

트라이볼로지 기술의 국내현황 및 연구동향



권 오 관 (KIST 기계공학부장)

- '60-'64 서울대학교 화학 학사
- '75-'76 영국 Leeds University 기계공학 석사
- '79-'81 영국 Wales University(Swansea) 기계공학 박사
- '82-'87 KIST 트라이볼로지연구실 실장
- '87-현재 KIST 기계공학연구부 부장

전공분야 및 관심분야

미끄럼 접촉부위에서 열적작용에 의해 발생하는 마모기구를 전공하였으며, 주 관심분야는 기계장치의 condition monitoring 기술, wear control 기술, 각종 공업용 소재(복합재료, 세라믹 등)의 마찰 및 마모기구 규명과 트라이볼로지적 측면에서 기계류의 최적설계분야 임.

1. 서 론

현재는 경쟁국가 또는 경쟁기업을 대상으로한 기업전쟁의 시대이다. 얼마나 우수한 물건을 저렴한 가격으로 생산해서 판매할 것인가 하는 문제가 기업의 생존과 그 나라의 수출을 좌우한다고 해도 지나친 말이 아니다.

국내 기업이 당면하고 있는 여건을 살펴보면, 우리나라의 국제적 지위가 상승함에 따라 무역에서의 특혜관세 철폐, 선진국의 경쟁상대 인식에 의한 각종규제 또한 최근에 가속화되고 있는 원화질상 및 인건비 상승등으로 주로 가격에 의해 국제시장을 침투하였던 종래의 패턴이 흔들리고 있다.

이제 이러한 문제들은 우리 자신으로 부터 돌파구를 찾아야 하며, 기술혁신만이 해결의 열쇠이다. 국내 기계공업은 선진공업입국의 기치아래 비약적인 발전을 거듭해 왔으며, 근년에 이르러서는 기계공업의 집약체라 일컬어지는 자동차 산업을 국내에 토착화 시키고 고도의 종합기술을 요하는 항공산업 육성을 추진하는등 괄목할 만한 신장을 보이고 있다. 그러나 이러한 급성장 이면에는 개발효과가 즉각적으로 가시화 될 수 없는 원천기술에 대한 연구개발이 등안시 되었기 때문에 공업이 성숙된 현 시점에서 핵심기술은 거의 대부분 외국에 의존하고 있는 기현상을 나타내고 있다.

공업이 다변화 되어 있는 구조에서 모든 분야를

첨단수준으로 끌어올리기는 어렵지만, 선진국으로 돌입하기 위해서 공업의 근간을 이루는 일반 기술은 확고하게 국내 토착화가 이루어져야 하며 기술의 한계를 돌파할 수 있는 원천기술은 필히 첨단수준에 도달하여야 한다. 트라이볼로지(tribology)는 원천기술인 동시에 기반기술인 특성을 지니고 있으며, 국내공업이 발전할수록 트라이볼로지와 관련된 문제점들이 여러 공업분야에서 제기 될 것이다.

트라이볼로지란 용어는 1966년 영국에서 조성한 언어로 “상대 운동을 하면서 서로 영향을 미치는 표면 및 이와 관련된 제반문제와 실제 응용에 관한 과학과 기술”로 정의되고 있다. 따라서 트라이볼로지 기술분야는 상대운동이 수반되는 문제를 대상으로 하는 것으로 기본 기계요소인 기어, 베어링에서 발생하는 문제에서부터 컴퓨터의 자기 디스크와 리더간의 운동에 이르기까지 그 응용 대상이 매우 광범위하다. 트라이볼로지는 1980년대 들어와서 연구가 매우 활발해져서 매년 6,000여 편의 관련 논문이 세계적으로 발표되고 있다. 미국의 예를 살펴보면 과학재단, 에너지성과 각군 연구소의 활발한 지원하에 연구가 수행되며, 대학에서의 트라이볼로지 연구팀수도 점점 증가하고 있다. 또 산업계에서도 전반적으로 트라이볼로지의 중요성을 인식하여 별도 연구실등을 운영하면서 필요한 연구를 추진중에 있다. 이와 같이 선진국에서 트라이볼로지 연구에 국가적 차원으로 심혈을 기울이는 것은 트라이볼로지 기술개발로 에너지 절약에 의한 경제적 효과가 산업전반에 걸쳐 널리 파급되며, 첨단기술 분야인 초고속·초정밀·고진공·극저온 기술등이 트라이볼로지 기술과 병행되지 않고서는 현재의 기술벽을 돌파하는데 그 한계를 느끼고 있기 때문이다.

2. 트라이볼로지의 胎動 및 發展

2.1. 트라이볼로지의 胎動

트라이볼로지란 용어는 아직 국내 관련 기술 자에게도 생소한 감을 주고 있으나 윤활 또는 마찰·마모는 실제 현장과 직결된 문제로 나름

대로의 작업지침을 가지고 대처하고 있다. 트라이볼로지를 부연설명하면, 마찰(friction)을 조절하고 마모(wear)을 방지하여 윤활(lubrication)상태 즉 상대운동이 원활히 수행되도록 하는 기술이라고 지칭할 수 있다. 따라서 트라이볼로지란 용어가 조성되었을 때 그 의미는 넓은 의미의 윤활 범주와 별다른 차이가 없었다. 그러나 윤활이라는 용어가 있음에도 불구하고 유사한 의미의 트라이볼로지란 용어를 새로 만들어 사용하게 된 데에는 그만한 사회적 배경과 기술적 배경이 있었다. 선진국에서 어떤 획기적인 선을 긋는 기술배경을 고찰해 보는 것은, 국내기술이 향상됨에 따라 선진국이 겪었던 같은 문제에 당면하게 될 것이므로, 국내기술발전 방향을 올바르게 수립하고 선진국과의 기술격차를 단시간내에 좁히는데 필요하므로 트라이볼로지 용어의 생성 경위를 살펴보고자 한다.

1964년 영국에서는 자국의 윤활교육과 윤활연구 현황 및 산업계의 요구 정도를 국가적 차원에서 조사하여, 대학·연구기관·기업체에 대한 윤활기술 현황과 윤활을 개선함으로써 절약할 수 있는 에너지 등에 관하여 보고서를 작성하였는데 이에 의하면, 윤활개선에 의한 경제적 효과로 당시의 연간 영국 국가예산의 약 10%에 상당하는 5.15억 파운드의 절감이 가능하다는 결과가 제시되어 전세계 기술인들의 이목을 집중시켰다. 이러한 경제적인 효과를 얻을 수 있는 내역을 살펴보면, 그림1에 제시한 바와 같이 보수유지·부품교환 및 파손에 의한 비용절감, 수명증대에 의한 투자비절감, 마찰손실의 감소에 의한 에너지 절감, 가동률 및 효율향상에 의한 투자비 절감, 윤활제 비용의 절감 및 인건비 절감등이다. 그 후 영국에서는 윤활분야를 하나의 전문적 학문분야로써 조직적인 연구 및 교육활동을 촉진시키기 위하여 현장적인 어감을 주는 “윤활” 대신 이의 확장된 의미로 “트라이볼로지”라는 용어를 제정하고, 트라이볼로지 연구 및 교육의 확충을 획기적인 국가 중요사업으로 추진하게 되었다.

