

구조 최적화의 과거, 현재, 미래

조 효 남*

1. 서 론

지난 30년 동안에 급격하게 발전하여 모든 과학 기술 분야의 획기적인 발전을 가져오게 한 컴퓨터 산업과 O.R 및 시스템공학은 구조공학에서도 유한요소법(FEM)의 발전과 병행하여 과학적이며 합리적인 설계법인 최적설계법의 급속한 발전을 가져오게 하였다. 그러나, 60년대 이래 지난 70년대까지 무수하게 쏟아져 나온 연구결과와 문헌에 힘입어 구조최적화(Structural Optimization)는 이론적으로는 상당히 발전되었지만 제3세대 컴퓨터의 H/W와 S/W의 한계성으로 인하여 실제적인 초대형 구조시스템의 최적설계가 어려웠다. 반면에, 지난 80년대 이래로 PC, EWS, 미니, 슈퍼 컴퓨터를 비롯한 GAN, LAN기능을 갖춘 제 4세대 컴퓨터시스템의 고성능 H/W 및 S/W가 발전되었고, 그리고 최근 90년대에 와서도 H/W와 S/W도 486, 586고성능 PC와 CD-롬을 갖춘 멀티미디어MPC 등의 발전으로 더욱더 고도화되고, OS도 윈도우에서 OS/2, 시카고 등 32비트시대로 전환되고 있어 MPC와 함께 초심자들이 더욱 더 사용하기 쉽게 고성능화됨으로써 이제는 구조최적화도 우주 항공, 기계, 선박, 건설구조등 모든 분야의 구조설계에서 아직 완전한 수준은 아니지만 점점 더 고도의 CAE/CAD시스템의 설계최적화부분의 필수적인 설계도구로 그 위상을 확대해

가고 있다.

현실적으로는 최적설계법이 구조물의 설계에 매우 유용하다는 사실이 증명되고 있긴 하지만, 아직도 실무 설계자들은 최적설계의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있는 실정이다. 그 주된 이유는 설계실무사는 어디까지나 사용사이기 때문에 수리적 최적화기법에 친숙할 필요는 없는데, 모든 최적화 연구나 문헌, 자료가 수리최적화기법 위주로 되어 있고, 실제 구조물의 최적화를 위한 문제의 도출과 이에대한 정식화, 모델링, 최적설계지침 관련 문헌이 극소한 형편이기 때문이다. 뿐만 아니라, 초대형 복합구조물을 효과적으로 최적화할 수 있는 시스템 최적설계 프로그램의 사용에 미숙하고, 때로는 설계효율성면에서 재래의 설계 방법보다 사용하기 불편하고 실무설계에 맞지 않거나 비용이 많이 드는 경우 등이 있기 때문에, 아직도 토목, 건축분야에서는 우주항공, 조선, 기계 분야에 비하여 구조설계 전 분야에 걸쳐 최적설계가 CAE/CAD의 설계수단으로서 제대로 도입 정착되지 못한 단계에 있다. 그러나 앞으로 이상과 같은 문제들만 보완되면 광범위한 응용이 곧 실현 될 것으로 기대된다.

어느 분야보다도 그 이론이 다양하고 광범위한 구조최적화 이론이 유한요소법의 경우와 같이 이론적으로 완전한 체계가 확립된 시기는 60년대 후반이라 할 수 있다. 1638년의 Galileo이후 40년대 말에 이르기까지 많은 연구자들의 관심의 대상이었던 균일강도설계(uniform strength design)와

* 한양대학교 토목공학과 교수

같은 고전적 최적설계이론 시대를 제외하고, 최적설계의 발전과정은 최소중량설계(minimum weight design)의 형태로 선형최적화이론 중심으로 발전된 초기의 이론적 태동시기인 50년대, 각종 비선형 최적화이론의 발전과 더불어 최적설계이론이 체계화된 시기인 구조최적화 이론의 성장기에 해당하는 60년대, 그리고 최적화 설계이론들이 보다 세련화된 뿐만 아니라 수리적 계획법 외에 최적성기준(optimality criteria)이론이나 기타 근사화기법, 다단계, 다수준 최적화 모델링이나 알고리즘 등과 같이 보다 다양한 최적화 이론들이 발표되기도 하면서 최적설계가 이론적으로 고도화되고 실제 구조시스템의 설계에 적용되기 시작한 초기응용시기에 해당하는 70년대, 구조최적화 기법이 초대형 구조 시스템의 실제적인 최적설계 수단으로서 제 4세대 CAE/CAD시스템의 일부로 활용되고 있는 초기 실용화 시기인 80년대 및 90년대로 크게 구분할 수 있다.

요약하자면, 150여권의 책과 2500여편의 논문이 발표될 정도로 이론적으로는 엄청난 발전을 해왔고 대부분의 이론이 80년도 이전에 발전되어 구조최적화는 최소한 이론적으로는 수리적 최적화 기법으로서 고도화된 제 4세대 컴퓨터를 이용한 설계법으로 변모를 갖추었다. 80년대로 와서는 제 4세대 PC 및 슈퍼컴퓨터시대의 고성능 컴퓨터에 맞는 더욱더 세련화된 최적화 이론이 발전되고 응용 S/W 패키지도 쏟아져 나왔지만 실무설계에서의 설계도구로서의 응용은 위에서 언급한 바와같이 아직도 우주항공, 선박, 자동차 등의 일부를 제외하고는 특히 토목, 건축 분야에서는 정착되지 못하고 있는 실정이다.

그러나, 최적설계는 이제 유한요소법과 마찬가지로 구조공학에서 주요연구 및 응용분야의 하나로 확고한 위치를 갖고 있으며, 현재 선진국에서는 각종 구조시스템의 최적화를 위한 범용 프로그램이나 각 분야별, 구조형식별 구조시스템의 최적화 프로그램들이 개발되어 응용되고 있다. 특히 앞으로 우리 나라에서도 최적설계는 현재의 제 4세대 컴퓨터의 Interactive Graphical I/O 시스템을 이용하는 Computer Aided Design System과 Knowledge-Based Expert System의 “최적화

code”로 활용될 것이 전망된다. 여기서는 구조최적화 이론의 과거, 현재, 미래의 발전과정, 문제점 및 전망에 관하여 개괄적으로 알아 볼 것이다. 아래에 과거, 구조최적화의 발전과정은 Vanderplatts[1]의 관점을 참고로 하여 기술하였고, 현재의 문제점과 발전방향을 필자의 의견과 함께 Cohn/Dinovitzer[2]의 관점도 참고로 하여 기술하였음을 밝혀둔다.

2. 구조 최적화의 과거(50-70년대)

2.1 50년대 : 이론적 태동시기

1900년대 초 까지의 Maxwell과 Michell의 트라스의 최적배치에 대한 최적성의 정리와 같은 순수 고전적인 시기를 제외하면, 1940년대와 1950년대 초기까지는 1952년경에 Shanley의 항공구조물의 중량-강도(Weight-strength)해석에 관한 연구에서 구조요소의 최적화 이론에 관한 당시의 고전적인 경향을 엿볼 수 있다. 한편, 이시기에 이미 아직 초기 단계이긴 하지만 컴퓨터를 이용한 강골조 구조물의 최적설계를 위하여 소성설계법(plastic design method)에 선형계획법(linear programming)을 응용하는 연구들이 발표되었다. 그 대표적인 예를 1951년에 발표된 Heyman의 연구에서 찾아볼 수 있다. 이러한 초기 최적 소성설계에 관한 연구는 구조설계 문제를 해결하기 위하여 OR분야에서 발전된 수리적 계획법(MP : mathematical programming)기법을 최초로 사용하였다는 점에서 큰 의의를 지니고 있으며, 따라서 50년대는 비록 구조설계자들의 관심은 끌지는 못했지만 현대적인 구조최적화 이론의 이론적 태동기였다고 말할 수 있다.

