

□ 초청강연

문화사적으로 고찰한 공학과 미래지향적인 공학교육*

(구조공학을 중심으로)

김 덕 현**

머 리 말

지난 4월 6일에서 9월 사이에 SAMPE (Society for the Advancement of Material and Process Engineering) 32차 국제심포지움 및 전시회가 열렸다.

우주공학, 기계, 토목, 화공, 재료, 금속 등 공학자와 Computer Science, 수학, 물리, 화학 등 과학자 8,800여명이 참가했고, 375개 기업체에서 각종 제품을 전시했다.

이 행사의 주제는, 여러가지 Fiber와 이를 고정시키는 Resin, 이 두가지가 이루는 Composite 구조 및 이의 Process 등 세가지로 대별할 수 있는데 현상태의 발전이 거듭되면, 이러한 신소재가 5년 이내에 강철을 대체할 것이라는 의견이 나올 정도였다.

금속재료로서, 내열성이 가장 강한 티타늄 합금의 경우 1200° F에서 비강도가 급격히 감소해버리는데, 새로 발표된 Carbon-Carbon Composite 재료는 3200° F까지 비강도가 증가하고 있으며, 곧 5000° F까지가 개발될 것이라고 전망하고 있다.

반도체의 경우 1960년대 초에 Germanium을 대체한 Silicon이 첨단소재로 등장하여 얼마전에 256 Bit 단일소자의 VLSIC로 발전하고 1 mega Bit 짜리가 발표되더니 금년 들어서는 4 mega Bit, 16 mega Bit 짜리까지 연거푸 발표되는 상황이다.

최근 고순도 Semi-insulating (SI)재료의 성장기술이 발달하여 높은 전하이동도, Radiation Hardness, Large Energy Band-gap 등의 특성을 가진 Gallium Arsenide (Ga As)가 각광을 받기 시작했다. 그리하여 2년여 전에는 2GHz (10⁹Hz)의 주파수대를 돌파하게 되고, Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC)시대로 들어서면서 초고속 논리회로 광집적회로 등에 이용되는 새로운 소자로서 이용하기 위한 최첨단 공정기술을 개발하여 왔다. 이러한 개발 속도는 눈부실 정도여서 불과 2년이 지난 금년 초에는 Texas Interment에서 34GHz에서 200 mW, 44 GHz에서 135mW 출력의 Monolithic Amplifier를, Raytheon Research Division에서 5 - 7 dB의 gain을 내는 15-

* 1987년 5월 12일 산업기술연구소 제 36회 학술세미나의 강연내용임.

* (주) 선경 상임고문

45 GHz의 Distributed Amplifier, G-E에서 30 - 60 GHz까지, McDonell Douglas에서는 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 까지의 군사작전온도 내에서 완전하게 작동하는 Ga As 소재를 각각 발표하기에 이르렀다.

현재 Ga As 소재의 IC생산업체는 15개가 넘는 것으로 알려져 있으며, Nanosecond (10^{-9} 초)의 Switching Speed 전자시대로 접어들게 하고 있다.

기술의 발달은 여기서 그치지 않고 Ga As IC서 Molecular IC로 발전중이니까 1960년을 전후해서 사용했던 LGP30, IBM 7090 등과 비교할때 시간의 중요성을 새삼 느끼게 한다.

과학기술의 1950년대 Breakthrough가 Transistor 라면 1980년대의 Breakthrough는 Superconductor 이다.

금속은 0°K (-460°F 또는 -273°C)에서 모든 전기저항을 잃는다. 전기저항이 없다는 것은 엄청난 의미를 갖는다.

첫째가 Meissner Effect란 것이다. Superconductor가 자기장 (Magnetic Fields)을 밀어내는 현상을 의미하는데, 자석위를 떠서 날르는 기차 (Magnetically Levitated Trains), 물위에 떠다니는 배 등을 상상 가능케 한다. 무공해 핵융합 발전을 가능케 하고 X-Ray보다 월등한 진단기기를 가능케 한다.

송전선의 경우 동선은 최소한 20%의 손실을 가져오며, 이 손실은 열로 변화된다. 초전도 상태가 되면 대도시의 송전도 몇개의 선으로 가능하게 된다.

Computer 등 각종 전자기기의 Size는 Chip 등의 열문제로 제한을 받고 있다. 재래식의 발전기는 최대 30만 kw의 발전능력을 갖고 있는데 현재 Westinghouse에서 이것을 배로하는 방법을 연구하고 있다.

Superconductivity 현상은 1911년 화란인 Heike Kamerlingh Onnes에 의하여 발견되었다. Helium은 4.2K (-452°F)에서

액화하는데 Helium 자체가 고가인데다 이러한 저온을 얻기가 힘들고 실용성이 인식되지 못해 거의 사장되었었다.

공기중에 혼한 질소는 77°K (-320°F)에서 액화된다. 이보다 높은 온도에서 초전도 현상이 나타나는 물질이 있으면 이의 활용은 현실화 가능한것이 된다.

1986년 4월에 35°K 에서 이 현상이 일어나는 물질이 발표되었을때, 실용화 가능성이 보이면서 Superconductivity에 대한 연구는 폭발적으로 일어났다. 금년 1월에 98°K 물질이 발표되면서 Superconductivity는 실용화단계에 들어섰고, 이제는 2주일 전것은 "Out of Date"로 인정되는 정도로 새로운 연구가 진행되고 있다.

지금은 High Temperature Superconductor로 작용하는 소재가 10여개나 연구되고 있다.