트라이볼로지는 구미에서 뿐만 아니라 일본에서도 공업이 궤도에 진입하면서, 적극 대처해야 할 核心技术로 부각되었다.

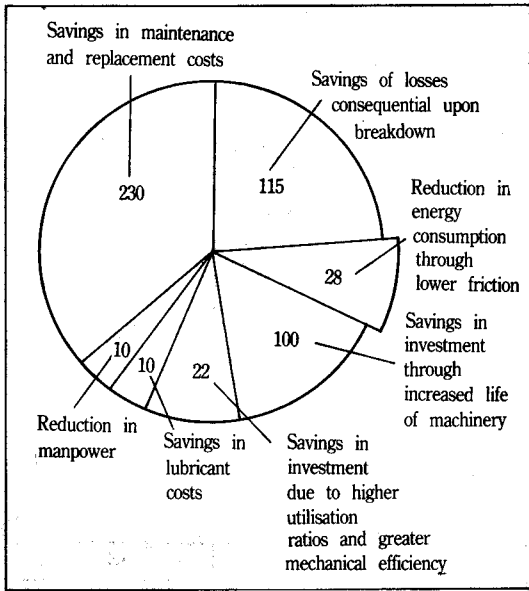


그림 1) 트라이볼로지를 통한 에너지 절감[1]
(Jost 보고서, 단위 = £million, 1965 values)

日本潤滑學會의 설립취지서(1955년)의 일부를 발췌하면[2] “일단은 겉보기로는 국제수준에 도달한 것처럼 보이나 機械의 性能이나 運轉의 信賴性에 있어서는 아직도 국제수준보다 낮다는 사실, 또 성능상 국제수준에 접근한 기계를 제작하여도 수명의 점에서는 국제 수준보다 저하한다는 사실, 더우기 고급의 기계가 취급불량으로 성능과 수명을 충분히 유지하지 못하고 단기간에 마모되는 사례, 이러한 제문제의 기본학리 또는 기본기술은 廣義의 潤滑분야에 속하는 것이고, 이 학문과 기술은 본래 기계공학·화학·물리학·금속재료학 등에 걸친 중간영역을 구성하고 있기 때문에—자칫 경시하기 쉬웠던 것입니다.—오늘날 潤滑에 대한 이해는 더 넓은 것입니다.” 또한 취지서 후반부에는 潤滑 문제들이 기계 기술자에게 큰 장애가 되고 있는 것을 통감한다고 記述되어 있다. 설립취지서 내용중에는 현재 우리나라의 기계공업 실정과 부합되는 부분이 많이 있는 것 같다.

영국에서의 트라이볼로지나 일본에서의 광의의 潤滑은 그 개념과 시각이 거의 동일한 것으로 기술발전의 장애기술로 인식을 같이 하고 있다.

현재에는 일본에서도 트라이볼로지 용어를 도입하여 潤滑기술을 총칭하고 있다.

2.2. 트라이볼로지에 의한 경제적 효과

트라이볼로지의 궁극적 목표는 상대운동이 유발되는 개소의 주위 분위기하에서의 마찰·마모 및 潤滑측면의 연구를 통하여 요소의 효율을 향상시키고 이와 관련된 재료의 개발, 마모현상 규명 및 기계·장치류의 파손을 예측하고 방지하는 기술을 개발함으로써 기계·장치류의 고품질화·성력화 및 높은 신뢰성을 보증하는데 있다. 따라서 트라이볼로지는 순수한 공학적 측면만 아니라 현장과 밀접되어 있으며 경제적인 측면도 강력하게 고려되고 있는 특징을 나타내고 있다.

에너지 문제는 1970년대에 세계적으로 오일파동을 겪으면서 인간에게 심각한 문제로 부각되었고, 이에 따라 대체에너지 연구가 활발해지고 에너지 절감대책등이 수립되기에 이르렀다. 이의 일환으로 팔목할 만한 주목을 받은 것은 트라이볼로지에 의한 에너지 절약이다. 미국에서는 에너지성(US Department of Energy)의 의뢰를 받아 1976년 미국기계학회(ASME)에서 주요산업에 대한 자국의 에너지 소비현황과 트라이볼로지의 R&D비용 및 연구결과에 의한 에너지 절약효과등에 대해서 보고서를 작성하였다[3]. 주요산업분야를 표1에 제시한 바와 같이 4개로 분류하고 에너지 소비량 및 트라이볼로지에 의한 에너지 절감효과를 예측한 결과 미국의 총에너지 소비량의 5.3%를 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었으며, 트라이볼로지의 R&D비용에 대비한 에너지 절감비용을 계상한 결과 연구투자가치는 62배에 달하는 것으로 평가되었다.

독일에서는 트라이볼로지 연구분야를 보다 세분화하여 R&D 프로젝트 계획을 1976년 정부 부처인 연구기술성에서 발표하였는데 이에 의하면, 8개분야에 걸친 트라이볼로지 연구의 R&D비용으로 0.8억 마르크를 추정하고 이의 경제적 효과로 62.5억 마르크에 상당하는 에너지를 절약할 수 있다고 분석하였다[4].

표1) 트라이볼로지 R&D 비용 및 에너지 절감

(ASME, 1980 US\$)

| Program area | Type of energy used | Potential Energy Savings | | Estimated R&D cost M\$ us | Benefit* ratio |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|----------------|
| | | % US consumption | G \$ us/a | | |
| Road transportation | Oil | 2.2 | 8.9 | 16.1 | 55 |
| Power generation | All types | 0.2 | 0.9 | 3.2 | 30 |
| Turbo-machinery | All types | 1.1 | 4.4 | 7.8 | 57 |
| Industrial machinery and processes | All types | 1.8 | 7.2 | 7.6 | 93 |
| Total | | 5.3 | 21.4 | 34.7 | 62 |

$$*Benefit\ ratio = \frac{Savings}{10 \times cost\ of\ R\ \&\ D}$$

표2) 트라이볼로지 R&D계획

(독일, BMFT-FB 76-38)

| Group | Sub-group | Estimated R&D cost in oos, DM(1975) |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Dry friction | Friction of solids | 10,210 |
| | Abrasive wear | 16,350 |
| Fluid friction | Hydrodynamics | 4,893 |
| | Elastohydro dynamics | 3,769 |
| Boundary friction | | 2,120 |
| Measuring and testing | | 12,673 |
| Materials and lubricants | Materials | 12,061 |
| | Lubricants | 2,453 |
| Manufacturing processes | | 12,850 |
| Tribologically correct design | | 5,844 |
| Maintenance | | 4,800 |
| Total | | 88,023 |
| Energy savings | | 6,250,000 |

2.3 복합적응 제어기술로서의 트라이볼로지

트라이볼로지는 앞에서 언급한 바와 같이 다 분야 공동연구를 필요로 하는 기술이다. 이에 대한 이해를 돕기위해 예로써, 국부적인 부분에 고하중을 받는 요소에서 나타나는 물리적 현상을 고찰해 보면 다음과 같다.