2.2 60년대 : 이론적 성장시기

1950년대 말경의 과학기술분야의 환경은 구조설계의 주요한 발전을 이룩하는데 가장 이상적이었다. 미·소간의 우주개발 경쟁으로 인하여 보다 가벼운 중량의 구조물에 대한 요구가 어느때 보다 강하게 일어났던 시기였고, 따라서 새로운 설계기법의 개발을 위하여 필요한 연구비가 충분히 제공되던 시기였다. 컴퓨터의 사용도 보편화되기 시작

하였고, FEM기법이 설계자로 하여금 복잡한 구조물의 해석도구로 점점 더 광범위하게 응용되기 시작하던 시기였다. 따라서, 1960년도에 Schmidt는 여러 가지 다하중재하조건하에서 비선형 부동 제약 조건을 갖는 탄성구조물의 최적 설계문제를 해결하기 위하여 최초로 비선형 MP기법을 사용한 구조 최적화의 개념에 관하여 체계적으로 제시하였다. 따라서, 1960년도에 발표한 Schmidt의 기념비적 논문이 전산화 구조최적설계시대의 개막과 아울러 이 분야의 본격적인 연구를 촉발시키는 최초의 연구였다는 사실은 결코 놀라운 일이 아니다. 이 논문은 두가지 측면에서 특별히 중요한 의미를 지니고 있었다. 첫째는, 단순한 예제를 통하여 Schmidt는 최소중량설계(least-weight design)가 반드시 전응력설계(fully stressed design)가 아닐 수 있다는 것을 보여주었다. 이때, 전응력 설계란 각 부재가 최소한 하나의 재하조건하에 대한 허용한계까지 응력을 받도록 만드는 구조물의 설계를 일컫는다. 이 결과는 당시에 보편적으로 사용되어왔던 SFM (Simultaneous Failure Mode)방법에 의한 구조최적화로 부터 벗어나는 참으로 놀라만한 반직관적인 사실로 받아들여졌다. 둘째로 이 논문은 구조설계문제를 비선형 계획 문제로 정식화한 다음 컴퓨터를 사용하는 최적화 기법에 의해 설계의 최적해를 구하는 새로운 접근방법이 전산화 최적설계의 새로운 수단을 제공한다는 사실을 깨닫게 해 주었다. 이러한 새로운 설계 방법은 미리 지배적인 파괴모드를 선정하거나 가정할 필요가 없고 따라서 설계자는 구조물에 발생 가능한 다수의 파괴모드를 모두 설계에 포함시킬 수 있는 자유를 갖게 되고 설계에 영향을 미치는 파괴모드는 컴퓨터가 선정하거나 알아내도록 허용하는 것과 같다.

Schmidt의 논문이 발표된 후로 60년대 후반에 이르기까지 구조최적화 이론은 급격하게 발전하였고 수 백 편의 주요 논문들이 이 시기에 쏟아져 나왔다. 이 기간의 주요 연구는 다양한 구조설계문제를 다양한 MP 최적화 문제로 모형화하는 연구나 다양한 효율적인 최적화 알고리즘의 개발과 아울러 이들 기법의 실제 설계문제에의 응용에 관한 연구가 대부분이었다.

60년대 대부분의 수리적 계획기법에 의한 구조 최적화에서는 설계문제를 통상 연속변수로 모형화하였고, 설계공간의 Convexity를 가정하였으며 특히 중요한 사실은 기본적으로 비선형으로 되는 문제들의 선형화를 요구하지 않는 기법을 주로 사용하였다는 것이다. 또한 대부분의 문제에서는 설계시 선택가능한 실제 가용단면의 치수나 부재에 보강재의 수 같은 이산형 변수로 최적화 함이 바람직하지만, 대개는 연속변수로 취급하여 근사적인 실용해를 얻도록 하였다. 마침내, 축차적 선형 해석을 위하여 MP와 FEM은 자연스럽게 결합되게 되었는데, 이는 FEM에 의해 설계민감도분석(design sensitivity analysis)정보를 쉽게 획득할 수 있기 때문이었다. 이러한 방향으로의 최적화 기법의 발전은 보다 위력적이고 효율적으로 될 수 있는 경사함수(gradient function)를 이용하는 많은 종류의 MP알고리즘의 사용을 허용하게 되었다. 그러므로 당시 이러한 방향으로의 최적화 기법의 발전은 불행하게도 취급할 수 있는 모든 종류의 설계 문제의 다양성과 난해성이 더욱 더 무수하게 많이 존재하는 것처럼 보이게 하였다.

당시, 수리계획기법은 토목, 건축, 항공, 우주, 조선 분야의 수없이 많은 종류의 구조물의 설계를 위한 매우 효과적인 도구가 될 수 있음을 보여주었다. 설계변수로는 주로 골구조의 부재치수, 판구조나 셸구조의 두께, 보강재나 종형 부재의 간격이나 치수같은 것이 선정되었다. 이러한 것들은 종래의 설계변수와 같은 것이지만, 중요한 차이는 여러 가지 설계변수가 동시에 고려될 수 있다는 점이다. 보다 중요한 점은 여러 다하중 재하 조건하에 강도, 처짐, 안정, 진동수, 균열, 피로, 좌굴 등의 파괴모드를 포함하는, 대개의 경우 매우 복잡해 되지만 거의 모든 거동 제약조건을 동시에 만족하도록 구조물이 설계될 수 있다는 것이다.

따라서 많은 연구자들은 이러한 소위 "Structural Synthesis Concepts"은 구조설계에의 접근방법에 혁신적인 변화를 가져온 것이라고 생각했는데 이는 그리 놀라운 일이 아니다. 이와같이 무한한 가능성을 가진 설계도구는 전혀 새로운 개념이고, 고로 새로운 설계법으로 체계화 시키기 위

해서는 아직도 많은 연구개발이 필요하다고 생각했기 때문에 60년대의 많은 구조공학자들은 이러한 구조최적화 분야의 연구개발을 열정적으로 추구하였다.