일반 금속은 휘어질 수 있으나 Ceramic은 휘어지지 않으므로 실용화에 애로점이 있다. 그러나 IBM, Bell, Toshiba, Argonne 등에서 이문제 해결에 상당한 진전을 본 것으로 알려져 있다.

최근에는 240°K (-27°F)에서 Superconductivity와 유사한 효과를 내는 소재가 개발되었으니 이의 실용화는 목전에 와 있는 것이다.

2주일전 기술이 고물이 되는 정도로 기술발전이 빠른 현실에 좌절감을 느껴서는 안된다. 눈부신 과학의 발달이 있으면 미개척된 어두운 그늘이 공존한다는 사실에 착안하여 한국과학기술의 진로를 찾아야 한다고 생각한다.

필자의 경험에 의하면 우리의 과학기술자가 자기 좌표를 찾지 못하거나 소위 CODE OF ETHICS이 약하다는데 문제가 흔히 있었다.

이같은, 과학기술을 역사적으로 조명하여 미래의 방향을 찾고 Professionalism을 통하여 건전한 정신을 함양하는데 도움이 되게 하는 방향으로 초점을 맞추었다.

1. 기술의 인류문화사적 위치

인류의 역사는 도전과 극복의 끝없는 연속이었고 그 투쟁의 대상은 한계가 없어 보인다.

제 4빙하기가 절정에 달했던 약 5만년전에 Neanderthal인이 사용했던 동굴에는 불을 사용한 흔적이 있다. 이들은 추운 환경을 불을 사용하여 견디어 냈으나 불을 사용못한 열등한 종족은 멸망했다. Neanderthal인은 역사상 최초로 두뇌로서 자연의 도전을 극복한 것이다.

그러나 이들은 남아시아나 아프리카 또는 지중해 분지에서 성장했다가 제 4빙하기 말에서 서서히 밀려가는 얼음을 따라 올라온 Cro-Magnard, Grimaldi와 같은 종족의 도전을 극복못하고 멸종하였다.

유럽에 신석기시대인이 등장한 것은 10,000~12,000년 전이다. 이들은 일정장소에 정착하여 농업에 종사하기 시작했고, 금을 장식으로 사용하였으며 6,000~7,000년전부터는 동을 사용하고 3,000년 전부터는 철을 사용하기 시작했다.

정착을 위한 조건으로는 식량, 물, 건설자재가 있어야 한다.

Egypt에는 진흙과 돌이, Mesopotamia에는 햇빛으로 벽돌이 구어지는 진흙이 있었다. Sumer인들은 BC 6,500년전에 이미 수도공사를 하면서 유능한 수리기술을 발달시켰고, 성서에 "Bebel" 탑이라 전해지는 거대한 탑을 그들의 신 Enril을 위해 Nippur에 세웠다. 그들이 서서히 Sem족에게 밀리면서 망하기까지 누린 역사는 기독교시대의 두배가 넘는다. Euphrates와 Tigris계곡의 진흙더미 속에는 인류문화의 초반기가 묻혀있는 것이다. Sumer를 정복한 Sem족의 Sargon I세(BC 2,750년)를 이은 여러제국의 말로는 Alexander대왕에 의한 정복이다(BC330). 우리가 아득한 옛날로 생각되는 Alexander대왕이 살던 시절부터 지금까지의 기간은, Sargon I세로부터 Alexander대왕까지의 기

간보다 훨씬 짧다. 그러나 인류는 Sargon I세 이전에 사원에서 기도를 했고, 관개사업을 벌였다. BC 5,000년 경에 Egypt에 나타난 "진" Egypt인은 원주민을 몰아내고, 벽돌, 목재, 석재로 각종 구조물을 지었다.

Alexander대왕이 Egypt의 31대 왕조를 멸하고(BC332), Gizeh에 있는 한변의 길이가 700자요 높이가 450자나 되고, 무게가 4,883,000톤이나 되는 거대한 피라미트를 보았을때 그의 가슴은 인간의 무한한 능력과 가능성에 대한 경의로 벅찼고, 그의 머리는 그의 피정복 민족의 조상의 위대한 업적앞에 숙여졌을 것이다. 이 피라미트는 제 4왕조의 Cheops에 의하여 BC 3,733년에 건립된 것이니, 제왕의 제국이 수없이 명멸해도 인간이 창작한 위대한 유업은 시간의 한계를 초월하여 장엄하게 남아있는 것이다.

기술이 인류문화에 남겨놓은 유업은 무한한 시간 장경을 가지고 유유하게 남아 후세에 계승되는 것이며 이 위업은 인류공동의 유산이고 자랑이다.

기술은 과학이라 불리우기 이전의 여러세기 동안 예술이었다. 이의 근원은 역사의 시작과 일치한다. 인류가 혹심한 자연조건을 피하고자 피난처를 찾았을때, 그는 기술을 터득하기 시작했다. 거주할만한 동굴이 없을때, 털이긴 어느 원시인은 손과 두뇌의 힘으로 돌, 진흙 및 나뭇가지로 벌판위에 인공 "동굴"을 만드는 방법을 발명했다. 기술자란 직업은 진흙벽돌로 더 영구적인 거주처를 건설하면서 초기단계로 접어든 것이다. 이런 구조물은 Chaldea와 Egypt의 유적에서 찾아볼 수 있다. Cyrus가 BC 500년에 Euphrates 강의 수로를 바꾸고 Balyon을 점령했을때 그에게는 훌륭한 기술자가 있었을 것이다.