그림2에 도시한 바와 같이 접촉부위는 하중에 의하여 변형이 생기고, 표면이 상대운동으로 인하여 운동을 저항하려는 방향으로 마찰력이 존재하게 되며, 이 결과 열이 발생하게 된다. 윤활제의 기능은 두 표면을 유막으로 분리시켜 마찰력과 마찰열의 생성을 억제시키며, 대류에 의한 냉각효과를 가져온다. 재료에는 반복응력이 작용하게 되고 마찰에 의하여 온도가 상승하게 되며, 재료내부의 기공이나 결함부위에 윤활제가 침투하여 화학적 작용이 생기고 재료의 조직이 변하게 된다. 또한 운동표면은 표면간의 미세 돌출부(asperity)의 접촉, 마모입자와의 접촉으로 인하여 표면입자가 이탈되고 소성변형이 생기며, 표면의

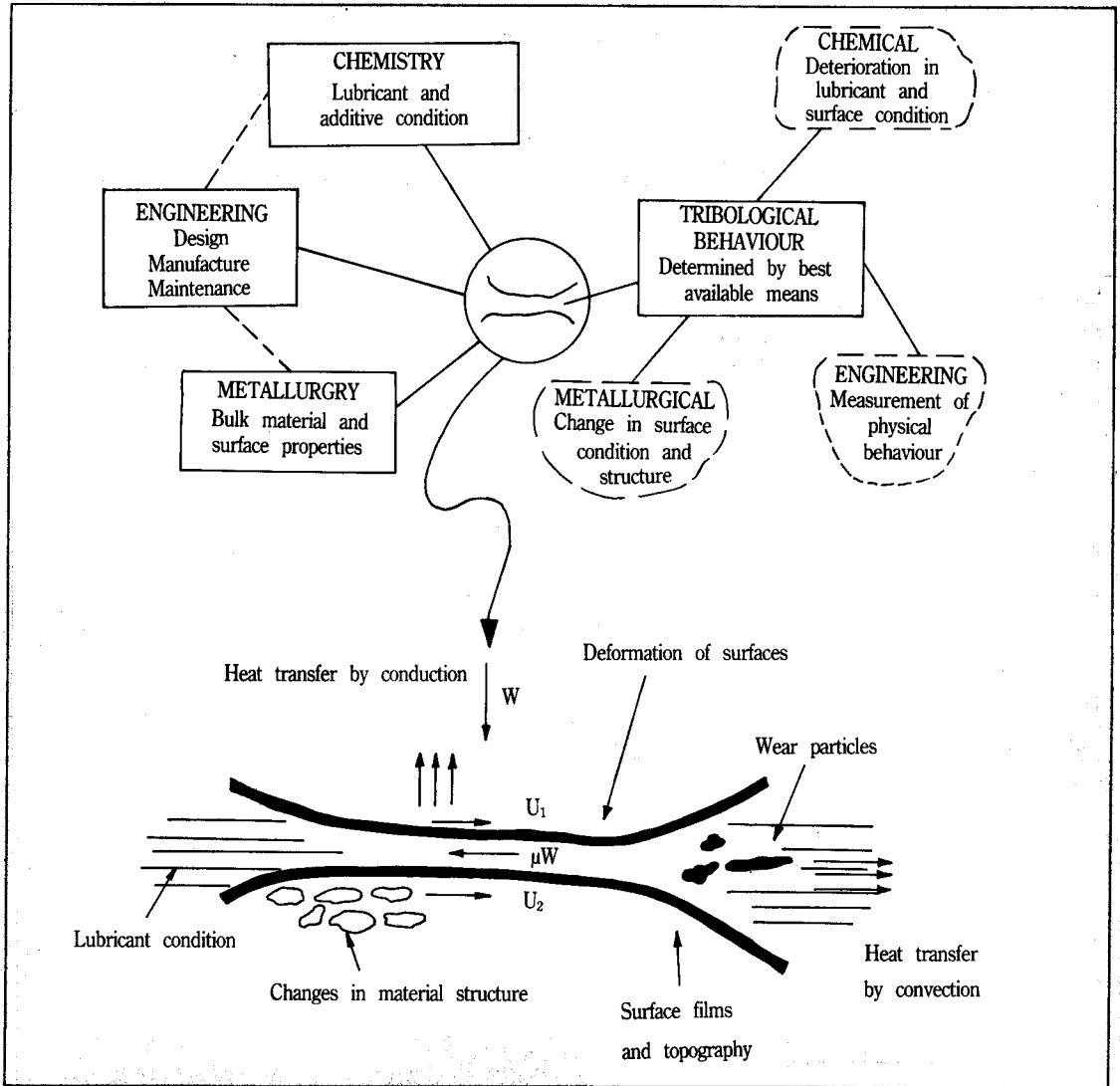


그림2) 상대운동을 하는 접촉부위의 모식도

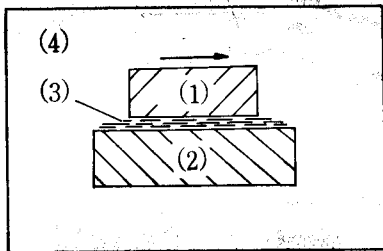
마이크로적인 형상이 변화하게 된다. 운동표면의 설계에 있어서는 유착의 두께 마찰열에 의한 온도상승 및 최대 접촉응력등이 유효한 자료가 되며, 이를 기준으로 운동표면이 형상설계, 재료의 기계가공 방법 선정, 금속학적 측면에서의 재료특성 및 표면특성, 화학적 측면에서 윤활제와 첨가제의 조성 및 특성을 고려하여야 한다. 표면이 상대운동을 하게 되면 재료의 표면상태와 구조가 변화하고 윤활제와 표면의 조건이 화학적으로 저하

된다. 이러한 상태의 감지에 있어서는 윤활제에 함유된 마모입자 분석이 유용한 수단으로 사용되고 있다.

그림2는 가장 전형적인 윤활 시스템을 나타낸 것이다. 그러나 좀더 포괄적으로 상대 운동을 하는 트리보 시스템(tribo-system)을 고찰해 보면 표3에 제시한 바와 같이 기계요소 뿐만 아니라 각종 전자장비 및 공작물의 성형시 공정과정도 트라이볼로지의 기술 영역에 포함된다.

표3) 트리보 시스템의 구성예

| Tribological system (or process) | Elements of the system | | | |
|-------------------------------------|--|--|---------------------------|---------------------------|
| | Tribo-element (1) (moving or stationary) | Tribo-element (2) (moving or stationary) | Interfacial medium (3) | Surrounding medium (4) |
| Sliding bearing | shaft | bushing | lubricant | air |
| Band clutch | shaft | band | - | air |
| Disc brake | disc | pad | contaminant | air |
| Worm gear set | worm | gear | gear oil | air |
| Cam and follower | cam | follower | lubricant | air |
| Printing unit | print-head | paper | dye | air |
| Audio pick-up | record | sapphire tip | - | air |
| Electrical contact | ring | brush | spray | cover gas |
| Locomotion | wheel | rail | contaminant | air |
| Pipeline | fluid | pipeline | - | - |
| Wiredrawing | wire | die | borax | air |
| Hot extrusion | billet | die | glass | air |
| Turning | workpiece | cutting tool | cutting fluid | air |



- (1) Tribo-element(moving)
- (2) Tribo-element(stationary)
- (3) Interfacial element(lubricant,etc.)
- (4) Environment(atmosphere)

System envelope

작동조건 및 주위분위기로 트리보 시스템에 큰 영향을 미치고 있는 요인으로 기계류의 일반 경향인 고속·고부하의 작동조건, 그리고 극한기술로 국내에서 연구가 활성화 되기 시작한 극저온·고진공등의 주위 분위기하에서는 상대 운동 부위에서 나타나는 물리적 현상이 매우 복잡해진다. 이와같은 가혹한 작동조건 극한의 주위 분위기를 이용하는 기술에서 예로기술중의 하나가 상대 운동 부위와 관련된 트라이볼로지 기술로써 현재

첨단기술분야의 한 부류로 연구가 수행되고 있다.