그러나 1960년대 말경에 와서는 이 새로운 혁신적인 기법이 재래적인 설계를 대체할 것을 기대했던 많은 사람들의 기대와는 달리, 전문분야의 실무 설계자들에 의해 새로운 설계기법으로 받아들여지지 않는다는 것이 명백하게 되었다. 당시의 이러한 현상에 대해서는 몇가지 설득력있는 설명이 가능하다고 본다. 첫째, 설계는 해석보다 훨씬 더 복잡한 것이며, 그 당시는 FEM구조해석이 거의 15년간의 연구 개발후에 막 일반적으로 받아들여지기 시작한 시기였다. 새로운 설계기술이 일반적으로 받아들여지기 위해서는 더 긴 기간이 필요한 것이다. 둘째는, 구조최적화 개념은 구조공학과 OR분야의 결합을 의미한다. 대부분의 구조공학연구자, 교육자, 실무자들에게는 이러한 OR(Operations Research)이나 MP같은 최적화 기법이 잘 알려지지 않은 전혀 다른 분야의 공학적 기술인데다, 더구나 특히 OR이나 NLP(Nonlinear Programming) 같은 MP기법 자체가 계속 발전되고 있는 고도의 전문분야이기 때문에, 이러한 새로운 기법이 급방 광범위하게 받아들여지기를 기대하는 것은 너무 성급하고 불합리하였다. 이와같은 모든 설명은 매우 타당한 것이며 이를 극복하는데는 다만 시간과 인내만이 필요하였다. 또한 이러한 새로운 설계기술 자체에 어떤 기본적인 한계가 있을지도 모른다는 의문이 인식되기도 하였다. 경우에 따라서는 매우 단순한 설계 문제도 이론적으로는 최적화 과정에서 수 백번 해석해야할 필요가 있지 않은가 하고 잘못 이해하기도 하였다. 따라서 이와같이 해석에 많은 시간이 소요되면 이는 대규모 FEM해석 모양의 경우와 마찬가지로 최적화 비용이 너무나 엄청나게 많이 들게 되고 곧 투자자치가 없는 상태로 되고 말것이라는 오해를 사기도 하였다.

최적화 알고리즘의 효율성 자체는 납득할 수 있는 수준까지 개선할 수 있다 하여도 구조최적화에 드는 비용은 일정하지 않고 설계변수의 수는 따라 선형적으로 증가하지도 않으며, 오히려 2차 함수

혹은 어떤 경우에는 지수적 속도로 증가할지도 모른다는 충분히 이론적 근거가 있는 논란이 있을 수 있었다.

또한, 구조물이 FEM을 사용하여 해석되어야 한다면, 이에 대응하는 완벽한 설계의 자유를 제공학 의한 바람직한 설계변수의 수는 수 백 내지 수 천개가 되어야 할지도 모른다는 인식이 통상 그대로 받아들여지곤 하였다. 즉 구조물의 FEM 모형내 각 유한요소와 관련하여 하나 또는 그 이상의 변수가 필요한 것으로 생각한데서 가장 큰 오해가 기인하였다.

60년대 말경에는 당시 제 3세대 컴퓨터에서 MP기법의 직접 적용에 의한 구조 최적설계는 50개 정도의 설계변수를 갖는 문제에만 가능하다는 것을 충분히 계산 경험에 바탕을 두고 지적한 문헌까지 있었다. 당연히 이보다는 훨씬 더 많은 설계변수를 갖는 구조물의 설계가 필요하다는 관점에서 보면 이 새로운 기법이 곤경에 처하게 되었다는게 분명하였다. 물론 MP기법의 일반성은 이 기법이 매우 매력적인 설계도구가 될 수 있게 만들었지만, 실제문제로 가서는 몇 개의 변수로 정의되는 문제에만 국한될 수밖에 없는 것 처럼 보였다. 오늘날의 컴퓨터와 성능을 비교하면 비교가 될 수 없을 정도의 제한된 용량과 계산속도를 가진 당신의 컴퓨터로는 부딪힐 수밖에 없는 어쩔 수 없는 한계였다고 인정하지 않을 수 없다.

2.3 70년대 : 이론의 고도화 시기

1970년도는 Schmidt가 현대적 의미의 구조최적화의 개념을 정의하고 제시한 논문을 발표한 후 10년이 되는 해였다. 그동안 이 방법에 의해 제안된 수많은 최적설계의 개념에 대해 고찰할 시간이 충분이 있었고 점차 그 한계성을 깨닫기 시작하였다. 1971년도에 Gellatly /Berke /Gibson 등은 구조최적화에 있어 60년대를 “영광과 비극의 시기”라고 하는 말로써 이러한 한계성에 대한 자각을 가장 극명하게 묘사하고 있다. MP 기법을 사용하는 구조최적화에 대한 불만과 좌절이 점점 더 심화 될 수록 이말은 정말 정확하고 통찰력있는 표현이 아닐 수 없었다. 더구나 이와 같이 MP기법이 한계 부딪혀 있을때 MP 기법과는 상이한 최적

화 기법이 등장하였다. 소위 최적성 기준(Optimality Criteria ; OC) 방법으로 곧 널리 알려지게 된 이 방법의 최초의 해석적인 형태는 1968년에 Prager 등에 의해 제안되었고 수치적인 형태는 Venkayya /Khot /Reddy에 의해 개발되었다.

OC방법도 문제의 기술은 MP와 동일하게 일반적인 형태로 기술된다. 그렇지만, OC방법에서는 목적함수의 직접적인 최소화를 위하여 노력하기 보다는 제약조건을 갖는 문제에 대해 도출한 어떤 지정된 최적성 기준을 만족하는 설계를 찾으면 이러한 설계를 최적해로 간주한다. 최적성의 기준으로 흔히 사용되는 기준에는 구조물의 각 부재에 변형에너지 밀도가 동일하게 되는 기준이나, NLP (nonlinear programming)문제에 대한 해의 최적성에 대한 필요조건인 유명한 Kuhn-Tucker조건 같은 것이 많이 사용된다. OC방법의 핵심은 최적해를 정의하는 기준을 설정한 다음 반복시행적으로 원하는 해에 수렴하는 재귀공식(recursive formula)을 고안하는데 있다. 또한 만일 최적점에서 어느 제약조건이 임계적인(critical) 제약조건이 되는가를 미리 알아낼 수 있다면, 이러한 제약조건인 Lagrange 승계수는 정(+)의 값을 가지므로 최적화 문제가 좀 더 단순화 된다. 실제로 최적해에서 어느 제약조건이 지배적이 될 것인가를 사전에 아는 것이 반드시 제약조건이 발견될 수 있다. OC알고리즘의 특수한 경우는 응력 제약만을 받는 정정 구조물에서 볼 수 있다. 이러한 문제에서 각 부재는 최소한 하나의 재하조건에 대해 전응력(fully-stressed)을 받거나 또는 최소 부재치수를 갖게 되는데 이와 같은 조건하에 등방성 재료의 경우 균등 변형에너지 분포에 대한 가정이 옳다는 것을 보여 줄 수 있다. 더구나, 정정 구조물의 전응력 설계는 역시 최소중량 설계가 된다는 것을 보여 줄 수 있다. 그러므로 구조물의 중량같은 목적함수가 최적성 기준의 직접 일부분이 되어 있지는 않지만, 이는 간접적으로 최소화 된다. 보다 일반적인 경우 OC기법에서는 최적설계점에서 어느 제약조건이 임계적(critical)으로 될 것인가를 알아내야 하는 문제가 있는데 최소한 이론적으로는 이 점이 이 개념의 한계성으로 지적할 수 있다. OC방법은 주로 직관적인 최적화 기법이지만, 설