Julius Caesar가 Rhein강을 도하했을때도 마찬가지다. Egypt의 Pyramid, 중국의 만리장성, BC 1,800경 자취를 감춘 Indus 문화의 유적, 중남미의 각종 사원과 피라미트, Roma의 도로나 도수관 등은 건설의 예술과

과학에 능통한 사람들에 의하여 계획 건설되었다.

2. 구조물의 4대 기본개념

장구한 역사를 지나면서 구조물 건설의 4대 기본개념이 발전하였다. 이들은 그시대에 사용가능한 건설재료와 응용가능한 기술 지식으로 발전된 구조형식인데 기둥과 보, 석조아치, 목재 트러스, 현대 철강 트러스 및 뼈대 등이다.

Chaldea에 있는 폐허화된 구조물은 BC 5,000년에 지어진 것이나, Greece 이전에 지어진 최고의 구조물은 Egypt 사람들의 불멸의 작품들로서 기둥과 보의 구조형식이다.

Egypt의 사원중 가장 훌륭한 것은 Karnak에 있는 Ammon의 대사원이다. BC 1,500년에 건립된 이 구조물은 길이가 1,200자에 360자의 폭을 갖고 있으며, 거대한 석재 슬러브로 된 지붕을 기둥과 보가 지지하고 있다. 중앙의 기둥들은 12자(11'9")의 직경에 69자의 높이를 갖고 있다.

이 구조물은 여러세기에 걸쳐 건립된 것으로 보인다.

현대건축은 Greece의 영향을 많이 받았다.

BC 460에서 400까지 산 Greece의 유명한 지도자 Pericles 시절에 Greece는 가장 뛰어난 유명한 건축의 발전을 가져왔다.

Athene의 언덕에 있는 Acropolis에 건립된 Parthenon, Erechtheum, Propylaea 등은 현대 세계에서 가장 유명하고 완전한 보, 기둥의 구조물이다.

Roma인은 건물건설에 Arch를 사용한 최초의 사람으로 보인다. 그들은 도수관(Viaduct)을 복식석조 Arch로 건설했으며 현재도 사용되고 있는 것이 있다.

144자의 직경을 가진 석조 Dome인 Roma에 있는 Pantheon은 AD120년에 완공되었다. 의심할 여지없이 Egypt인들은 어느정도의

역학을 터득하고 있었으나, Greece 사람들은 이것을 더 발전시켜 재료역학의 기초가 되는 정력학을 개발했다.

Archimedes (BC 287 - 212)는 Lever의 평형조건을 증명하고 물체 무게중심의 결정법을 찾아냈다. Roma인은 위대한 건설자였다. 기념탑이나 사원뿐 아니라 도로,교량, 진지 등으로 쓰인 축성구조물이 아직까지 남아있다. Augustus 황제의 유명한 기술자인 Vitruvius가 쓴 책에는 이러한 건설에 관한 방법이 적혀있다. 남부 France에 있는 Pont du Gard는 아직도 훌륭한 교량으로 이용되고 있다.

Roma의 Arch를 현대의 Arch와 비교하면 현대에는 더 가벼운 구조물을 만든다는 것을 알 수 있다. Roma인들은 응력해석의 이점을 갖지 못했고, 최적형태의 Arch를 사용치 못하고 통상 짧은 스패의 반원을 썼다.

Greece와 Roma인들이 쌓아올린 구조공학의 대부분의 지식은 중세 기독교 시대에 들어서 소실되었고, Renaissance 이후에야 회복되기 시작했다. Italy의 유명한 건축가 Fontana (1543~1607)가 Sixtus 5세 교황의 명령으로 Vatican 첨탑을 세웠을때 Europe의 기술자들로부터 많은 관심을 끌었다. 그러나 Egypt인들은 이보다 수천년전에 Syene에서 다듬은 돌을 Nile 강으로 운반하면서 수많은 이런 탑들을 건설하였다. Roma인들은 이 탑(Obelisk)들의 몇개를 원 위치에서 Roma로 옮겨세웠다. 16세기 이태리 기술자는 그들의 조상들보다 이런 일에 훨씬 뒤져있었던 것이다.

Renaissance 기간에 과학에 대한 흥미가 부활함에 따라 건축과 기술의 예술지도자들이 등장했다. Leonardo da Vinci(1452~1519)는 이기간에 가장 뛰어난 사람이었다. 그는 당시의 지도적인 예술가일뿐 아니라 위대한 과학자요 기술자였다. 그의 기록을 보면 그가 여러분야에 대한 연구를 했음을 알 수 있다.

그는 역학에 지대한 관심을 가져서 그의 기

록에는 “역학은 수학의 결실이요, 수학의 낙원이다”라 썼다.

현대역학은 위대한 Galileo(1564~1642)에 의해서 문을 연다. 그의 위대한 업적은 과학의 모든 분야에 걸쳐 영향을 미치고 있다. 17세기 기간에는 수학, 천문학, 역학 등에 급격한 발전을 이루어 1560년에는 이탈리아에 최초의 Academy of Science가 세워졌고, 영국의 수학자 Wallis와 그의 학우들의 모임에서 “New Philosophy” 또는 “Experimental Philosophy”란 이름을 쓰기 시작했다(1645).

중요한 구조물 건설의 개념인 목재 트러스는 이탈리아의 Andrea Palladio(1518~1580)에 의하여 쓰여졌다. 그러나 Palladio의 이 발명의 중요성은 18세기 중엽까지 인식되지 못했다.