3. 극한조건에서의 트라이볼로지

3.1. 고속기술에서의 트라이볼로지

고속기계류의 현황을 살펴보면 터보 기계류의 저어널에서 미끄럼 속도가 150×200m/s, 기체윤활(氣體潤滑)을 하는 경우 미끄럼 속도는 약 300

m/s의 고속에 달하고 있으며, 이는 앞으로도 계속 증가할 전망이다. 工作機械에서는 軟質 금속의 경우 절삭속도가 50~80m/s, 鋼이나 주철의 절삭은 20 m/s에 달하는 고속기계가 현장에 투입되고 있으며, DN值로 10°이 목표가 되어 개발이 추진되고 있다.

특수한 경우를 제외하고, 高速回轉軸에는 거의 대부분 저어널 베어링을 채용하여 油膜으로 하중을 담당하고 있는데 상대속도가 증가하면 다음과 같이 문제점이 생기게 된다.

- 마찰저항이 증대하여 效率이 저하된다.
- 마찰손실에 의한 熱發生으로 각부의 온도가 상승되며, 베어링재료·윤활유에 나쁜 영향을 미친다.
- 온도상승으로 인한 최소 유막두께의 감소로 축과 베어링과의 직접 접촉되어 놀러붙음(seizure)이 발생할 위험성이 크다.
- 유막의 불안정으로 회전기계의 진동특성이 불량해진다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 현재 亂流 潤滑상태에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 탄소고리가 긴 고분자 재료를 첨가한 윤활제를 사용하여 마찰저항을 감소시키는 방법이 시도되고 있다. 또한 온도상승을 억제하기 위하여 급유법과 베어링의 구조를 개선하려는 연구가 진행되고 있다. 현재 실용화되어 있는 방법은 베어링 헤드 사이에 multi nozzle을 배치하여 외부에서 온도가 낮은 윤활유를 계속적으로 분사시켜주는 방법으로 종래의 壓力室型 給油法에 비해 마찰손실을 감소시키고 온도상승을 억제하는 우수한 특성이 있는 것으로 보고되고 있다.

高速 回轉機械에 있어서 振動問題도 심각하게 제기되는데 진동의 원인은 크게 세가지로, 회전체의 불균형에 기인한 강제진동, 油膜의 불안정 작용에 의한 자려진동(oil whip), 작동유체에 기인한 진동으로 대별된다. 특히 고속의 운전조건에서는 뒤에 기술한 두가지 원인이 큰 문제를 야기시킨다. 油膜은 본래 진동을 감소시키는 작용이 있어 축을 안정하게 회전시키는 성질이 있지만 운전속도가 증가하면 oil whip현상이 발생하여 축의 자려진동을 유발한다. 일단 이 상태에 도달하면 축회전 속도를 감소시키지 않는한 진

동을 제어할 수 없다. 따라서 고속 회전기계에서는 oil whip 현상을 절대적으로 방지하여야 하며, 이의 대책으로는 2圓孤 또는 3圓孤의 저어널 베어링을 설계하여 사용하고 있다. 作動流體에 기인한 진동은 최근의 고성능 터보기계에서 빈번하게 발생하는 문제로 소형경량의 로터에 고압의 유체가 작용을 함으로써 발생된다. 이에 대한 대책으로는 저어널베어링의 형식·제원 그리고 적절한 운전 조건 유지 등이 필요하다.

앞에서 살펴본 바와 같이 고속기술은 베어링의 설계 및 윤활기술과 직접적으로 관련 된 것으로 고속기술이 응용되기 위해서는 저어널 베어링, 공기 베어링(air bearing)등에 관한 트라이볼로지 기술이 충분히 확립되어야 한다.

3.2. 고진공에서의 트라이볼로지

고진공 주위 분위기는 전자산업에서의 IC, LSI 제조장치 및 宇宙機器에 널리 응용되고 있다. 고진공에서는 윤활특성이 일반적인 주위 분위기 경우와 매우 다르므로 구동기구의 潤滑法이 연구개발의 목표가 되고 있다.

고진공용 윤활제는 우주개발 사업과 더불어 발달하기 시작하였으며, 현재 NASA의 비행센터에서는 33종의 진공용 윤활제를 판매하고 있다. 고진공용 윤활제는 PFPE와 CF₂를 기본으로 하고 있으며 내열성·내약품성이 우수하며 점도 지수가 높고, 일반 윤활제와 비교해 특히 우수한 점은 증기압이 매우 낮아 오염을 방지할 수 있는 점이다. 상품화된 PFPE유의 증기압은 20°C에서 10⁻¹⁰Pa이하이며, 100°C에서도 10⁻⁶Pa이하이다. 또한 고진공과 관련되어 표면처리 기술 및 고체 윤활제도 급속히 발전되어 현재에는 동력전달용으로 고분자계 재료가 널리 사용되고 있으며, 표면처리기술의 발달로 마모 특성이 우수한 기계요소 제품이 개발되고 있고, 고진공 뿐만 아니라 일반 주위분위기에서도 무윤활 상태로 운동시키고자 하는 연구가 계속되고 있다.

근래에는 국내에서도 고진공 주위분위기를 요하는 산업이 확장일로에 있으며, 고진공 펌프인 turbo molecular 펌프, cryo펌프 등의 국산화가

추진되고 있다. 이러한 기술이 충분히 성숙하기 위해서는 무엇보다도 고진공에서의 윤활기술 확립이 급선무가 된다.

3.3. 저온 및 고온에서의 트라이볼로지

초저온 및 초고온 분야도 초고속·고진공과 더불어 극한기술로 우리나라의 장기 연구계획에 포함되어 추진되고 있는 첨단 분야이다. 초저온 기술은 산업체에서 액화천연가스를 만드는 기술에 주로 활용될 전망이며, 더 나아가서는 로켓트의 연료로 이용되는 액체산소 및 액체수소등의 제조와 관련되어 우주산업과 연계되는 기술이다. 저온기술과 관련되어 발생하는 트라이볼로지 문제는 극저온 액체를 운송하는 터보 펌프와 축계에서 발생된다. 저온 분위기하에서는 저온에서 양호한 강도특성과 자기 윤활성이 있는 PTFE수지, 섬유강화한 재료들의 주로 활용되고 있으며, 이러한 신소재에 대한 윤활특성 및 마찰·마모 특성은 계속 연구중에 있다. 고온 분야에서는 신소재로 세라믹이 다분야에서 각광을 받고 있으며, 세라믹의 마찰특성은 미국과 영국이 공동 연구개발을 수행하고 있는 등 현재 트라이볼로지의 주된 관심기술 중의 하나이다.

