異意)없이 수용된 것처럼 보였다(Arkin, 1984). 그러나 1985년의 인터뷰에서 나는 (상당히 높은 지위에 있는 박식한 유도 기술자로부터) 항성 추적자가 정확도에 실제로 기여한 바가 없으며, 성가시고 부적절한 장치에 불과했다는 주장을 접할 수 있었다.<sup>31)</sup>

### 시스템과 주변환경

이 논문의 서두에서 나는 휴즈의 시스템적 접근이 갖는 장점들에 대해 언급한 바 있다. 시스템적 접근이 가지는 세번째 장점은, 그것이 우리로 하여금 기술 시스템과 주변환경 사이의 경계가 유동적이라는 사실을 인식하게 한다는 데 있다. 그것은 특히 시스템 구축가들이 시스템의 성장을 용이하게 하기 위하여 주변환경을 구성하려는 방식에 대한 문제를 제기한다. 이 단락에서 나는, 드레이퍼 연구소에 소속된 관성 유도 기술자들이 어느 정도까지 주변 사회 속에서 그 기술을 필요로 하는 구조를 형성하여 관성 기기의 궁극적인 정확도를 추구하는 것에 대한 지속적인 후원을 보장받을 수 있었는가를 탐구하고자 한다.

이를 위해서는 두 가지의 전제가 필요하다.<sup>32)</sup> 나는 적어도 미사일 유도 시스템의 경우에는 시스템 구축가들이 주변환경을 형성할 수 있었던 정도가 대단히 제한적이라는 사실을 알아냈다. 하지만 설사 시스템 구축가들이 주변환경을 형성할 수 있는 정도가 제한적이지 않다

31) 나는 그것의 존재에 주목할 뿐이지 내가 이러한 주장을 지지하는 것은 아니다.  
32) 이와 관련된 세번째 사항으로는 드레이퍼 연구소가 부품의 정교화보다 더욱 광범위한 활동에 관여했다는 점을 들 수 있다. 그러나 여기서 나의 관심은 특수한 기술적 성취의 운명에 있지 조직 전체의 운명에 있는 것은 아니다.

하더라도, 나의 주장에 심각한 결함이 있는 것은 아니다. 왜냐하면 내가 이 논문의 처음에 인용했던 글들로부터, 에디슨이나 파스퇴르와 같은 과학기술의 위대한 '영웅들' 중 상당수가 (시스템에 적합한) 주변환경을 형성해야 할 필요성을 강하게 가지고 있었으며, 동시에 그러한 작업을 적절히 수행했다는 점을 알 수 있기 때문이다.(예를 들어 Hughes, 1983; Latour, 1983; 1984를 보라). 여기서 필요를 형성하는 것 자체가 그릇된 행위는 아니지만 도덕적·정치적 문제가 그러한 필요의 성격과 관련되어 있다. 두번째 전제는 이러한 문제가 학문적 관심의 대상을 넘어선다는 점이다. 왜냐하면 그것은 군사기술의 통제가능성이라는 문제와 직접적으로 관련되어 있기 때문이다. 1969년에 미국 상원의 소위원회에서 증언하면서, 잭 루이나(Jack Ruina)는 “유도의 정확도 문제를 저지할 수 있는 방법은 없다. 그것은 실험실 내에서 이루어지는 발전이기 때문에 그 분야의 프로그램을 중단시킬 수 있는 방법 역시 없다”고 주장하였다(Gray, 1977, p. 4에서 재인용). 이러한 주장은 상당한 영향력을 발휘해 왔지만, 지금의 상황에 비추어 볼 때 (심지어는 루이나가 그렇게 발언했던 시기에 있어서도) 정확한 것 같지는 않다. 유도의 정확도는 단순히 실험실 내부의 문제가 아니며, 범위를 실험실 내부로 한정한다 하더라도 주변환경의 영향에서 벗어날 수 없다. 어떤 실험실 내부에서의 발전도 궁극적으로 자기충족적이지 않다. 만일 주변환경이 적절하지 않거나 시스템 구축가들에 의해서 적절하게 창출되지 못한다면, 실험실 내에서의 모든 발전의 궤적은 외부적인 영향력을 상실하고 중단되어 버릴 것이다.