구조용 강철(Bessemer, 1856)의 발전과 이의 구조물 건설에 대한 이용은 Roma 이후의 가장 기념될만한 일이다. 강도높은 강철의 이용은 고층건물, 장대교, 높은탑, 대형선박 등의 건조를 가능케했고 20세기의 꽃을 피게 하는 원천이 되게 하였다.

부정정구조이론, 진동의 이론은 물론 구조물 안정(Stability)의 문제가 심각하게 검토되고 해결방법이 발전되었다.

3. 기술의 분화과정과 종합의 필요성

기술은 인류전체 또는 한 부족이나 국가의 존속에 직접적인 역할을 해왔다. 이것을 크게 나누면 군사적인 것과 자연을 상대로 한것을 들 수 있다.

앞의 절에서 쓴바와 같이 Science가 철학에서 분리된 것이 1560년이라면 기술(Engineering)이 분화를 시작한 것은 1761년이였다. 영국의 John Smeaton이란 사람은 자신을, 진지나 Bunker 등의 구축을 주로하는 군공기술자(Military Engineer)와 구분하기 위하여 토목기술자(Civil Engineer)라 부르기 시작한 것이다. 그러니까 1761년에 토

목공학과 군공학이란 두개의 공학이 생긴 것이다.

기술과 건축은 같은 뿌리를 갖고 있었다.

언제 다른 직업분야로 분리되었는지를 찾아보기 힘들나 아마 그당시 유럽국가중에서 가장 선진국이었던 중세 France에서 시작된 것 같다. 도로, 교량, 수로 등의 건설은 Charlemagne 시절부터 왕실의 관심사였다.

“Corps des Ponts et Chaussees”는 13세기부터 있었다고 알려져 있다. 다음과 같은 Louis 14세(1642~1715)의 에피소드는 기술이란 직업이 필요에 의해서 발전하게 되었다는 사실을 이야기 해준다. 획기적인 기념 구조물을 만들고 싶은 열망에 찬 왕은 그의 친근한 건축가 Mansard에게 Allier 강의 Moulins에 석조교량을 건설하도록 지시하였다. Mansard는 석조예술의 권위자였으나 수력학이나 유수의 침식작용에 대해서는 아무것도 몰랐다. 자연히 다리는 곧 붕괴되었다. 이 당시의 기술자들은 이사건에 대하여 “기술자는 위대한 공공사업의 건설에 예술을 적용함에 있어 더 연구하고 더 다양성이 있어야 하며, 외견상의 장식보다는 건설성에 치중해야 한다”는 것을 대중에게 알려야 한다고 했다.

영국의 기술은 산업혁명의 후기결실의 하나로 꽃피게 되었다. 최초의 기술자 조직인 “The Institution of Civil Engineers”는 상호교육과 그당시 유행하던 교육방법을 보완하기 위한 목적으로 1818년에 구성되었다. 이 조직의 설립자들은 “Military Engineer”와 구분하고자 “Civil Engineer”란 이름을 썼는데 이 이름이 오늘날 우리가 (특히 한국에서) 좁은 의미로 이해하고 있는 토목기술자를 뜻하게 된데는 초대 회장인 Thomas Telford가 석공으로부터 출신한 거대한 건설사업의 계획(설계) 및 시공자도 이 름난 사람이었다는 이유가 크다.

1847년경에 이 “Institution”의 주된 관심사는 건설에 치중되었다. George Stephenson은 무식한 광산의 인부로 시작하여 역학의 원리를 터득하기 위해 야간학교에서 글

을 배우고 증기기관차의 아버지로 명성을 떨치게 된 독학의 천재이다. 이 학회의 분위기가 자기에게 그리 다정하지 않음을 느낀 그는 "The Institution of Mechanical Engineers"라는 새로운 학회의 설립을 추진하였다. 이 기계학회가, 토목학회에서 분리된 최초의 학회이며, 과학기술의 발달과 더불어 여러가지 기술분야의 학회가 세워졌다.

산업혁명 이전에는 "Civil"과 "Military" 두개의 공학만 있었다. "Civil Engineer"는 인류의 편의를 위하여 각종 기구제작, 도로, 교량, 수리사업 등등의 건설에 종사하였고, "Military Engineer"는 부족이나 국가의 방위에 필요한 축성, 교량, 기타 구조물의 건설에 관여하였다. 기계시대의 도래와 더불어 기술의 여러분야에 대한 전문화가 필요하게 되었으며 각종 공학의 분리가 생긴 것이다.

과학기술의 발전은 엄청난 속도로 이루어졌고, 너무나 다양하게 분화되었다. 구조공학의 경우만 해도 일반구조물 해석, 설계, 열응력, 진동, Buckling, 탄성론, 소성론, Plate, Shell 등 이론의 분화는 물론 철강구조, 콘크리트구조, Composite 구조, 선박구조, 항공기구조, 기계구조, 수리구조, 공장구조 등의 전문응용별로도 분화되어왔다.

여기서 문제가 되는 것은 종합능력의 감소와 노력의 분산이다.

토목, 건축, 기계, 조선, 항공, 화공, 에너지공학 등의 구조이론이 서로 다름바 없고, 설계의 Specification만 차이가 있을 뿐인데도 대학의 각과가 별도로 강의를 하는고로, 과마다 5~6명의 구조공학 교수를 확보할 수 없는 이상, 당연히 교육연구의 질이 편파적이거나, 수준이 낮아질 수 밖에 없다.