계도구로서는 매우 효과적임을 보여주고 있다. 이 방법의 주된 매력은 컴퓨터에 쉽게 프로그램화할 수 있고, 수렴은 문제의 크기에 비교적 무관하며, 대개의 경우 몇회 정도의 상세 구조해석으로 근사 최적설계를 구하게 해준다. OC방법의 해석상의 이러한 장점은 MP방법의 해를 구하기 위하여는 요구되는 해석의 많은 횟수에 비하여 상당히 개선되었음을 나타낸다. 효율성면에서 이와 같이 상당히 개선된 면모를 갖는 OC방법의 기법상의 특징 때문에, 70년대 초·중반 경에 OC개념에 관한 상당한 연구 노력이 경주되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 이 시기의 두 경쟁적인 최적설계 개념은 실제적인 설계문제에의 응용에 와서는 어느 쪽도 확실하게 더 우월할 것도 없었지만 최적설계자들에게는 결코 바람직하다고 할 수는 없는 최적화기법상의 선택은 상호 보완적이었다. MP 기법은 극히 일반적인 도구로서의 특징을 갖고 있고, 또한 이론적인 관점에서 보면 최적해의 성질에 대해 아무런 가정도 요구하지 않는 기법이었다. 고로 설계자는 설계과정에서 모든 설계문제를 일반적인 비선형 제약 최소화 문제로 단순하게 접근할 수 있고 컴퓨터는 소위 “Optimizer” 루틴에 의해 최적설계점이 있는 곳을 자동적으로 탐색해 가도록 되어 있다. 반면에, 최적화 기준방법은 분명한 이론적인 근거를 갖고 있지는 않고 경우에 따라서 OC기법은 비최적설계로 수렴하거나 발산하기 까지도 한다. 그렇다면, OC방법의 이러한 거동은 특별히 고안된 시험적인 설계문제에 관련하여 나타나는 현상이고 이러한 문제는 실제적인 관심보다는 학술적인 면에 치중된 것이었다. 가장 중요한 점은, 대개의 경우 이 방법의 한계성을 잊게 하는 특징이기도 하지만 OC기법은 보다 실제적인 설계문제에 대해 근사해를 구할 수 있게 해준다. 당시 일부 연구자들은 두 최적화 기법의 강점을 살리기 위하여 자연스레 구조설계 문제를 분리시키므로써 OC방법은 설계변수의 수가 많은 시스템 구조의 최적화를 취급하고 MP기법은 요소최적화 설계문제의 해를 구하도록 하는 방법을 제안하기도 하였다. 이러한 방법은 두 기법을 결합시킬 뿐 아니라 두 분야의 연구자들이 두 방법사이의 기본관계를 보다 면밀하게 관찰하기

시작하도록 만들었다. 한편, 1973년에 Schmidt와 Farshi는 MP기법을 사용한 구조최적화에서 근사화 개념(approximation concept)을 이용하는 접근방법에 대하여 연구한 바 있고 계속되는 연구에서 여러가지 개념을 제안하였다. 이중에 가장 중요한 근사화 개념 중의 하나를 예로 들면 해의 수렴성을 높이기 위해 원래의 문제에 대해 중간변수(intermediate variable) 또는 역변수(inverse variable)라는 개념의 도입을 들 수 있다. 이 방법이 기본개념은 설계변수 X 의 역변수 $Y_i = 1/X_i$ 을 도입하여 최적화문제를 변환시키므로써 비선형 제약조건을 선형화시킨 다음, 설계변수 사이의 연결(couplings)을 무시하는 근사화 함수를 이용하여 반복시행에 의해 근사해를 구하도록 하는 것이다. 즉, 근사문제에 대한 최적해가 구해지면, 이에 대한 정확한 FEM해석을 수행하고 다시 근사화 함수를 만들고 이에 대한 근사최적해를 구하는 식으로, 반복시행에 의해 수렴할 때까지 이 과정을 반복한다는 것이 기본 아이디어이다. 이러한 근사화 문제에 대한 함수값과 도함수의 계산노력이 거의 들지 않기 때문에 이 부최적화(suboptimization) 문제의 해를 구하기 위하여 MP기법을 사용하였다. 1976년에 Schmidt / Miura는 다차중 제약조건하에 강도 및 변위 제약조건을 갖는 각종 구조물의 최적화에 관한 여러 수치예를 포함한 근사화 개념에 대해 체계적으로 고찰한 연구결과를 발표하였다. 이 방법을 사용하면, 정장 구조물에서는 일 회의 상세 해석만으로 최적화가 구해지지만 부정강구조물의 경우는 10회 내의 정도의 구조해석을 필요로 한다. 그렇지만, 실제 구조물의 실용적인 설계를 위한 응용에서는 매우 고차부정장 구조물에서도 최소 3회 정도에서 고집적설계(near optimum)가 구해졌다. 더구나 해의 수렴에 대한 효율성은 문제의 규모에 거의 무관한 것처럼 보였다. 당시 70년대로서는 이러한 여러가지 근사화 개념의 도입은 설계자들이 MP기법의 일반성을 유지하면서도 실제 크기의 문제를 다룰 수 있도록 허용하는 주요한 발전중의 하나로 볼 수 있다. 1970년대 말경까지는 구조 최적화를 위한 OC와 MP기법의 발전이 별개의 연구분야로 계속되었다. 두 기법을 연관시키는 가장 의미있는 작업은

두 가지 기법의 기본개념을 수리적으로 상호 제휴시키는 연구로부터 시작되었다. 1977년에 Fleury와 Sander에 의한 이 문제 대한 최초의 획기적인 연구결과는 최적화를 위한 양 접근방법의 수학적 기초가 있음을 보여주었다. 이들의 연구결과에 의하면 OC기법은 수학적으로 분리가능한 함수형태를 갖는 최적화 문제에 대해 이론적으로 성립되며, OC를 MP의 특수한 경우로 간주할 수 있다고 보았다. 실제로 근사화 개념과 쌍대방법(dual method)의 결합에 의해 대부분의 설계문제에 대한 “양 분야의 최선”의 가능성을 제공할 수 있는 것처럼 보였다.

70년대까지의 특기할만한 주요 발전으로는, 구조 최적화를 위한 효율적인 NLP 기법의 응용, 일반화된 OC기법의 발전, 여러가지 다양한 근사화 개념의 개발, 그리고 70년대말의 근사화 개념과 쌍대방법의 결합을 통한 두 기법의 제휴를 꼽을 수 있다. 물론 앞에서 언급한 바와 같이 여기서 다루지는 않지만 MP나 OC기법같은 수치최적화 외에, 변분법을 이용한 최적화 문제의 해석적 모형화와 설계민감도 분석, 그리고 주로 형상 최적화와 관련된 이러한 해석적 모형을 바탕으로 한 수치최적화 기법의 발전도 빼놓을 수 없는 주요 최적화이론이라 할 수 있다.