4. 선진국의 트라이볼로지 연구동향

기계화·자동화의 진전과 생산성향상에 따라 사용하는 기계류 및 장치류도 고가화되고 있으므로 기계의 고장과 손상에 의한 경제적 손실은 적극 대처해야 할 중요한 과제로 부각된다. 손상요인중 대부분은 마모·피로·부식으로 특정한 업종에 국한되어 발생하는 것이 아니라 공업 전반에 걸쳐있는 문제이기 때문에 선진국에서는 이의 해결을 위하여 국가적 차원에서 트라이볼로지 기술을 지원하고 있다.

4.1. 트라이볼로지 연구조직

트라이볼로지의 진원지인 英國에서는 1966년 Jost보고서가 발표되어 트라이볼로지에 의한 경

제적 효과가 그림1에 제시한 內譯으로 가시화됨에 따라 産業界에 摩擦, 摩耗 및 윤활기술의 지원 필요성이 국가적 차원에서 대두되어 1968년 국립트라이볼로지 센터(National Center of Tribology)를 설립하였다. 또한 同年에 Risley, Leeds, Swansea 3개 지역에 센터를 설립하여 5년간은 政府의 자금지원하에 운용하였다. 1980년대에 들어와서는 구미 각국에서 영국의 트라이볼로지 센터와 유사한 기관이 설립되었으며 국가적인 연구개발 투자사태가 증대되었다. 유럽지역을 보면 1984년 체코에 트라이볼로지 국립센터가 설립되었으며, 독일에서는 1985년 도르트문트에 Tribology Consulting Center가 창설되었다. 기타 미국·일본·캐나다 등에서도 국립 또는 지역적인 트라이볼로지 센터를 구상하고 있는 것으로 보고되어 있다.

선진국의 연구투자 사례를 보면 일본 통산성의 산업계 기초연구 지원 과제에 트라이볼로지가 포함되어 있으며, 독일에서도 적극적인 정부의 지원하에 공동연구 개발이 추진되고 있다. 미국에서의 연구는 보다 조직적이고 광범위한데 DOE/EUCT의 트라이볼로지 연구계획[5]에 의하면 표4에 제시되어 있는 주요항목에 대하여, 표5에 분류한 바와같이 정부기관·대학·연구기관·회사가 참여하여 유기적인 연구를 수행하고 있다.

표4) 트라이볼로지의 주요연구 항목별 분류

| (DOE/EUCT, 미국) |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ◦ 마찰과 마모에 의한 손상기구 ◦ 재료 및 코팅기술 ◦ 회전요소용 베어링 ◦ 고체 윤활제 ◦ 윤활제 및 작동유 ◦ 극한조건에서의 윤활 ◦ 기계의 내구성 향상 ◦ 기초이론 연구 |

이와 같이 트라이볼로지가 선진국에서 센터를 중심으로 연구개발이 수행되고 정부의 막대한 지원아래 발전되고 있는 것은, 공업전반에 걸쳐 필요한 기술이며, 다분야의 공동연구를 요하는

기술이며, 무엇보다도 국가적 견지에서 경제적 효과가 큰 기술이며, 첨단산업의 벽을 돌파할 수

있는 핵심기술이라는데 그 이유가 있다.

표5) 트라이블로지 연구 수행기관(DOE/EUCT)

| 政府關聯機關 | |
|---|---------------------------------|
| Naval Research Laboratory | NASA Lewis Research Center |
| Naval Ship Research and Development Center-Annapolis | NASA Air Propulsion Test Center |
| U.S.Army Fuels and Lubricants Laboratory, FT. Belvoir | Naval Air Development Center |
| Army Mechanics and Materials Research Center | Watervliet Arsenal |
| National Bureau of Standards | Picatinny Arsenal |
| AF Propulsion Laboratory | Oak Ridge National Laboratory |
| AF Materials Laboratory | Argonne National Laboratory |
| | DARPA |
| 大 學 | |
| Rensselaer Polytechnic Institute | Univ. of Connecticut |
| Massachusetts Institute of Technology | Virginia |
| Northwestern | Virginia Polytechnic Inst. |
| Georgia Tech | Cornell |
| University of Calif. Berkeley | New Mexico |
| Penn. State | Missouri |
| Ohio State | Dartmouth |
| North Carolina State | Oklahoma State |
| Univ. of Pennsylvania | Minnesota |
| University of Michigan | Delaware |
| Columbia | |
| 研究機關 | |
| Battelle | Franklin Institute |
| Southwest Research | Dayton Research |
| Midwest Research | DARPER Labs. |
| 會 社 | |
| Pratt and Whitney Aircraft | Advanced Mechanical Technology |
| Mechanical Technology Inc. | Ball Brothers |
| SKF Industries | Sikorsky Aircraft |
| General Electric Evendale | Cummins |
| Westinghouse Research | Hughes Aircraft |
| Teledyne | Effects Technology |
| GEO-Centers | Boeing |
| Ford Research | |

4.2. 트라이볼로지 연구동향

4.2.1. 마찰·윤활·마모

최근의 트라이볼로지 연구는 실용상의 기술과제에 적용하기 위한 기초연구와 응용을 위한 연구가 주류를 이루고 있다.

마찰에 대한 연구는 내마모재료 및 신소재를 대상으로 활발히 연구되어 왔으며, 이에 관한 중요 연구사례를 살펴보면 항공기 및 차량의 브레이크材, 분말야금 및 복합재료를 사용한 마찰재의 개발, 내연기관의 저마찰·저마모에 관한 연구, 전자부품과 관련해서는 전기적 접촉부의 마모특성 등 실제 실용적인 과제를 대상으로 두드러진 연구성과를 보이고 있다.

마찰과정에 대한 연구도 활발히 수행되어 그 결과 PTFE, MoS₂ 및 기타 고온용 폴리머가 첨가제로 개발되어 특히 경계윤활상태의 윤활부위에서 큰 효과를 보이고 있다. 현재 영국에서는 이와 관련하여 고체윤활제의 선정과 적용에 관한 설계 data를 수집하고 있다.

기본 윤활이론은 거의 확립된 단계라고 볼 수 있으나, 최근에는 하이브리드 축수, 탄성유체윤활에서 온도와 짜내기 효과(squeeze effect)를 고려한 비정상 문제, 다공질 재질의 윤활문제, micro EHL과 관련된 비대칭 접촉문제 등이 연구되고 있다. 윤활에 관한 연구의 기본 방향은 실제 문제와 매우 유사한 모델에 대하여 윤활현상을 예측하고자 하는데 있으며, 윤활이론의 고도화는 고속회전기계, 내연기관 등의 설계에 유용한 자료를 제공할 것이다.

마모현상은 금속가공·절삭·마찰절삭·폴리싱 등과 관련되어 많이 연구되고 있으며, 특정한 사항에 대한 실험연구가 대종을 이루고 있다.

4.2.2. 시험기 개발 및 표준화

마찰 및 마모 시험결과는 실험장치 및 주위환경에 따라 큰 변화를 나타낸다. 설계자료로 특정재료의 작동조건에 따른 마찰계수·마모량 등의 특성이 요구되고 있지만 아직 공통된 자료가 확립되지 못하여 대부분 실제 실험에 의하여 측정하고 있다. 최근에는 이와 같은 자료의 표준화를

위하여 마찰 및 마모 측정법, 실험조건 등에 관한 규격화 움직임을 보이고 있다.