첨단기술 분야일수록 이런 현상은 두드러지게 보인다. 첨단소재의 경우, 소재개발에 치중하는 나머지 구조공학에는 소홀한 것 같다. 아무리 훌륭한 소재를 개발해도 그것을 일반 기술자가 이용할 수 있도록 구조지침을 정리해 주지 않으면 그 이용도는 극히 제한되게 된다.

이러한 소재일수록 구조해석이 어려워지고 아직까지 구조물의 4대 기본개념이 발전되었듯이 새로운 개념의 발전이 필요하며 이것은 보통 기술자의 능력범위를 넘는다.

설계 등 응용부분은 학과나 분야별로 교육발전 시키더라도 기본이론은 종합하는 방향으로의 새로운 노력이 바람직하다고 믿는다.

4. 신소재의 응용과 구조공학 - Composite Structure를 중심으로

현대 금속·화학공학의 발달은 신소재 개발에 엄청난 진전을 가져왔다.

Graphite나 Kevlar 등 수많은 섬유를 이용한 FRP, Boron, Al, Si 등 Metal을 이용한 FRM 등과 Polyethylene과 같은 여러가지 Thermoplastics 소재 또는 Epoxy와 같은 여러가지 Theronosetting 소재에 인장강도 200 ksi가 넘는 섬유를 섞어 만든 각종 Composite Matrix는 21세기를 향한 대표적인 건설자재이다.

Composite Material은 금속재료에 비해 높은 Specific Strength, Specific Modulus를 갖고 있는 것이 특징이고 외국에서는 항공우주, 자동차부품, 구조재료 등의 분야로의 이용이 점차 확산되고 있다.

Carbon Fiber 등 섬유상으로 복합시킨 Composites는 선진국에서 장래의 첨단소재로 선정되어 개발에 박차를 가하고 있다. 우리나라는 이에 대한 관심은 증대하고 있으나 연구는 미진했다.

토목, 건축, 기계, 조선, 항공 등의 대규모 구조물의 재료로는 강재 콘크리트, 알루미늄 등이 이용되어 왔으며 현재까지의 구조기술은 상기 재료의 이점활용 및 불리한점 해결에 치중되어왔다. 구조기술의 발달은 구조물의 대형화를 초래했으며 소재의 중량, 내식성, 내구성 등의 문제가 야기되었다. 구조물의 중량을 감소하고 수명연장을 위하여 새로운 구조재료가 절실히

요망되는 것은 당연한 이치이다.

인장강도 200 ksi, 무게가 강철의 1/5에 불과한 Graphite 등을 이용한 복합 Composite 재료가 각광을 받는 것은 당연한 일이다.

Composite 재료는 임의의 방향으로 Reinforcing 이 가능하고, 기하학적 보강없이 재료를 Reinforcing 방향에 따라 배치가능하며, 구조물에 따른 소요강도를 충족시킬 수 있는 최적소재의 생산이 가능하여, 강도에 비해 현저하게 경량이며, 내식 내구성이 있다는 장점이 있다.

그러나, 재료별 Composites 의 역학적 특성이 불확실하고, 재료의 Homogeneity 불확실에 의한 신뢰성 미정, Fatigue Behavior 미정, Ductility 부족, 연결의 문제 미해결, 내연성에 대한 의문 등의 문제점이 있다.

Composite 구조공학에서 고려할 것은 대부분의 구조재는 laminate 되어 있거나 Sandwich 상태라는 점이고 이방성 (Anisotropic) 이라는 사실이다.

구조계수의 일부 몇가지 예를 들면

가. ON - AXIS PLY STIFFNESS는 E_x, E_k, V_x, E_s 등 4개의 orthorpic 상수가 필요하다.

Isotropic의 경우는

$$E_x = E_y = E, \quad V_x = V_y = V, \\ E_s = E/2(1+V)$$

나. ON - AXIS STRESS - STRAIN 법칙

$$\{\sigma\} = [Q] \{\varepsilon\} \\ \{\varepsilon\} = [S] \{\sigma\} \text{ 에서,}$$

$$Q_{xx} = E_x / (1 - V_x V_y) \\ S_{xx} = Q_{yy} / (Q_{xx} Q_{yy} - Q_{xy}^2) \\ E_x = 1 / S_{xx}$$

Isotropic의 경우는

$$Q_{xx} = E / (1 - V^2), \quad S_{xx} = 1 / E$$

다. OFF - AXIS PLY STIFFNESS

$$Q_{11} = M^4 Q_{xx} + N^4 Q_{yy} + 2M^2 N^2 Q_{xy} + 4M^2 N^2 Q_{ss}$$

여기에서 $M = \cos \theta, \quad N = \sin \theta,$

$\theta = \text{ply 각도}$

$$Q_{11} = U_1 + U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta$$

$U_j = \text{linea combo of on-axis } [Q]$

$$U_1 = (3Q_{xx} + 3Q_{yy} + 2Q_{xy} + 4Q_{ss}) / 8$$

$$U_2 = (Q_{xx} - Q_{yy}) / 2$$

라. QUASI - ISOTROPIC CONSTANTS

Linear invariants :