찰스 스타크 드레이퍼 자신이 직접 작성한 관성 기기 발전의 연표를 보면 그것이 문제로 대두했던 시기를 알 수 있다(Draper, 1975). 그는 기기의 성능에 따라 관성 시스템을 분류하여 그것을 네 세대로 구분했다. 제1세대 기술은 스페리(Sperry) 시기에 출현했던 것으로서 항공기에 장착되는 자이로스코프 장치에 해당한다(이 시기에 대한 최상



의 설명은 Hughes, 1971이다). 그리고 제2세대 기술은 폴라리스(Polaris) 미사일 시기에 나타난 미사일의 관성 항행 기술과 아폴로 계획(Apollo Program), 그리고 대다수의 군용·민간 항공기에 장착된 관성 항행 장치를 포함한다. 우리가 살펴본 바와 같이, 이러한 종류의 기술에 대한 필요를 창출하는 것은 어렵지 않은 일이었다. 문제는 기술적 가능성이었으며 그것은 1950년대 말에 정리된 것으로 간주할 수 있다.

여기서 골치아픈 문제가 발생한다. 관성 항행 및 유도와 관련된 대부분의 기업들은, 기존의 정확도 수준이나 그것보다 한자리수 정도 높은 정확도에 만족한 채, 정확도 이외의 다른 방향에서 유도 기술이 상당한 정도로 발전된 모습에 주목하였다. 드레이퍼 같은 사람처럼 제3세대 기술의 필요성을 사회 속에서 만들어 가면서 더욱 높은 정확도 연구를 원했던 사람들은 1965년을 전후해서 대두하기 시작하였다.

1970년대 초에 제3세대 기술을 창출하려고 했던 드레이퍼의 주요한 시도는 항공기(특히 민간항공기)의 운행과 항공 제어 시스템에서 점차 대두하고 있었던 문제에 초점을 맞추었다.<sup>33)</sup> 1시간 비행 후에 1마일 정도의 오차를 내는 수준의 제2세대 관성 항행 기술은 대양 횡단 비행에는 적합했지만, 공항 주변에서는 기껏해야 다른 시스템에 대하여 부분적으로 보완하는 기능밖에 수행하지 못했다. 드레이퍼와 그의 연구소에 있었던 다른 사람들은, 더욱 정확한 관성 기술이 항공 운송 시스템의 역돌출부, 특히 시간의 지연에 대한 해결책을 제시해 줄 수 있다고 주장하였다(Denhard, 1971을 보라).

그러나 그들은 성공하지 못했다. 민간 항공사들은 정확도에 관한 한 제2세대 기술을 고집하였다. 그리고 우리가 이미 살펴본 것처럼,

33) 1970년대 초기에 대해서는 MIT Archives, Albert G. Hill Papers, Box 2, Files 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 1/3, 2/3, 3/3에 실려 있는 "Minutes of the Board of the Charles Stark Draper Laboratory"를 보라.

순항 미사일을 위한 관성 기술을 근본적으로 향상시키자는 주장 역시 성공하지 못했다. 한편 하니웰과 같이 관성 기술과 관련된 기업에 있었던 몇몇 사람들은, 시간당 0.1 마일의 오차만을 허용하는 관성 기기의 필요성을 정식화하기 위하여(순항 미사일의 발사대로 사용되는) 전략 폭격기의 요구 조건을 이용하려고 시도하였다. 그들은 공군 참모총장의 수준에서 로비 활동을 벌여 소기의 목적을 달성할 수 있었고, 이러한 특성을 가진 하니웰 시스템이 B-52 전략폭격기의 G개량 및 H개량에 포함되었다. 그러나 이러한 성공은 일시적이었고, B-1 폭격기의 관성 시스템을 위한 정확도의 요구는 매우 지체되어 수정된 제2세대 시스템을 사용한 키어포트사의 설계에 의해서야 충족되었다.<sup>34)</sup>

그 결과 제3세대 관성 기기를 사용할 만한 분명한 잠재 시장은 ICBM과 잠수함 발사 탄도 미사일밖에 남지 않게 되었다. 게다가 강력한 선제 핵공격 능력을 가진 미사일만이 그 기술을 필요로 하는 것으로 간주될 수 있었다. 제2세대 시스템은 도시를 파괴하는 보복 미사일에 사용될 때에만 상당히 우수한 것으로 알려졌다. 따라서 다음과 같은 문제가 제기된다. 선제 핵공격 무기가 군사적으로 필요하다는 인식은 기술자들이 자신의 기술에 대한 시장을 창출하기 위해 만들어 낸 것인가?