3. 구조최적화의 현재

3.1 제 4세대 컴퓨터 시대의 구조최적화

전 절에서 살펴본 바와같이 과거 제 3세대 컴퓨터 시대인 70년대 까지의 발전은 제한된 컴퓨터 H/W의 용량과 계산속도 때문에 구조최적화의 이론은 고도의 수준으로 발전되었지만 실무설계 문제는 단순한 요소나 부재최적화 문제를 제외하고는 다루기 힘들었고, 자연 실무설계용 최적설계 컴퓨터모드는 특히 일부분야를 제외하고는 찾아보기 힘들었다. 70년대 까지의 제 3세대의 컴퓨터 환경에서는 진산화 실무설계에서 최적설계가 위력적인 실무설계도구가 될 수 없었던 것이, 80년대로 넘어오면서 컴퓨터산업은 주지하는 바와같이 고집적 IC마이크로칩 기술의 발전에 의한 마이크로프로세서 H/W기술의 혁신으로 제 4세대 고

성능 PC컴퓨터시대의 막이 올랐고, 컴퓨터산업기술은 눈부실 정도로 빠른 속도로 발전되어 거의 매년 새로운 H/W와 S/W가 출현할 정도로 PC, WS, MainFrame, 슈퍼컴퓨터에다가 고도의 Graphic기능과 UNIX, Window 등 강력하고 사용자중심의 OS기능과 LAN/GAN 네트워크 기능을 갖춘 초고성능 H/W와 S/W로 발전하게 되므로써, 최적설계분야도 당연히 물만난 고기처럼 전산화 실무설계의 실제 설계도구가 될 수 있는 기회를 맞이하였다고 볼 수 있다. 그러나 불행하게도, 지나치게 최적화 기법위주로 발전해 왔던 구조최적화 분야는 용량, 처리속도 내용면에서 제약이 없어진 고성능 제 4세대컴퓨터시대에 와서도 여전히 실무 설계자들에게는 외면을 당해 왔고 80년대에서 오늘날 90년대 중반에 이르기까지도 이론적인 발전은 더 이상 필요가 없는 정도로 고도화 되었으면서도 실무설계자들이 원하는 실무의 실제 최적화가 시급한 구조분해 중심의 설계코드의 개발에 등한히 한 결과 아직도 제 위상을 찾지 못한 채 실무설계 응용을 위한 시련을 겪고 있는 실정이다.

아래에서는 80년대와 90년대 모두 제 4세대 고성능컴퓨터 시대에 있고 구조최적화도 80년대와 90년에 걸쳐 최적화이론이나 기법면에서 근본적인 차이는 없다는 점과 90년대에 좀더 세련화된 기법이 제안되고, 일부 새로운 최적화 알고리즘이 발전되었지만 실제 구조최적화 이론은 80년대에 이미 현 제 4세대컴퓨터에 적합한 구조최적화의 기본틀로서 갖추어 졌다는 점을 고려하여 구조최적화의 발전동향을 80년대와 90년대 오늘까지 같은 맥락에서 살펴보았다.

3.2 근래(80년대) 및 현재의 발전동향

위에서 언급한 바와 같이 80년대로 넘어오면서 제 4세대 고성능 컴퓨터의 출현과 더불어 초대형 구조시스템의 실제적인 최적화를 위한 시스템 최적화 프로그램의 연구개발이 CAE/CAD시스템의 개발과 병행하여 각 분야에서 활발하게 추진하고 시도되었다. 특히, 이와같은 실제적인 대규모 구조시스템의 설계를 위한 최적설계프로그램의 개발에서는 시스템 최적화 알고리즘에서 핵심이

되는 DOSA(Design Oriented Structural Analysis)를 위한 효율적인 구조재해석 방법(structural reanalysis), 설계민감도분석(design sensitivity anlysis)기능을 갖춘 FEM 패키지의 개발을 필요로 하게 되었고, 이에 따라 FEM해석과 최적화 기법을 결합하는 매카니즘의 연구개발을 촉진시켰다.

다른 한편으로, 80년대 이래 오늘에 이르기까지 구조최적화 이론 및 기법의 연구개발에 관련된 또 하나의 발전추세를 개관해 보면, 지난 70년대까지 약 30년간 주로 OR분야에서 연구개발된 결과로 당시 고도로 성숙한 단계에 있는 수리계획법(MP)의 각종 최적화 알고리즘을 구조최적화에서 보다 효율적이고 신뢰할만한 기법이 되도록 만들기 위하여, 최적화 기법의 기계적인 단순한 적용보다는 상당한 수정을 가하여 응용하는 방향으로 연구개발되고 있었음을 알 수 있다. 이와 같이 수정이 필요한 이유로는 크게 두가지를 들 수 있는데, 첫째로는, 수학적으로 수렴에 대한 효율성이 증명된 수리적 알고리즘의 개발과 실제 설계문제를 전산화하는데 이 알고리즘을 적용할 수 있도록 개발하는 것과는 기본적으로 상당한 차이가 있다는 것이다. 흔히 이론적으로 훨씬 더 매력있는 방법도 실제 문제를 다룰 때는 그렇지 못한 경우가 많다. 또한 실제문제에서 사용 가능한 알고리즘이 되기 위해서는 수학적으로 엄격한 알고리즘보다는 근사적이며 융통성있는 기법을 허용하는 것이 바람직하다. 결과적으로, 공학적 관점에서는 수학적으로 엄격한 최적해는 거의 의미가 없다는 점이다. 둘째로는, 최적설계 과정에서 주어진 하나의 설계에 대하여 1회의 설계비용이 많이 들기 때문에 최적화 알고리즘의 수렴속도가 특히 중요하다. 고로 근접해(near-optimum)로 신속히 수렴하는 알고리즘이 엄밀해로 느리게 수렴하는 것보다 더 바람직하다. 한편, 80년대에 MP기법의 수준은 고도로 발전되었기 때문에 현대적인 최적화 알고리즘이 사용되는 한 최적화 알고리즘 자체는 이미 큰 문제가 되지 못한다고 볼 수 있다. 이들 알고리즘의 효율성은 CPU시간이나, 함수나 도함수의 계산횟수, 준비시간, 사용의 난이도 등으로 쉽게 비교할 수는 없지만, 실제 설계문제에서는 다음과 같은 두가지 기준이 프로그램의 효율성에 관한 척도가

될 수 있다. 첫째는 근접최적해를 구하는 신뢰도가 높아야 하고, 둘째는, 주어진 설계과업을 수행하는데 몇 회 이내의 함수(및 도함수) 계산만으로도 충분하여야 한다. 그러나 무엇보다도 최적화 및 해석프로그램이 최적 설계를 창출하는데 어떤 방식으로 결합되어 있는지가 이들 최적화 기법의 궁극적 효율성을 결정한다. 그리고 특정 최적설계 문제에다 효율적인 최적화 알고리즘을 결부시키는 개발자의 능력도 전반적인 결과에 매우 중요한 영향을 미친다. 대개 대규모 컴퓨터 시스템은 여러개의 NLP코드를 갖추고 있다. 설계자가 알아야 할 점은 동일한 알고리즘을 사용하여 서로 다른 두 사람이 만든 프로그램도 신뢰도와 계산의 효율성면에서 큰 차이가 있는데, 이는 좋은 설계를 위하여 필요한 판단, 경험과 직관적 능력의 대부분은 도외시하고 단순히 수치적으로만 컴퓨터 프로그램화 하려 하기 때문이다. 고로, 수치최적화 코드는 이런 특정한 알고리즘에 바탕을 두고 있기는 하지만 이와 같이 고도로 복잡한 설계과정을 모형화 하기 위하여 프로그램을 개발한 개개인의 능력을 그대로 반영하고 있다. 만일 국부적으로 사용 가능한 MP코드가 만족스럽지 않은 경우 오늘날 여러 최적화 문헌에 소개된 최적화 코드에 대한 풍부한 정보를 활용할 수 있다. 특정한 최적화 코드의 구입비는 특정 최적화 코드의 개발비에 비하면 거의 무시할 정도이다. 요약하자면, 첫째로 80년대 이래 오늘날까지 MP코드의 개발 수준은 엔지니어들이 자신의 프로그램을 개발할 필요성이 전혀 없다는 것이다. 그러나, 특정한 설계문제를 해결하기 위하여 경험에 바탕을 두고 기존의 코드를 보다 효율적으로 개조하기를 원할 수도 있다. 오늘날 구조최적화 프로그램이 갖추어야 할 두번째 필수적인 요건은 구조해석 능력이다. 대개의 엔지니어는 설계시에 FEM 프로그램의 사용에 친숙하며, 오늘날 FEM 해석프로그램은 PC나 Main Frame용으로 널리 사용되고 있다. SAP, ADINA, GT-STRUDL, NASATRAN 같이 고도로 발전된 범용 패키지들이 사용되고 있다. 그러나, 구조최적화와 관련하여 이들 프로그램들이 빠뜨리고 있는 해석요소의 일부분으로 설계민감도 (design sensitivity) 정보의 처리능력을 들 수 있