$$U_1 = (3Q_{11} + 3Q_{22} + 2Q_{12} + 4Q_{66}) / 8$$

$$U_4 = (Q_{11} + Q_{22} + 6Q_{12} - 4Q_{66}) / 8$$

$$E^{iso} = (U_1^2 - U_4^2) / U_1$$

$$V^{iso} = U_4 / U_1$$

$$G^{iso} = (U_1 - U_4) / 2$$

마. EFFECTIVE IN - PLANE

STIFFNESS

$$[A^*] = 1/h \int [Q] dz$$

$$[a^*] = [A^*]^{-1}$$

$$\{\sigma^0\} = [A^*] \{\varepsilon^0\}$$

$$\{\varepsilon^0\} = [a^*] \{\sigma^0\}$$

바. FLEX STIFFNESS CONSTNESS

$$[D] = \int [Q] Z^2 dz$$

$$[d] = [D]^{-1} \approx 1/h \int [s] dz$$

$$[M] = [D] [k]$$

$$[k] = [d] [M]$$

여기서 k는 curvature 이다.

사. NORMALIZED FLEX CONSTANTS

$$[D^*] = 12/h^3 \int [Q] Z^2 dz$$

$$I^* = h^3/12, \quad [d^*] = [D^*]^{-1}$$

$$\{\sigma^f\} = [D^*] \{\varepsilon^f\}$$

$$\{\varepsilon^f\} = [d^*] \{\sigma^f\}$$

$$\{\sigma^f\} = 6/h^2 \{\sigma\} Z \, dZ$$

$$\{\varepsilon^f\} = h \{k\} / 2$$

아. SANDWICH PLATES

$$[D] = 2 \int_{ZC}^{h/2} [Q] Z^2 \, dZ$$

$$[D^*] = 12 / h^3 [D]$$

$$[d^*] = [D^*]^{-1}$$

$$E_{if} = 1/d_{if}^*$$

차. UNSYMMETRIC LAMINATES

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^0\} + Z \{k\}$$

$$\{N\} = [A] \{\varepsilon^0\} + [B] \{k\}$$

$$\{M\} = [B] \{\varepsilon^0\} + [D] \{k\}$$

$$[B] = [Q] Z dz = \text{In-Plane flex coupling}$$

대칭 laminates인 경우

$$[B] = 0 \text{이다.}$$

차. QUADRATIC STRESS CRITERIA

$$F_{ij} \sigma_i \sigma_j + F_i \sigma_i = 1$$

$$F_{xx} = 1 / x x', \quad F_{yy} = 1 / y y',$$

$$F_{ss} = 1 / S^2$$

$$F_{xy} = F_{xy}^* \sqrt{[F_{xx} F_{yy}]},$$

$$-1/2 \leq F_{xy}^* \leq 0$$

$$F_x = 1/x - 1/x', \quad F_y = 1/y - 1/y'$$

$$aR^2 + bR - 1 = 0$$

$$\text{Scalar Products ; } a = F_{ij} \sigma_i \sigma_j,$$

$$b = F_i \sigma_i$$

카. Quadratic Strain Criteria

$$G_{ij} \varepsilon_i \varepsilon_j + G_i \varepsilon_i = 1$$

$$G_{xx} = F_{xx} Q_{xx}^2 + 2F_{xy} Q_{xx} Q_{xy} +$$

$$F_{yy} Q_{xy}^2$$

$$G_x = F_x Q_{xx} + F_y Q_{xy}$$

$$aR^2 + bR - 1 = 0$$

$$\text{Scalar Products : } a = G_{ij} \varepsilon_i \varepsilon_j,$$

$$b = G_i \varepsilon_i \text{ 등이다.}$$

타. Plate Bending Equations

Bending of Isotropic Plates

$$\frac{\delta^4 W}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 W}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 W}{\delta y^4} = q / D$$

Large Deflections of Isotropic Plates

$$\frac{\delta^4 F}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 F}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 F}{\delta y^4}$$

$$= E \left[\left(\frac{\delta^2 W}{\delta x \delta y} \right)^2 - \frac{\delta^2 W}{\delta x^2} \frac{\delta^2 W}{\delta y^2} \right]$$

$$\frac{\delta^4 W}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 W}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 W}{\delta y^4}$$

$$= \frac{h}{D} \left(\frac{q}{h} + \frac{\delta^2 F}{\delta y^2} - \frac{\delta^2 W}{\delta x^2} + \right.$$

$$\left. \frac{\delta^2 F}{\delta x^2} - \frac{\delta^2 W}{\delta y^2} - 2 \frac{\delta^2 F}{\delta x \delta y} - \frac{\delta^2 W}{\delta x \delta y} \right)$$

Bending of Orthotropic Plates

$$D_x \frac{\delta^4 W}{\delta x^4} + 2H \frac{\delta^4 W}{\delta x^2 \delta y^2} + D_y \frac{\delta^4 W}{\delta y^4} = q$$

Composite의 Failure Mode로는 Fiber의 인장, Fiber의 압축, Matrix/Interface의 인장, Matrix 압축, Matrix/Interface Shear 등이 있다. Delamination은 자유단에서 발생하거나, Transverse Impact 또는 Nonuniform Curing의 결과로 일어난다.

이 외에 Mode Interactions, Matrix Degradation, Crack Density, Degraded Matrix의 Stiffness, Residual Lam Stresses, Non-Mechanical stresses, Traction Free Expansions, Residual Strains, Effective Expansion, Laminated Ranking, 등의 고려사항이 많다.

역학해석에는 Micro-Macro 및 Elasto-Plastic 현상을 다 고려해야 한다. Composite의 장래 연구방향은 자재가격의 저하방법, Processing비의 저하, 정확하고 합리적인 설계, 합리적이고 “정확”한 이론 등이다.