만약 이 물음에 긍정적으로 답변할 수 있다면, 그것은 시스템적 접근과 완전히 일치하게 된다. 그러나 내가 아는 한, 그러한 일은 발생하지 않았다. 나는 미국이 핵전략 추진이나 혹은 선제 핵공격을 지향하는 정책을 수립하는 데 있어서 유도 기술자들이 독립적으로 중요한 역할을 했다는 아무런 증거도 갖고 있지 않다.<sup>35)</sup> 물론 내가 갖고 있는

34) 정확도의 요청이 증가하고 있는 영역은 탄도 미사일 잠수함 항행이다. 여기서 설명하기에는 너무 복잡한 이유 때문에 잠수함 항행기는 드레이퍼 유형의 고정확도 기술에 관한 시장을 창출하는 데 실패하였다.

35) 매시추세즈주 상원의원이었던 브룩(Edward Brooke)은 드레이퍼 연구소의 반격에 저항하는 캠페인을 벌이는 동안 로비를 받았다. 국방성도 드레이퍼 연구소와 MIT가 분리되

자료가 다소 부실할지도 모른다. 하지만 나는 그렇게 생각하지 않는 데, 왜냐하면 유도 기술자들은 이러한 문제에 대하여 미 공군에 로비를 벌일 필요성을 느끼지 못했기 때문이다. 선제 핵공격이 필요하다는 미 공군의 생각은 대단히 뿌리깊고 상당히 오래된 것이었다. 반면 선제 핵공격에 대한 미 해군의 생각은 그렇지 않았다. 그러나 높은 정확도에 대한 시장을 창출하려는 시도들 중에서 내가 알고 있는 한 가지 분명한 사례를 보면, 거기서 사용된 (고정확도의 필요성에 대한) 논거는 국가적 전략보다는 군부 내부조직 사이의 경쟁 의식에서 비롯되었다. 폴라리스 조종 과업 그룹(Polaris Steering Task Group)에 둘러진 비밀문서에서, 드레이퍼는 다음과 같이 말했다. “함정에서 발사되는 탄도 미사일은 여러가지 장점을 가지고 있지만, 만약 그것이 육상에서 발사되는 미사일보다 정확도 수준에서 떨어진다면 국가안보를 위한 경쟁에서 뒤쳐지게 될 것이다”(Draper, 1959, p. 3). 흥미로운 것은, 이러한 식의 사고가 1960년대에 이르면 해군 특수 기획국(Navy Special Projects Office)의 책임자들에 의해서 거부된다는 사실이다. 앞서서도 보았듯이 그들은 미사일의 정확도 면에서 공군과 경쟁하려고 하지 않았다.

따라서 제3세대 기술이 MX 미사일과 트리던트 II 미사일이라는 대상에서 찾아낸 시장은 기술자들에 의해 만들어졌다고 간단히 치부할 수 없다.<sup>36)</sup> 선제 핵공격이 주도권을 장악하게 된 것에는 다른 이유가 있다.<sup>37)</sup>

는 시기와 드레이퍼 연구소와 미 해군 사이에 비경쟁적 계약 금지의 합법성에 관한 논쟁이 벌여졌던 시기에 조직적 문제에 관하여 상당한 수준의 로비를 받았다.

36) MX AIRS는 드레이퍼가 설계하고 노드롭이 제작한 제3세대 자이로스코프 3개와 SFIR(Specific Force Integrating Receivers)로 알려진 드레이퍼 설계의 제3세대 가속변계 3개를 포함하고 있다(<그림 1>을 보라). 트리던트 II 유도 시스템은 동일한 가속변계 3개를 가지고 있지만 자이로스코프는 드레이퍼가 설계한 것이 아니라 키어포트가 조정한 회전 자이로스코프를 사용한다.