다. 물론, 이러한 능력이 없는 FEM 패키지를 이용한 제해석이나 설계민감도 분석기법이 고도로 발전되어 있다. 이러한 능력을 갖추고 있는 대개 해석 및 설계 종합코드로 개발되어 최적화 능력을 갖춘 학술적이거나 범용의 최적화 코드로는 IDESIGN, CONMIN, OPTDYN, ACCESS, ASOP, EAL, PARS, SAVES, SPAR, STARS, TSO 등을 들 수 있다. 그러나, 이들 프로그램이 갖는 대단히 탁월한 설계능력에도 불구하고 이들은 대개 우주, 항공, 기계, 조선분야의 설계문제를 다루도록 개발되었기 때문에 토목, 건축, 플랜트 분야에 그대로 적용하기는 어렵고 토목, 건축 분야의 설계문제를 위하여 수정되어 사용되어야 하므로, 상기한 프로그램들이 광범위하게 활용되지도 못하는 실정에 있다.

마지막으로 구조최적화 프로그램이 갖추어야 할 가장 중요한 기능적 요소는 해석 및 최적화 프로그램사이의 커뮤니케이션 매카니즘이다. 가장 직접적인 접근방법은 최적설계코드를 해석코드에 단순하게 연결시켜 설계자들에 의해 최초로 주어진 형태로 설계문제를 취급하는 방식이다. 설계민감도 정보는 유한 차분식으로 계산하고 최적화 프로그램에서 요구하는 각 함수의 계산은 완전히 새로운 구조해석이 된다. 이와같은 "Black Box"적 접근방법은 실제 설계문제를 다루는데 매우 타당한 방법이다. 만일 구조요소를 설계하는 경우에는 해석은 전혀 문제가 되지 않을 뿐 아니라 요소별로 여러 설계변수가 사용되며 여러 재하조건 및 제약조건이 부여될 수 있고 이 경우 이러한 직접적인 방법은 매우 단순하며 실용적인 방법이 된다.

보다 더 복잡한 구조시스템의 설계를 위해서는 반복해석의 내용이 엄청나므로 Black Box적 접근방법은 통상 사용이 불가능하다. 이때는 먼저 FEM해석 코드에 설계민감도 계산능력을 포함시켜야 하는데 응력, 변위, 고유진동수, 좌굴 제약조건에 대한 정보를 제공하는 것은 상당한 계산능력이 필요하나 개념적으로는 매우 쉽다. 일단 이와 같은 능력을 갖추고 난 후에도 효율적이고 신뢰도 높은 설계프로그램을 개발하는데는 상당한 노력이 필요하다. 이때 앞에서 언급한 각종 근사화 개

님이 매우 중요한 역할을 한다. 결국, Substructure 최적화 기법, 효율적인 재해석 및 DOSA 기법 그리고 근사적인 문제로의 변환 기법 등을 효과적으로 사용하므로써, 해를 구하기 위한 계산과정을 엄청나게 줄일 수 있다. 더구나, 쌍대방법(dual method)을 사용하므로써 이제는 자동화 설계과정에서 복합재료의 적층의 수, 가용한 표준 단면 컷수같은 이산형 설계변수 까지도 취급 가능하게 되었다. 그러나, 이러한 근사화 기법이 완전히 모든 실제적인 설계문제를 완전한 수준에서 효율적으로 다룰 수는 없고, 아직도 해결해야 될 한계점을 일부 지니고 있다.

이러한 최적화 기법의 한계성은 많은 설계문제에 대해 이들의 직접적인 응용을 어렵게 만든다. 그러나 최근에는 다수준(multi-level), 다목적(multi-objective) 최적화 방법에 의해 이들 기법을 효과적으로 활용할 수 있는 기법이 발전되고 있다.

요약하면, 이상에서 고찰한 바와 같이 현재의 고도화된 구조 최적화 기법의 발전 수준을 고려해 볼 때, 현대적 구조 최적화 기법은 자동화 최적 설계를 위한 탁월한 능력을 갖추고 있다고 볼 수 있다. 즉, 이제는 여러 재하 조건하에 부재 컷수에, 응력, 변위, 안정, 진동수 등의 제약 조건을 받는 수백 개의 설계변수를 갖는 대형 구조물의 효율적인 설계가 가능한 최적 설계 기술을 보유하고 있다고 볼 수 있다. Schmidt가 말한 대로 구조 최적화는 이제 "추상적 개념"에서 "실제적 설계 도구"로 성장되었다. 또한 주지하는 바와 같이 현재 고도로 발전된 제 4세대의 고성능 H/W와 S/W의 능력을 최대한으로 활용하는, 또한 CD롬을 이용한 무진장한 자료 및 정보 저장 처리 능력을 갖춘 Multi DB에다 고도의 선후형 Graphic 처리 기능과 Visualization 기법을 갖춘 CAE/CAD 시스템의 개발과 나아가 전문가 시스템으로의 개발이 토목, 건축분야에서도 활발하게 진행중에 있다. 따라서 이러한 CAE/CAD 시스템의 개발에서 설계문제의 특성에 따라 시스템 수준이나 요소 수준 또는 두 수준 모두를 망라한 대화식/자동화 최적 설계가 단순히 "Optimizer" 코드로 또는 Black Box 형식의 최적 설계 시스템 프로그램으로 쉽게 Interactive

CAE/CAD 설계 시스템에 포함될 수 있음을 알 수 있다.

