

전산구조의 과거와 미래



김형열*

1. 머리말

컴퓨터를 이용하는 구조공학 분야의 전문적인 학술단체의 필요성에 의하여 1988년 창간된 한국 전산구조공학회가 올해로 8년째를 맞고 있다. 이 기회에 전산구조는 물론 수치해석 분야에 세계적으로 권위 있는 논문집의 논설을 인용하여 전산구조 분야의 현주소와 미래의 연구방향을 살펴보는 것도 바람직하리라 생각된다. 본 기사에서는 International Journal for Numerical Methods in Engineering(이하 IJNME로 표기)의 창간호에 실린 편집자 논설("Editorial," Vol.1, pp.1-2, 1969)과 창간 25년이 지난 IJNME의 과거와 미래에 관하여 기술한 글(O. C. Zienkiewicz, R. H. Gallagher and R. W. Lewis, "International Journal for Numerical Methods in Engineering: The First 25 Years and the Future," Vol. 37, pp.2151-2158, 1994)의 일부분을 각각 2장과 3장에 옮겨 적고자 한다.

2. IJNME 창간호 논설

과거와 마찬가지로 오늘날 공학자에게 주어진 과제는 자연물체에 대한 정량적 해석과 합성이라고 할 수 있다. 일반적으로 공학자의 연구에 근간이 되는 물리학은 잘 정립이 되어왔고 공학자들의 연구과제는 주로 해를 얻는 실제적인 방법론에 초점이 맞추어져 왔다. 수학자와 수학에 능통한 공학자의 초기업적은 구조적으로 단순한 문제에 국한되어 왔다. 이러한 초기업적의 결과는 현재까지도 해를 구하는 유용한 방법으로 사용되고 있지만 실제적인 문제를 해결하기는 어렵다. 이런 이유 때문에 1950년 이전까지는 물리학적 모델이나 실제모형에 대한 실험이 유일한 해석방법이었다. 고도의 연산처리능력을 갖는 디지털 컴퓨터가 개발되면서, 공학자의 접근방법도 변화하였다.

실험을 수치해석기법으로 대체하면서 큰 비용을 들이지 않고도 컴퓨터를 이용하여 빠른 속도로 해석을 수행할 수 있게 되었다. 더욱이 해석상의

* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원

어려움을 제거하게 되어 설계의 최대목적인 최적화도 달성할 수 있게 되었다. 그 당시 실험에 의한 최적화는 비용이 많이 들고 어려운 문제였다.

그러나 불행하게도 많은 기성학회가 보수적이어서 이러한 새로운 방법을 발표하거나 토의하기 위한 적당한 공간을 제공하지 못하고 있다. 특히 Newton과 Hooke등에 의해 수학적으로 이론이 정립된 응용역학 분야가 그렇다. 이 분야는 지금도 많이 연구되고 있지만 해석적 방법으로 실제적인 문제를 해결하기는 어려운 경우가 많다. 본 논문집의 목적은 제한적인 해석적 방법보다는 좀더 일반적인 수치해석법을 장려하기 위함이다.

위에 언급한 목적만으로도 본 논문집의 창간목적으로 충분하리라 생각된다. 이제 컴퓨터가 항공공학, 전자공학 등의 폭넓은 분야에서 활용되고 있고 특히, 기계공학과 토목공학 분야에 있어서는 그 역할이 막중하다. 모든 분야에서 수치해석법과 직접적으로 연관이 있던 없던 간에 새로운 전산기법(computational process)은 계속해서 개발되고 있다. 경우에 따라서는 이론적으로는 미흡한 전산기법이 괄목할만한 성과를 거두는데 반하여 이론적으로는 잘 정립된 전산기법이 실패하는 경우가 흔히 있다. 본 논문집에서는 이 두 가지 경우를 모두 수용하고자 한다. 본 논문집에서는 공학자라면 누구라도 그들의 연구결과를 발표할 수 있고, 연구의 성공은 물론 실패로부터 얻어지는 결과로부터 상호 이익이 되는 기회를 갖게 될 것이다.

본 논문집에서는 새로운 전산기법 개발에 관련된 연구는 물론 기존의 방법을 실제의 문제에 적용하는 연구도 환영한다. 바라건대 많은 논문이 단순히 수학적인 알고리즘을 발표하는 단계에서 끝나지 말고 이를 실제문제에 어떻게 응용할 수 있는가를 보여주기 바란다. 물론 기존의 수치해석방법의 단점과 한계를 극복하는 새로운 수치해석방법과 심오한 이론의 개발도 중요하다. 이러한 연구는 새로운 이론으로서 즉시 실용화되기 보다는 지속적인 연구가치를 갖게되리라 생각한다.