4.2.3. 손상분석

기계장치 손상은 트라이볼로지적인 결함에 기인하여 주로 발생된다. 기계장치의 설계시 사용조건, 부품의 내구성등을 기준으로 어느 정도 수명을 예측하나 경우에 따라서는 기계 및 장치의 현재 상태를 파악하고 손상진행 정도를 인지할 수 있는 기술이 필요하다. 예로써 항공기에서 이상유무를 검지하는 SOAP방법이라던가, 각종 플랜트에 설치되는 진동레벨 측정법등이 있다. 트라이볼로지가 발달되면서 기계장치의 상태를 감시하고, 손상을 예방 분석하는 기술도 급속히 발달되었다. 이 분야는 경제적 문제와 직결된 것으로 많은 산업체의 관심을 집중시키고 있어 매년 정기적으로 condition monitoring 이라는 명칭으로 conference가 개최되고 있다. 진동을 측정 분석하여 기계의 상태를 예측하는 방법은 오래전부터 사용되어 온 것으로 국내에서도 많이 응용되고 있다. '80년대에 들어와서는 윤활유에 함유된 마모입자를 분석하여 기계의 상태를 예측하는 기술이 급속히 발전되었으며, 그 응용사례가 광범위하게 보고되고 있다. 마모입자 분석방법을 마모기구에 따라 마모의 형상이 달라지고, 입자의 재질을 분석함으로써 마모가 발생된 부위를 정확하게 알 수 있으며 현재 그 부위가 어떠한 작동상태에 있는가를 규명할 수 있는 지엽적인 특성과 발생된 마모입자 크기의 분포를 통계처리하여 기계상태를 평가할 수 있는 특성을 가지고 있다.

4.2.4. 인공위성 관련기술

인공위성은 국내에서도 종종 거론되는 분야로 연구 활성화가 기대되는 기술이다. 주지하듯이 인공위성은 보수가 불가능한 기기이며 진공상태에서 작동하게 됨으로 무엇보다도 내구성과 진공하에서의 윤활기술이 필요하다. 이에 관련된 연구는 현재 NASA와 ESTL(유럽 우주 트라이볼로지 연구소)을 주축으로 하여 수행되고 있으며, 오염을 방지하기 위해서 증기압이 매우 낮은 윤활제 연구, 고체윤활제 연구, 위성의 대형화에 따라

고강도 저마모재로서 이온 질화강, 복합재료 개발연구 등이 수행되고 있다.

4.2.5. 표면처리

상대운동 부위에서 재료는 구조적 특성이 하중을 충분히 담당할 수 있어야 하고, 상대운동시 마찰이 적고 마모발생을 최소로 억제할 수 있는 표면 특성이 있어야 한다. 이 두가지 요구를 만족시키기 위하여 재료의 표면처리와 코팅 기술이 주로 활용되고 있다.

마모문제에 있어서 윤활이나 재료 선택만으로 획기적인 개선을 기대할 수 없으나 표면처리와 코팅을 통해서 효과적으로 내마모성과 마찰특성을 향상시킬 수 있다. 또한 표면처리와 코팅은 경제적인 측면에서도 상당한 우위성을 가지고 있다. 예로써 내마모성이 강한 원재료를 사용할 때 가공비용이 비싸고 정확한 형상으로 가공하기 어려우므로 연삭재를 사용하여 형상을 가공하고 내마모 표면처리를 하는 것이 경제적이고 일반적으로 응용되는 방법이다. 이에 관한 연구는 미국

EUCT의 트라이볼로지 과제중의 하나로 Ti/Hf/N, Ti/Al/C, Ti/Al/N 코팅등의 하드코팅에 대한 최적 코팅 기술, 이온 이식과 이온 빔 식성기술을 사용한 저마찰, 고내마모성 표면의 생성과, 절삭공구 및 기계요소 에 대한 응용기술에 초점을 두고 있다.

4.2.6. 세라믹·프라스틱

미래의 고온용 재료로 각광을 받고 있는 세라믹의 마모 및 마찰특성도 트라이볼로지의 최신 연구과제로 활발하게 수행되고 있다. 연구내용은 각종 세라믹의 작동조건에 따른 마찰특성 및 마모기구 규명에 중점을 두어 alumina-silicon carbide, diamond-titanium diboride, psz, sialon등의 세라믹 실용화를 추진하고 있다.

재료면에서는 플라스틱에 대한 연구도 활발히 진행되어 플라스틱의 마찰·마모특성을 다각적 측면에서 연구하고 있다. 기계 재료로서의 플라스틱 사용이 증대됨에 따라 고하중용 플라스틱 개발과 사용온도 범위 확장이 주관심 대상이 되고 있다.

표6) 트라이볼로지 발전 현황

| | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
|--------|--|--|---|--|--|------|------|
| 구미 선진국 | <p>제트엔진</p> <ul style="list-style-type: none"> 장수명, 고신뢰도 베어링 고온용 베어링 합성 윤활유 | <p>우주계획</p> <ul style="list-style-type: none"> 진공상태 -기본마찰,마모 메카니즘 연구 -고체윤활유 Tribology개념 등장 | <p>에너지위기</p> <ul style="list-style-type: none"> 기계요소 마찰손실 절감대책 파손방지, 수명연장 보수절감 | <p>원천 복합요소 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> 무윤활 복합재료 내마모 코팅기술 윤활 신소재 기술 Condition monitoring 초정밀 요소 | <ul style="list-style-type: none"> 고속화, 소형화 극한 기술 적용 | | |
| 대한민국 | <p>윤활유 ~~~ 윤활</p> <ul style="list-style-type: none"> 저급기술 복제생산 기본윤활 기술미흡 설계인식 부족 및 tribology 미인식 | <p>Tribology 연구실 발족</p> <ul style="list-style-type: none"> Tribology개념 소개 및 중요성 전파 Condition monitoring연구 착수 (RPD) 베어링 정밀화 연구 엔진마모 및 윤활 최적화 Tribo 기계요소 국산화 Additive 개발 Thermally-activated wear 이론개발 | <p>기계요소 최적화, 마모·마찰 윤활 종합기술</p> <ul style="list-style-type: none"> 선진국 기술수준 도약 Tribology 종합기술 장기적·국가적 투자절실 | | | | |

5. 국내현황과 기술개발 전략

5.1. 국내현황

트라이볼로지란 말이 국내에서 활용하게 된 것은 1982년 KIST에 트라이볼로지 연구실이 창설된 이후로, 그 당시 현장 기술자들에게는 용어조차 생소하였고 이에 관한 인식부족으로 트라이볼로지 관련 기술은 아주 기본적인 기계 및 장치의 보수유지 범주를 벗어나지 못하였다. 선진국과 국내의 트라이볼로지 현황을 비교해 보면 표6에 제시한 바와 같이, 선진국에서는 각 시기에 당면한 과학적인 목표아래 관련된 트라이볼로지 기술이 발전하게 되었다. 국내공업은 '80년대 초반까지만 하더라도 수출증대가 당면한 과제였고 이에 따라 선진국의 기술도입·단순복제 생산이 위주였으며 주요 기계류 및 장치류는 거의 외국에 의존하였기 때문에 기반기술은 상대적으로 소외되어 왔다. '80년대 후반에 들어와서는 국내 공업의 고도화, 기술의 자립화가 최대 당면 과제로 등장되어 산업체에서도 트라이볼로지에 대한 관심이 고조되고 있으나 경험이 전무하고 관련 기술자가 거의 없기 때문에 아직 트라이볼로지 기술의 응용사례는 보고되지 않고 있다.