5. 구조물의 제 5 기본개념과 장래 지향적인 교육

앞의 절에서 논의하였듯이 지금까지의 인류 문화는 구조물의 4대 기본개념을 발전시켜왔다. 21세기를 눈앞에 둔 현재의 금속공학의 발달은 눈부신 발전을 거듭하여 구조용 신소재의 등장을 통해 강철을 비롯한 재래의 구조재료들 obsolete하게 만들려하고 있다.

지금까지 인간이 사용가능한 재료와 응용가능한 기술로 구조형식을 발전시켜 왔듯이 우리에게 새로운 소재를 응용하는데 적합한 새로운 구조형식의 개발이 필요한 것이다.

필자는 이것이 구조물의 제 5 기본개념이라고 믿으며 우리의 연구는 여기에 초점을 맞추어야 한다고 믿는다.

여기서 필요한 것은 앞의 절에서 논하였듯이 학문의 종합화와 직업의 계속적인 분화이다.

더 힘차게 연구에 몰두하는 학자나 창조적인 개척을 이루어 나가는 기술자에게 필요한 것

은 투철한 직업관(Professionalism)이라 믿고, 좀더 상세히 다루기로 한다.

직업(Profession)이란 자기가 특별히 교육받고 경험한 것을 공공의 이익을 위하여 창의와 책임감을 가지고 응용하는 것을 의미한다.

여기서 “교육과 경험” 및 “공공의 이익”이란 말은 상당한 중요성을 갖는다.

어느 숙련된 기계공에게 청사진 한장을 주고 작업지시를 하면, 그는 주어진 기계와 장비를 사용하여 시간 등 여러가지 허용 한계 내에서 그 일을 끝내면 된다.

청사진대로 제조했다면, 그 제품이 충분히 강한가 아니면 약한가, 또는 가장 적합하고 경제적인가 하는 것은 그의 알바가 아니다. 특별히 부여된 임무를 수행하는 이외에 어떠한 책임도 지지 않고 기술만 활용하는 다른 모든 사람과 같이 그는 단순한 기능공(Craftsman)인 것이다. 한번 이 재주를 익숙하게 되면 그는 이 자산으로 생활하고 치부하는데만 관심을 가지면 된다.

Profession으로서의 기술자는 다르다. 그는 창의력을 가져야 하고, 주어진 조건에 가장 경제적이고 적합한 방법을 써야 하며, 모든 것에 책임을 져야 한다. 또 그가 만든 작품은 그 사회의 것이며 인류전체의 유산이 되는 것이다. 앞서 역사에서 논하였듯이 기술자의 작품은 정치적인 시간장경을 훨씬 능가하는 차원에서 감상되고 평가된다. 그는 숙된 명예나 금전상의 욕구는 경시하고, 이러한 역사적 차원의 유물을 창작하는데 생의 “멋”을 느끼는 사람이다.

기술자가 속하는 Profession과 상인이나 Craftsman이 속하는 “Trade”는 이런 의미에서 다른 것이다. 의사는 자기가 배운 바를 인류를 질병에서 구하는데 응용하는 것을 멋으로 삼는 직업인이다. 직업군인(Professional Soldier)은 자기가 특별히 교육 훈련받고 경험한 것을 민족이나 국가방위에 “책임을 지고” 활용하는 것을 생의 “멋”으로 생각하고 근무하는 군인이다.

Profession에 종사하는 사람은 어느정도의 간소한 생활을 즐길 수 있게 할만한 부를 얻을 경우도 있다. 그러나 치부를 하는 것은 Trade에 속하는 상인이 목표하는 것임을 명심해야 한다. 토목기술자는 공사의 설계·건설에 종사한다. 그러나 그는 건설업자는 아닌 것이다. 혹시 그가 건설업체를 경영하게 될 때 그는 전문경영인으로서 기업을 건진하게 키우는 데서 멋을 느끼는 “Professional” 이지 업자는 아닌 것이다. 생활을 위한 적당한 보수는 받지만 회사의 이익은 회사를 건전하게 하고 복지사회건설에 공헌하게 하는 것이 그 개인의 소득과 직접관계는 없는 것이다. 기술자가 업자는 될 수는 있다. 그러나 이미 그는 엄밀한 의미의 “Professional” 한 기술자는 아닌 것이다. 양자가 병립하게끔 노력하게 될 때, 그는 역사적인 차원에서 인류에 공헌하는데 필요한 부를 축적한다는 것을 목적의식으로 가지고 언제나 검소한 생활태도로, 쌓아올린 부는 자기것이 아니고, 다음의 일을 위해 맡아가지고 있다는 것을 잊지 말아야 한다.

기술자로서의 정신과 직업관념 (Professionalism)이 명확치 않을 때 그는 소위 “Educated Prostitute → 교육받은 창부”가 되는 것이다.

Profession으로서의 기술자의 정신은 Cosmopolitan 하고 민주적이다. 국경선은 기술의 발달, 교류를 결코 막지 못했다. Arab인의 양의 개념, Greece인의 구성의 개념, Roma인의 진실성, Italy인의 상상력, France인의 정확성, 영국인의 실용성, 독일인의 철저성, Scandinavia인의 집요성, 미국인의 다양한 전양성, 이 모든 것이 다함께 기술발전에 공헌한 것이다.