3.3 실무 설계에의 응용을 위한 현안 문제 및 발전 방향

지금까지 위에서 누차 언급한 바와 같이, 구조 최적화는 지난 80년대 초 이래 오늘에 이르기까지 제 4세대 컴퓨터의 급격한 변화 발전에 비하여 이론은 고도로 발전되었으나 실무 설계에의 응용은 일부 첨단 구조 설계가 요구되는 항공, 우주, 선박, 기계, 자동차, 플랜트 부분을 제외하고는 특히, 토목, 건축 분야에서의 실무 응용은 지지부진한 상태를 면치 못하고 있다. 이와 같은 실무 설계에서 응용을 제대로 유도하지 못한 책임의 대부분은 구조 최적화 분야의 전문가들의 연구 개발의 방법, 내용, 방향 면에서 근본적으로 문제가 있기 때문임은 틀림없지만, 실무 설계자들과 구조 최적화의 잠재적인 위력과 가치를 모르는 구조 전문가들의 물이 해와 외면뿐 아니라 심지어 최적 설계는 실무 설계와 동떨어진 이론적인 방법에 불과하다는 식으로 매도되는 분위기들에서 그 원인을 찾을 수 있다. 그렇지만, 구조 최적화가 오늘날 고도의 전산 이용 설계 시대에도 실무 설계에서의 설계 도구가 되지 못한 주원인은 그간 최적화의 대부분의 문헌 자료들이 지나치게 "해알고리즘(solution algorithm)" 연구 위주의 이론적 연구에 치우쳐 왔고 적용예의 제시도 실무 문제와는 거리가 멀거나 너무 단순한 교과서적인 문제에만 그쳤기 때문이다. 즉, 이는 실무에서의 실무 설계자들이 실제로 매일 취급하고 있는 실제 규모 구조물들의 모든 주요 설계 단계에서의 실무자들이 원하는 주요한 최적화 문제를 효율적으로 다룰 수 있는 문제의 정식화, 모델링에 대해서는 등한히 해온 결과 초래된 문제라 볼 수 있다. 따라서 구조 최적화는 앞으로 "수치적 해법"보다는 최적화가 필요한 문제의 발굴 및 도출과 적절한 모델링과 단면의 선정 같은 설계 문제의 정식화 기법과 관련되는 실제적으로 의미가 있는 최적화의 "문제 발굴/도출"(Problem Identification) 위주로 발전되어야 한다. 즉, 실제 구조물의 의미 있고 중요한 최적화 문제를 찾아내고 가장 효율적으로 모델링하고 이를 실무 사용자 중심으

로 실무설계 관행대로 쉽게 접근하여 대화식으로 사용할 수 있는 형태로 CAE/CAD 시스템내의 구조형식·종류별 최적설계 루틴이나 최적화 코드로 개발되어야 할 것이다.

컴퓨터를 사용하는 실무설계자라면 누구나 현재의 최적설계에 대하여 최소한 몇가지 의문은 없을 수 없다. 자기가 취급하는 구조물과 관련되는 최적화의 실제응용 예나 사례는 무엇이 있고 이와 관련된 범용 패키지 또는 특수한 최적화 코드가 있는가? 이러한 구조최적화를 도입하면 무엇을 얻을 수 있고 어떤 이점이 있는가? 등등 수많은 의문이 꼬리를 물은 것이다. 반면에, 실무에서 설계자들이 컴퓨터 이용 설계에서 최적설계프로그램을 사용시 이들 설계 보조용 프로그램에 대해 설계자들이 원하는 몇가지 요구사항을 나열하면 다음과 같다.

- (1) 컴퓨터를 이용한 설계에 최적설계의 도입시 설계자의 전반적인 업무수행에 도움을 줄 수 있어야 한다.
- (2) 최적설계 프로그램은 무엇보다도 사용하기 쉽고 실무설계과정을 신속하게 수행할 수 있어야 한다.
- (3) 구조최적화는 최적화가 꼭 필요하고 중요한 실제 설계문제를 다룰 수 있어야 한다.
- (4) 구조최적화의 결과는 경제적인 설계는 물론 신뢰도가 높고 실제적이고유용한 설계결과로 되어야 하고 쉽게 점검할 수 있어야 한다.

아무리 최적설계에 의해 자동화설계가 이루어진다고 해도 설계자는 궁극적으로 자신의 설계의 모든 결과에 책임을 져야 하기 때문에 그는 설계의 전개과정 전반에 걸쳐 완전한 이해와 제어능력을 갖고 있어야 한다. 그러나 설계의 전 과정에 걸쳐 방대한 수치계산이 요구되는 순간이 많이 있고 설계자는 무엇이 효율적이고 경제적인 설계를 구성하는지 알 수 없는 경우가 많기 때문에 이러한 상황에 대비하여 최적설계 프로그램이 진가를 발휘하도록 해야 할 것이다. 결과적으로 실무설계의 관점에서는 “최적설계”라는 용어보다는 “최적설계 보조물”(Optimum Design Aids)이라는 말이 더 적절하다고 본다. 즉 최적설계 프로그램은 설

계과정 전반에 걸쳐 설계자를 대치하기 보다는 대화식으로 설계자를 보조하는 최적의 설계수단이라는 의미를 내포하고 있다.

이상의 관점에 비추어 볼때, 현재 구조최적화 연구개발 분야의 발전은 올바른 방향으로 진행되지 못하고 있는 실정임을 인정하지 않을 수 없다. 대부분의 구조최적화 관련 문헌과 자료가 학술적인 문제접근방식 즉 “해알고리즘→연구→문제응용”방식으로 되어 있는데 반하여 실제 엔지니어링에서는 “실제문제→연구→해알고리즘”방식을 필요로 하고 있음을 유의해야 할 것이다. 위에서 언급한 실무자들의 의문과 요구를 충족시킬수 있는 구조 최적화 프로그램이나 문헌자료는 극소수를 제외하고는 거의 찾아 볼 수 없는 것이 사실이다. 즉, 현재로는 실제 구조물의 최적화를 다룰 수 있는 공공 출판자료는 매우 제한된 범위만 있고 그것조차도 대부분 실무 엔지니어들보다는 전문가들을 위한 학술적인 자료에 불과하다고 본다. 대개의 경우 실제적인 최적화 문제의 예를 다룬 구조물에는 대부분 트러스와 라멘구조 정도이다. 위에서 언급한 바와 같이 앞으로 구조 최적화의 연구 발전이 실무설계에서 응용위주로 설계자들이 원하고 쉽게 접근 사용할 수 있는 실제규모 구조물의 “문제 발굴/도출”을 위주로하는 최적설계 코드의 개발 형태로 발전된다면 구조최적화는 실무설계자들에게 “실무설계 보조물”로서 매우 매력적이며 매력적인 도구가 될 수 있을 것이다.

4. 구조최적화의 미래

4.1 가까운 장래의 전망

구조최적화 분야와 같이 역동적으로 발전하는 분야의 앞날을 예측하려는 시도는 헛되일이기 쉽다. 최소한 가까운 장래에 구조최적화는 현재도 실제적인 구조설계의 도구로 사용될 수 있는 수준으로 발전되어 있기 때문에 고도의 전산이용시대에 실무설계용 도구로서 핵심역할을 수행하게 될 전망이 매우 밝다고 말할 수 있다. 그 이유는 앞에서 강조한 바와같이 수치최적화 및 유한요소법같은 분야는 이미 80년대이래 고도로 발전되었고 제4세대 후반의 초고성능 컴퓨터에 의한 AI, Ex-

pert System 같은 종합적 CAE/CAD 시스템 개발도 동시에 고도로 성숙된 발전단계에 이르고 있는 결과에 연유한다. 여기에서, 앞으로는 과거 어느 때보다 에너지와 자원절약형 높은 수준의 구조설계가 요구되고 있는 점을 고려하면 모든 구조물의 진정한 최적설계가 불가피하다는 점을 설계자들이 곧 인식하게 될 것이다.