KIST의 트라이볼로지 연구실 현황 및 그간의 주요 연구내용을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

5.1.1. 기본 트라이볼로지 기술

- 마모입자 분산고착기(RPD)의 개발 및 국제특허획득(사진1) (Swansea Tribology Center와 공동개발)
- Thermally-activated wear 이론 개발 (球 등의 severe wear 발생기구 규명)
- 마모입자 분석의 통계처리 기법
- 탄소섬유 강화 복합재료의 마찰 및 마모특성

5.1.2. 트리보 요소(Tribo-element)기술

- 플라노센트릭 감속기의 국산화 개발 (치형특허 획득)
- 구름요소 베어링의 파손에 관한 data base 구축

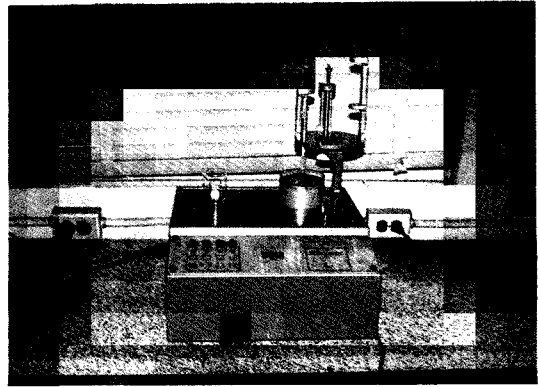


사진1) 마모입자 분산 고착기(RPD)

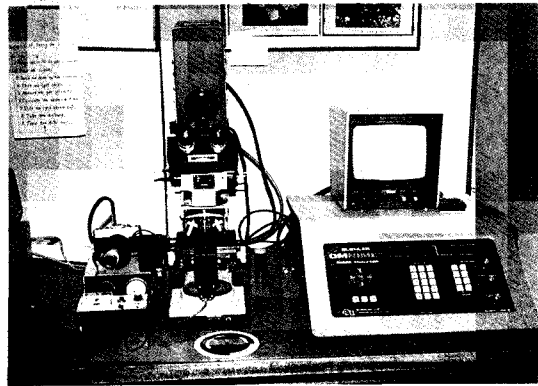


사진2) 마모입자 분석시스템(image analyzer)



사진3) 미끄럼 운동에 의해 발생된 severe wear
C×400

- 알테이너터용 내마모 부상 개발
- 기어 및 미끄럼 베어링 종합설계 기술개발

5.1.3. 트리보 시스템(Tribo-system)기술

- 엔진유허 최적화를 위한 종합기술 개발
- Condition monitoring 기술확립
- 마모입자 분석을 통한 시스템의 손상원인 분석 (사진2,3)
 - LPG엔진 벨브시트의 마모특성 규명
 - 자동차용 기어박스의 기어 손상원인 규명
 - 자동차 tie-rod내 볼의 손상원인 규명
 - 워엄 기어 손상원인 분석

5.1.4. 레올로지 및 윤활재료

- 특수유허제 및 첨가제 개발
- 무단 변속기용 paper facing개발 및 paper의 마찰특성(특히 출원중)
- 염수에 의한 부식방지용 방청유 개발 (특허출원중)
- 액정의 유허제 가능성 연구

학계에서의 연구도 '80년대 후반에 들어오면서 활발하게 진행되고 있다. 한국과학기술원과 인화대학교에서는 EHL이론, 유체유허 및 미끄럼 베어링에 대한 기초 연구를 수행하고 있으며, 서울대학교에서는 마찰기구, 저어널 베어링을 중점적으로 연구하며, 고려대학교에서는 재료의 마모특성, 공사에서는 표면의 oxidation문제를 연구하고 있다.

5.2. 기술개발 전략

선진국의 트라이볼로지 연구 조직에서 살펴본 바와 같이 트라이볼로지는 경제적 효과가 매우 높은 기술이며, 다분야의 공동 연구를 필요로 하고, 기반기술인 동시에 기술의 한계를 돌파하는 원천기술의 특성을 지니고 있으며 모든 공업분야에 파급될 수 있는 기술이므로 국가 주도하에 설립된 센터를 주관으로 하여 산업계·학계·연구소가 공동 참여한 아래 기술개발을 추진하고 있다. 국내에서도 앞으로는 이러한 센터를 설립하여 산업계 애로기술을 지원하고, 트라이볼로지 기술 전문가를 양성하며, 국가적 차원에서 개발하여야 할 기본기술을 도출하고 트라이볼로지의 중·장기 연구계획을 전담할 필요성이 매우 높아질 것으로

생각된다. 그러나 아직 이러한 체계를 구축하기에는 국내의 트라이볼로지 기술수준이 전반적으로 낙후되어 있기 때문에 여건이 미비한 감이 있다.

트라이볼로지에 관한 인식이 전무한 국내실정에서 KIST의 트라이볼로지 연구실은 트라이볼로지 기술의 국내 토착화를 목표로 부단한 노력을 하였고, 그 결과 산업체에서도 트라이볼로지의 중요성을 어느정도 인식하게 되었으며, 학계에서도 트라이볼로지 전문가 수가 증대하여 産·學·硏 협조체제에 의한 기술개발 분위기가 성숙되었다.

국내의 공업이 고도화 단계에 진입하면서 여러분야에서 공통적으로 나타나고 있는 트라이볼로지 관련 기술적 애로사항을 분석해 보면 다음과 같다.

- 국내의 기계요소 설계 및 제작기술
- 정밀·고속 동력전달 시스템
- 신소재의 응용기술
- 기계 및 장치류의 상태감지 기술

이러한 문제에 적극 대응하기 위해서는 표7에 제시한 바와 같은 3단계의 연구개발이 필요하다. 제1단계는 정밀요소 적용기술 개발을 목표로 국내 요소제품의 고품질화를 중점적으로 추진하여 정밀·베어링, 고성능 씨일 및 기어류의 설계 및 제작 기술을 국내 토착화한다. 그리고 재료관련 부분에서는 국내에서 활용도가 매우 높을 것으로 예상되는 차세대의 마찰재 개발 및 신소재의 응용 기술을 개발하여 추후 국내 산업체의 요구에 대응하도록 한다.

제2단계에서는 국내 공업의 고도화가 한창 추진될 시기로 예상되어 고속시스템에 대한 기술과, 공업전반에 복합재료·세라믹·플라스틱 등의 신소재가 다양하게 활용 될 것으로 예측되므로 정밀고속 동력전달 시스템 기술 및 고기능 복합요소 적용기술을 중점 추진하여 트라이볼로지 분야에서는 선진국 기술 수준에 도달하도록 하며 기술 자립화를 이룩한다.