37) 완전한 설명을 위해서는 조직적 요소, 국내 정치적 요소, 미국의 국제적 위치 등이 고려

그렇다면 미래의 전망은 어떠한가? 이미 1975년에 드레이퍼는 제3세대 기기를 넘어서 2자리수 정도로 성능이 향상될 제4세대 기기를 내다보고 있었다. 드레이퍼 연구소의 연례 보고서는 제4세대 기기가 개발 중에 있음을 알려주고 있다. 그러한 기술을 개발하는 데 필요한 자금은 과연 조달될 수 있을 것인가(지금은 그 자금이 비교적 얼마 안 되는 드레이퍼 연구소의 내부적인 연구개발 자금에서 충당되는 것으로 보인다.) 그리고 만일 그 기기가 제작된다면 즉각적으로 사용될 것인가? 나의 인터뷰 중의 한 토막은 이질적 공학의 성격 자체가 변하고 있음을 잘 보여준다.

기기가 그다지 정확하지 않았던 옛날에는 잠재적인 구매자들이나 기업 측의 사람들이 이렇게 말하곤 했죠 “이봐, 만약에 그걸 만들 수만 있다면 우리가 관심을 보이겠지만 그건 불가능한 일이야.” 대략 10년 전이나 그 이전에는 그게 표준적인 반응이었습니다. 지금은 표준적인 반응이 이거죠 “이봐, 당신네들이 그걸 할 수 있을 것 같긴 한데, 하지만 누가 그걸 필요로 하겠어?” 아시다시피 이걸 훨씬 더 극복하기가 어려운 문제죠

이러한 현상은 전략 미사일 부문에서도 마찬가지로 발생하고 있다. 이것은 미사일의 정확도 증가가 불필요하게 되었다는 것이 아니라, 관성 기기의 오차가 역돌출부를 구성한다는 것에 대한 동의를 깨어졌음을 의미한다. 여러 해 동안 미 공군의 탄도 미사일 사업에서 중요한 역할을 담당했던 존 헤퍼(John Hepfer) 소장의 다음과 같은 발언은, 과연 공격할 만한 가치가 있는 뚜렷한 역돌출부가 존재하는가에 대한 회의적 시각을 보여주고 있다.

되어야 한다. 선제 핵무기 공격은 소련의 전쟁 계획에서도 매우 중요한 사항이다. Erickson(1982), Meyer(1983-1984)를 보라.

60년대에는 …… 오차를 가장 많이 만들어내는 것이 가속변계였습니다. 그것이 주요한 오차의 원인이 되었지요 …… 이제 가속변계의 오차를 0으로 낮추었다고 칩시다. 그래도 (전체 시스템의) 오차는 줄어들지 않습니다. 왜냐하면 이전 잡음의 수준이 문제가 되기 때문이지요 가속변계는 더 이상 오차의 주요한 원인이 아닙니다. 거기에는 다른 오차의 원인들이 있고 우리가 그걸 해결할 때마다 또다른 오차의 원인을 찾아내게 됩니다. 즉 우리는 어디에나 200~500개 정도의, 동등한 크기를 가진 오차의 원인들이 널려 있는 고지대에 와 있는 셈입니다. 그것들 각각을 밀어서 떨어뜨리려고 시도하다 보면 오차의 원천이 드러나게 되고, 사람들은 “우리가 이것을 해결할 수 있고 또 해결할 것이다”고 말하겠지요 하지만 그렇게 하는 순간, 당신은 그것이 수많은 문제점 중의 하나에 불과하다는 사실을 알게 됩니다 …… 우리는 지금 우리가 해결해 내는 것보다 더 많은 오차의 원인들이 발견해 내는 시기에 도달해 있습니다.

상황을 이렇게 파악하는 인물은 헤퍼 소장뿐만이 아니다. 그리고 관성 기기를 더욱 개량함으로써 이렇게 인지된 물리적 난제들을 해결하고 미사일의 정확도를 높이는 것은 경제적인 문제에 속한다. MX 미사일의 자이로스코프와 가속변계의 높은 정확도는 아주 값비싼 기술로서 전략 시스템이 허용하는 비용에 비추어서도 대단히 비싼 것이다. 헤퍼 소장은 다음과 같이 말한다. “훨씬 줄어든 비용을 가지고 동일한 정확도를 만들어내는 방향으로 설계의 목적이 바뀌어야 하며, 실제로도 그렇게 바뀌고 있습니다.” 드레이퍼 연구소의 데이비드 호그(David Hoag)는 나에게 보낸 편지에서, 물리적 장벽에 도달했다는 것에는 부정적인 반응을 보였지만 경제적인 장벽은 그랬을지도 모른다는 사실에 동의하였다. “장벽이라는 건 뚜렷하게 인식하기가 어렵습니다. 나는 자기충족적인 관성 유도 무기 시스템이 가능할 것으로 믿지만, 누가 거기에 돈을 대겠습니까?”