국제간의 협조가 평화시에는 현저하였고 전쟁으로 중단되어도 곧 회복되었다.

기술자는 본능과 전통에 의하여 좋은 협조자이다. 진실한 기술자는 어느 일을 완성시키기를 원하지 스스로 특별한 공로를 얻는데 관

심을 갖지 않는고로 다른 사람들에게 항상 도움을 주려 한다. 그의 자연발생적인 충동은 그의 경험을 공유하는데 있지 독자적인 소유물로 하지 않는다. 과학은 관찰사항을 기록하고 협조단체가 조직되어 서로의 연구결과를 발표하고 그 의견을 교환하기 전에는 매우 느린 발전을 하였다.

이 정보의 교환은 많은 학회의 화합이나 논문집에 의하여 이루어지고 있다. 고대 세계에서 지식의 진전과 응용은 거의 전적으로 개인 천재의 산물이었다. 현대의 진리는, 발전은 그이상 천재에 기대하지 않는다는 사실이다. 우리는 평범한 사람들의 조직되고 협조된 노력에 신념을 두어야 한다는 것을 알게된 것이다.

미국의 “Engineers’ Council for Professional Development”에서는 “Profession”을 다음과 같은 일을 하는 “Occupation”이라고 정의했다.

- 가. 진보된 전문지식과 본능에 기인한 특별한 봉사를 하며, 육체적, 노동적 측면이 아닌 지적인 면의 문제를 다룬다.
- 나. 실무자, 의뢰자 또는 고용자 간에 비밀 관계를 유지한다.
- 다. 전문지식을 소유한 만큼 사회에 대한 진실적인 책임을 진다.
- 라. 직업적인 사람들이 그들의 개인적 또는 단체적인 노력으로 쌓아올린 지식, 재능, 지위 등 공통적인 유산을 즐긴다.
- 마. 실질적으로 공동사회의 이익을 위하여 봉사하며, 이에 대한 보상은 이 봉사가 이룩하는 상품, 지식, 결과 등의 향상으로 얻어지는 직접적인 이익으로 받는 것이 아니고 제한된 비용을 받는다.
- 바. 의뢰자, 동료, 공공사회간의 관계에서 명백한 “윤리의 장 - CODE OF ETHICS”에 의하여 속박된다.

직업적인 기술자 (Professional Engineers)는 다음과 같은 자질을 갖추어야 한다고 본다.

- 가. 용기와 성실성
- 나. 지식의 갈구

다. 개념에 대한 상상력
 라. 정확한 판단능력
 마. 사고의 정확성
 바. 경제성에 대한 본능
 사. 원인으로 부터 결과까지를 재고하는 습성
 아. 지도자로서의 자질
 자. 발명의 소질
 차. 격무를 할 수 있는 정신 및 체력
 카. 명석하게 생각하고 발언할 수 있는 능력
 이러한 자질을 키워주는 것은 미래지향적인
 교육에 절대 불가결한 것이며, 그 방법은 여
 러분의 과제라 믿고 이만 끝맺기로 한다.

참 고 문 헌

1. Wells, H. G. The Outline of History, Garden City Books, Garden City, New York, 1956.
2. Mc Guire, J. G. and Barlow, H. W., The Engineering Profession, Addison-Wesly Publishing Co. Inc., Reading, Massachusetts, 1956.
3. Wickenden, W. E., A Professional Guide for Young Engineers, Engineers Council for Professional Development, New York, 1949.
4. Smith, R. J., Engineering as a Career, McGraw - Hill, New York, 1956.
5. Timoshenko, S. P., History of Strength of Materials, McGraw - Hill, New York, 1953.
6. Finch, J. K., Engineering and Western Civilization, McGraw - Hill, New York, 1951.
7. M. I. Dimont, Jews, God and History, Signet Books, New York, 1962.
8. 폴보우스키작, 나카야마역, 잃어버린 문명, 강담사, 동경, 1971.
9. A. Massai, The World of Pompei, Minerva S. A., Geneva, 1972.
10. V. Duruy, The World of the Romans, Minerva S. A., Geneva, 1972.
11. W. H. Prescott, The World of Aztecs, Minerva S. A., Geneva, 1972.
12. W. H. Prescott, The World of the Incas, Minerva S. A., Geneva, 1972.
13. V. Duruy, The World of the Greeks, Minerva S. A., Geneva, 1972.
14. J. Champollion, The World of the Egyptians, Minerva S. A., Geneva, 1972.
15. J. A. Golinean, The World of the Persians, Minerva S. A., Geneva, 1972.
16. D. Meilsheim, The World of Ancient Israel, Tudor Pub., New York, 1973.
17. A. Massa, The World of the Etruscans, Tudor Pup., New York, 1973.
18. G. L. Harding, The Antiquities of Jordan, Jordan Distribution Agency, 1976.
19. 요시무라, 피라밋의 수수께끼, 강담사, 동경, 1979.
20. 카라시마 외, 인터스문명, NHK., 동경, 1980.
21. 진순신, 장안으로부터 하서회량으로, N. H. K., 동경, 1980.
22. 다카히시, 이라크 역사기행 NHK., 동경, 1981.
23. 사노, 실크로드의 뒷무대, 강담사, 1985.
24. 김덕현, 토목공학의 정의와 분야, 대한토목학회지 제 21권 제 2호, 1973, 6.
25. Preprints, The 32nd International Symposium and Exhibition of Society for the Advancement of Material And Process Engineering, Anaheim, California, U. S. A. April 6-9, 1987.