제3단계에서는 국내 공업에서 극한 기술을 활용한 첨단산업의 비중이 높아지며 선진국과 거의 동등한 기술수준을 보유하게 될 것으로 예상되기 때문에 정밀 시스템 적용 및 효율 극대화 기술 방안에 역점을 두어 고성능 터보 시스템, 고속

표7) 트라이볼로지 연구추진 계획

- 정밀요소 적용기술 개발
- 정밀·고속 동력전달 시스템 설계기술 개발
- 신소재 tribology 종합기술 개발
- 고기능 복합요소 적용기술 개발
- 정밀시스템 적용 및 효율 극대화 적용기술 개발

| 단계 항목 | 1 단계 | | | | 2 단계 | | | | 3 단계 | | | |
|--------------|--|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|--|-----|------|------|
| | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 | 2000 | 2001 |
| 단계별 목표 | 정밀요소 적용기술 개발 | | | | 정밀고속 동력전달 시스템 설계기술, 고기능복합요소 적용기술 및 신소재 tribology 종합기술 개발 | | | | 정밀시스템 적용 및 효율 극대화 적용기술 개발 | | | |
| 추진 과 제 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">고정밀 베어링 설계제작 기술</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">고성능 씨일 설계제작 기술</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">고기능 기어 설계제작 기술</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">차세대 friction material 개발</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">신소재 tribology 기술 개발</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">정밀요소 시스템 진동 제어기술 개발</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 100px; margin-top: 20px;">정 밀 요 소 적 용 기 술</div> | | | | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">정밀고속 동력전달 시스템 설계 기술 개발</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">신소재 tribology 종합기술 개발</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">고기능 복합요소 적용기술</div> | | | | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">정밀시스템 적용 및 효율극대화 기술</div> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 정밀고속가공 시스템 응용기술 ◦ 고성능 터보 시스템 응용기술 ◦ 고속 소형 정밀 모터시스템 응용 ◦ 고정도 동력전달 시스템 응용 ◦ 고속가스입자 원심분리기 응용 ◦ 승용차용 가스터빈 응용기술 ◦ 우주항공 응용기술 | | | |

소형 정밀 모터등의 극한 조건하의 트라이볼로지 기술개발을 추진하고자 한다.

상기의 기술개발 내용은 기본기술·응용기술 및 제작기술이 서로 연관되어 있는 것으로 세부 과제별로 산·학·연의 종합 연구팀을 구성하여 추진하는것이 가장 효율적이며, 미래 지향형 소재관련 트라이볼로지 기술과 극한 조건의 트라이볼로지 기술은 연구소 주관하에 수행하는 것이 필요하고 고정밀·고성능 기계요소 설계 및 제작기술은 해당 기업의 적극적인 참여하에 연구개발을 수행하도록 한다. 또한 트라이볼로지 분야는 data bank가 생명이므로 국제적으로도 공동연구가 활발히 진행되고 있기 때문에 국제공동연구에 적극 참여하여 선진기술을 입수하고 국내 토착화를 도모한다.

이러한 다각적인 트라이볼로지 연구개발의 기대효과로는 기계 및 장치류의 고성능화·고신뢰도화 및 에너지 절감을 통하여 제품의 부가가치가 높아지고, 고도기술을 축적한 핵심요소 부품 생산 중소기업의 창출이 기대되며, 첨단기술과 극한상황 적용을 위한 기계기반기술 확립으로 국내 공업의 선진화에 크게 기여할 것으로 사료된다.

6. 맺음말

본고를 통하여 이십여년의 역사를 지닌 트라이볼로지 기술에 대하여 기술의 胎動 및 發展을 살펴보고, 당시 선진국에서의 기술적 문제와 트라이볼로지의 필요성에 대한 상호관계를 유추해 보았다. 공업의 선진화 문턱에서 국내 공업이 발전되어온 과정을 살펴보면, 선진국에서 문제가 되고 장벽이 되었던 기술은 우리나라에서도 마찬가지로 애로기술로 작용하여, 비록 극복시간은 단축할 수 있었어도 많은 기술인이 이의 해결에 고심을 하여왔다.

트라이볼로지는 여러분야에서 장애기술을 돌파하는 역할을 한 핵심기술로 단순한 기술도입만으로는 결코 국내 토착화 시킬 수 없으며, 공업의 선진화를 목표로 하는 한 반드시 자력으로 극복해야 할 기술이다.

선진국의 트라이볼로지 연구조직을 고찰한 바에

의하면 정부 주도하에 트라이볼로지 센터를 설립하고 産·學·研이 공동으로 참여한 가운데 연구가 추진되고 있다. 이는 앞에서 몇번 강조한 것처럼 트라이볼로지에 의한 경제적 효과가 매우 크고 전반적인 공업분야에 응용될 수 있으며, 첨단기술의 기반기술로 활용가치가 매우 높은 기술이기 때문이다.

국내의 트라이볼로지 분야는 KIST가 중심이 되어 개발하여 왔으나 이에 대한 인식부족으로 종합적인 기술개발보다는 기업체의 애로기술을 해결하는데 중점을 두어 왔다. 현재에는 학계 및 연구계의 연구인력도 약 60명 정도 증대되어 트라이볼로지 기술개발에 종사하고 있으며, 산업체에서도 기술의 고도화를 기하고 첨단산업을 추진하는데에 필수적인 기술로 인식되고 있어서 기술개발 전망은 매우 밝다 하겠다.

그러나 공업의 고도화나 선진화는 대기업의 기술수준으로 평가될 수 있는 것이 아니며, 대기업을 뒷받침하는 중소기업의 기술향상 없이는 불가능한 것이다. 중소기업의 기술향상을 위해서는 무엇보다도 정부 주도하에 트라이볼로지 기술을 발전시켜 중소기업에 기술을 지원하는 방안이 필요하며, 중소기업의 기술자들도 나름대로 트라이볼로지 기술의 현장적용에 심혈을 기울여야 할 것이다.

끝으로 본고가 트라이볼로지 기술의 중요성을 재인식시키고 정부차원에서 기술개발 정책을 수립하는데 참고가 되었으면 한다.

참고문헌

- [1] H. Peter Jost, "Economic Impact of Tribology," Mechanical Engineering, pp.26~33, Aug. 1975.
- [2] 佐藤準一, "潤滑學會 30年の歩み," 潤滑, 第31卷, 第1號, pp.29~37, 1986.
- [3] Strategy for Energy Conservation through Tribology, ASME, New York, Nov. 1977.
- [4] H.P. Jost and J. Schofield, "Energy Saving through Tribology: A Techno-Economic Study," IMech, Vol. 195, No.16, pp.151~171, 1981.
- [5] U.S. Department of Energy, "Tribology project

quarterly progress report," TRIB-EUCT-86-4.
[6] 권오관, "트라이볼로지 관점에서 고찰한 표면관

련 기술의 최근동향," 윤활학회지, 제3권, 제1호,
pp.5~11, 1987.

국제 학술대회 참가안내

COMODIA'90
**-International Symposium on Diagnostics and Modelling of
Combustion in Internal Combustion Engines-**

주 관 : The Japan Society of Mechanical Engineers
The Society of Automotive Engineers of Japan
The Marine Engineering Society in Japan

분 야 : Diagnostics and Modelling of Fluid Mechanics and Combustion-Related Processes in
Internal Combustion Engines

일 시 : 1990년 9월 3일~5일 (3일간)

장 소 : Kyoto Park Hotel, Kyoto, Japan

일 정 : 1989년 11월 30일 : 500단어 내외 영문초록 제출
1990년 1월 10일 : 채택여부 통보
1990년 3월 1일 : 논문제출 마감
1990년 6월 30일 : 심포지움 예비 등록

연락처 : Prof. Makoto Ikegami
Department of Mechanical Engineering
Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan
TEL : (075)753-5248, FAX : (075)771-7286, Telex : 5423115 ENG KU J