장벽의 성격에 대한 이러한 인식은 제4세대 기기의 발전이 연구자

금의 부족이나 응용에 대한 회의적 시각으로 인해 중단될지도 모른다는 점을 암시한다. 왜냐하면 실험실 내부의 호기심 충족에 그칠 것들만이 만들려고 시도할 기술자들은 거의 없기 때문이다.<sup>38)</sup> 그러나 이미 존재하는 기술의 진화적 발전에 의해 성취될 수 있는 탄도 미사일의 정확도의 (자연적·사회적) 한계에 대한 현재의 논의가 다른 귀결을 낳을지도 모른다. 그렇게 되면 기존 기술로부터의 급진적인 이탈만이 결정적으로 정확도를 증가시킬 수 있는 유일한 희망으로 보일 것이다. 이와 관련하여 가장 가능성이 많은 것은 터미널 유도(terminal guidance) 방식이다. 현재의 미사일이 대부분 지구 대기권에 재진입할 때 자유낙하 궤도를 그리는 데 반해, 터미널 유도 방식에서는 대기권에 재진입하는 미사일을 목적지까지 곧장 유도한다.<sup>39)</sup> 그러나 터미널 유도 기술을 위해서는 실험실 내부에서의 발전 이상의 무엇이 필요하다. 몇몇 군부 집단은 그것이 적군의 방해에 취약하다는 군사적 약점을 가지지 않고 정확도를 향상시킬 수 있을지에 대하여 회의적인 시각을 가지고 있다. 또한 터미널 유도 시스템에서는 대기권 재진입 로켓에 시스템의 중량이 더해지기 때문에 탄두의 크기를 줄여야 한다는 문제점이 존재한다. 아마도 미국이나 소련은 지상 유도 방식을 대대적으로 병기창에 도입하기 전에 효과적인 비행 테스트를 시도해야 할 것이다.

현재는 군비 제한이 문제가 되고 있는 상황이다. 왜냐하면 탄도 미

38) 전략적 방위 계획(SDI: Strategic Defense Initiative)은 제3세대 자이로스코프 기술을 응용할 수 있는 영역을 제공한다. 이것은 드레이퍼 연구소가 현재 상당한 관심을 기울이고 있는 영역이다. 이것이 제4세대 기기의 개발에 관한 전망을 변경할런지는 분명하지 않다. 그러나 정조준을 위한 지시와 추적 때문에 SDI는 관성 유도 방식을 채택하지 않을 것으로 보인다.

39) 이것이 제4세대 혹은 제3세대 기술을 명확하게 의미하지는 않는다. 재진입 차량이 (레이다 영상과 '지도'의 결합에 의해 안내되는 대신에) 관성적으로 안내되려면 (재진입 차량에 관한 비용 때문에) 비용은 커져야 하지만 (발생한 오차가 미사일 충돌에 영향을 미칠 시간적 여유가 없기 때문에) 매우 정확해질 필요는 없다.

사일의 시험 비행에 대한 포괄적 금지(적절하게 취해진 부분적 금지도 마찬가지인데)로 인해 미사일의 정확도가 더이상 발전하는 것이 사실상 어려워질 수도 있기 때문이다. 만약 이러한 조치가 도움이 되고 또 바람직한 것이라면, 그것이 불가능한 것으로 배제되어서는 안될 것이다.<sup>40)</sup>

#### IV 행위자 - 인격망 접근

40) 비행 테스트의 금지는 미사일의 정확도가 이미 높기 때문에 기술적으로는 별다른 영향을 미치지 않겠지만, 기존 미사일의 정확도에 관한 확신을 서서히 파괴할런지도 모른다. 고정확도(원형 오차의 제거)가 핵탄두를 재래식 탄두로 대체할 것인지의 여부에 대해서는 많은 논의가 진행되었다. 나는 회의적이다. 1960년대 말 이래 미국 미사일의 정확도 증가는 탄두의 파괴력을 감소시키지 못했다는 점을 생각해 보라.