구조최적화 분야의 미래의 형태에 대한 정확한 예측은 불합리하고 이러한 예측 역시 논란의 여지가 있고 불완전하다는 것을 알기 때문에 여기서는 다만 정보화시대, 완전 전산이용 설계시대에 맞는 구조최적화의 몇 가지 바람직한 발전방향을 언급하고자 한다. 먼저, 구조최적화 분야에서는 두가지 면의 보완이 꼭 필요하다고 본다. 그 첫째는, 앞에서 강조한 바와같이 실제 실무설계에서 다루는 다양한 구조물의 실제적인 최적화를 중심으로 최적화 문제의 발굴/도출과 관련되는 실무응용 연구에 더욱 박차를 가해야 할 것이다. 둘째로는, 현재수준의 다양한 주요 알고리즘을 모두 포함하는 잘 개발되고 보급된 컴퓨터 Code가 순식간에 막대한 정보 및 자료의 처리능력을 갖춘 제4세대 후반 또는 앞으로 제5세대의 초고성능 H/W, S/W 특성의 맞는 공용용 응용 S/W로 되어 누구나 쉽게 이용할 수 있도록 할 필요가 있다. 셋째는, 앞으로 차세대컴퓨터의 초고성능 정보 및 데이터처리 환경내에서 대규모 최적화문제의 체계적인 정식화 및 해를 위한 보다 효율적인 최적화 기법 및 알고리즘 개발의 필요성이다. 그 외에도 최적화 분야에서 중점적인 발전이 기대되는 여러 분야가 많이 있는데 그 중에 한두가지만 구체적으로 언급하면 다음과 같다. 첫째는, 현재 연구진행 중인 여러 수준의 요소설계변수와 시스템설계변수를 갖는 설계문제에 대한 다단계, 다목적 최적설계방법이나 직접적인 종합 최적화방법을 사용하여 효과적으로 이러한 문제를 취급하는 수단의 보다 고도화된 수준으로의 연구개발이 필요하다. 이러한 설계문제의 획기적인 해결은 형상최적화 문제와 같은 복잡한 최적화문제의 효과적인 최적화 수단을 제공하게 될 것이다. 또한 부재치수와 구조물의 절점좌표를 변수로 취급하는 외에 실제 요소-절점간에 연결성을 결정하기 위한 Topology

최적화 문제도 보다 더 고도화된 연구개발이 필요한 분야이다. 물론 구조물의 신뢰성 최적화(Reliability-Based Optimization)도 아직 실용적인 수준에 이르지 못하고 있는 분야로 해결해야 할 과제가 많은 지속적인 발전이 기대되는 분야이다. 이 분야는 추계적 재하에 Parameter화된 제약조건을 갖는 최적화 문제에 대한 기본적인 통찰력을 제공한다는 의미에서 특히 흥미있는 연구과제라 할 수 있다. 이외에도 여러가지 실제적인 설계문제에서 구조최적화에 의해 해결되어야 할 문제가 많이 있지만 이러한 분야의 나열이 여기서 의도하는 바가 아니므로 더 이상 언급하지 않기로 한다. 분명한 것은 이제 앞으로 인공지능형 또는 사고형 제5세대 컴퓨터가 모든 일상적 설계 업무를 대신하게 되고 이 때가 되면 오늘날 또는 앞으로의 고도화된 구조최적화 기술이 컴퓨터에 의한 설계의 필수도구 내지는 설계언어화될 것이 틀림없다고 본다.

4.2 2000년대의 전망

이제는 이미 이론적으로는 체계적이며 고도의 수준으로 발전된 구조최적화 분야에서 2000년대의 발전은 컴퓨터 산업 기술의 발전과 직결되어 있는데 컴퓨터 산업분야같이 그 미래를 예측하는 일이 어려운 분야는 없다. 현재의 초고성능 마이크로칩을 기초로 하는 전자식 제4세대컴퓨터가 차세대인 2000년대에는 광소자를 활용하는 마이크로프로세서로 이루어진 광컴퓨터로 바뀌게 되고 데이터의 입력, 처리속도가 지금보다 수 백배 빨라지고, 현재의 586PC가 10년 전의 Main Frame 이상의 처리능력을 갖추고 있는 것과 같이 그 때가 되면 그때의 PC가 지금의 Main Frame 이상으로 막대한 정보 및 자료를 순식간에 처리할 수 있으며 지능형, 사고형 컴퓨터로 발전될 것이 틀림없다. 따라서, 누구나 쉽게 사용할 수 있고 용량, 처리속도에 제한이 없으며 고도의 지능을 갖춘 컴퓨터시대가 되는 그때가 오면 최적설계가 더욱더 진가를 발휘하여 모든 재래적 구조설계를 대체하고 구조설계분야에서 유한/경계요소법, 한계상태 설계법과 함께 핵심기술로서의 위상을 차지하게 될 것으로 전망된다. 그때가 되면 모든 구조설계

자들은 Routine한 설계업무로부터 벗어나서 그들이 의도하는 창의적인 설계에만 전념하게 되고 원하는 설계의 개념과 조건만 입력하면 최적의 모든 설계결과를 순식간에 얻을 수 있는 시대가 될 것이 틀림없다고 전망할 수 있다.

5. 맺는말

앞에서 강조한 바와 같이 현재 구조최적화는 아직도 실무설계에서 제 위상을 찾지 못하고 있다. 그 원인은 위에서 언급한 것 같이 주로 지금까지의 대부분의 연구가 알고리즘 위주로, 교과서적 예제위주로 치달았기 때문이며 따라서 오늘날과 같은 고도의 전산화시대에도 실무설계자들에게 외면당하고 있는 실정이다. 앞으로 구조최적화분야의 전문가들이 실무설계문제 응용위주의 연구 개발에 주력함으로써 이러한 문제는 쉽게 극복될 것이며, 실무설계자들도 최적설계가 무엇인지 제대로 알지도 못하면서 외면한 하고 매도만 할 것이 아니라, 오늘날 멀티미디어 초고성능 PC시대에 막대한 정보 및 자료의 처리능력을 갖춘 CD롬

과 고성능 통신기능, 고도의 음성, 문자, 영상인식 Input Media, 그리고 윈도우, 펜티엄같은 현재의 OS와 OS /2, 시카고 같은 차세대 OS체계하에서 고도의 CAE /CAD Expert 시스템이 실용화 되려면 최적설계는 재래적인 설계방법을 대치하는 시스템내의 핵심설계코드가 되지 않을 수 없다는 점을 인식해야 할 것이다. 어차피 가까운 장래에 현재의 이론과 응용사이의 Lag와 실무설계자들의 오해가 해소되는 날이 오면 최적설계는 지금의 MPC시대는 물론 인공지능형, 사고형 차세대 컴퓨터 시대에 적합한 현대적인 구조설계법이 될 것임을 확신하는 바이다.

參 考 文 獻

1. Vanderplants, G. N., "Structural Optimization-Past, Present, and Future", AIAA Journal, Vol. 20, No. 7, 1982, pp.992-1000
2. Cohn, M. Z. and Dinovitzer, A. S., "Application of Structural Optimization", J. of Structural Engineering, Vol. 120, No. 2, Feb, 1994, pp.617-631