논문집 창간 후 초기에는 독자들은 유한요소법에 관련된 많은 논문들과 접하게 될 것이고 이러한 경향이 바람직하다고 생각한다. 편집자의 관점

으로 볼 때 유한요소법은 공학문제에 있어서 가장 강력한 해석법이면서 일반화된 해석법이다. 오늘날 유한요소법은 공학의 많은 분야에서 활용되고 있지만, 말할 것도 없이 앞으로도 새롭고 더욱 강력한 해석법들이 개발될 것이다.

컴퓨터는 이미 설계 및 생산업무에서도 활용되고 있는데, 사용자의 컴퓨터와의 빠른 입출력에 대한 요구는 CAD(computer aided design)를 만들게 되었다. 이러한 경향은 수치해석법의 실제문제에 대한 응용에 관련되어 있고, 컴퓨터는 앞으로 모든 연구개발의 심장부를 형성할 것이다. 이러한 주제 또한 본 논문집이 다루어야 할 분야이다.

이제는 실험에서도 결과를 분석, 비교, 정리하기 위하여 컴퓨터를 사용하기 시작하였다. 대형의 실험보다는 재료의 역학적인 성질등을 규명하기 위한 소규모의 실험이 필요하므로 본 논문집에서는 전산화된 실험논문도 환영한다.

경제적인 연구를 위해서는 연구자는 연구기간과 비용도 생각하여 이윤을 최대화 할 필요가 있다. 여기서 최적화는 실제로 비용의 최적화를 의미한다. 편집자의 생각에는 전산시간과 프로그래밍 시간을 단축할 수 있는 연구도 필요하다고 생각한다.

마지막으로 수치해석법의 성공적인 개발의 가장 중요한 요소는 역시 프로그램이다. 소프트웨어는 하드웨어만큼이나 중요하고 부가가치가 높은 상품이다. 본 논문집에서는 컴퓨터 알고리즘에 관한 연구를 발표할 때 논문형식에 구애받지 않고 전산언어를 사용하여 발표하여도 무방하다. 수치해석 알고리즘은 수식으로 표기하는 것 보다 이러한 전산언어로 나타내는 것이 효율적이며 이해가 쉽고 또한 즉시 활용할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문집에 제출된 전산프로그램은 논문의 부록으로 출판될 것이고 식자중 오류를 피하기 위하여 제출된 원본 그대로 실릴 것이다. 이렇게 함으로써 실무자에게 더욱 유용한 논문집이 되기를 기대한다.

3. IJNME의 과거와 미래

3.1 IJNME의 발자취

IJNME 학술논문집이 창간된지도 25년이 지났다. 창간 이후 연간 발표된 논문의 양적인 증가만 보아도 본 논문집의 성장은 획기적이라 할 수 있다. 그 동안 본 논문집은 창간호 논설에서 예전한 대로 새로운 학술논문집에 대한 욕구를 충실히 수행하였다고 본다.

1910년 수치해석을 이용하여 Aswan댐의 Richardson의 해를 구한 것을 시작으로, 공학문제에 있어서 수치해석의 역사는 수십 년이 되었지만, 수치해석에 컴퓨터가 도입된 1950년대가 되어서야 수치해석을 실무에 본격적으로 활용할 수 있게 되었다. 1960년대 초기에 컴퓨터의 출현으로 가능하게 된 유한요소법은 그 동안 많은 연구의 주제가 되었고, 유한요소법은 물론 다른 수치해석방법에 관련된 논문집의 출간이 필요하게 되었다. 그 당시에 권위있었던 학회지는 보수적이어서 주로 해석적인 방법이나 제한적으로 수치해석에 관련된 논문들을 다루었다. 이러한 기성 학회지의 경향이 이 분야에 처음으로 새로운 논문집을 만드는 계기가 되었다.

창간호 논설에 나타내었듯이 본 학회지의 목적은 근사해석의 이론과 방법은 물론 수치해석 응용과 결과를 다루는 논문들을 위한 공간을 제공하는 것이었다. 그 동안 편연적으로 이론적인 논문들도 증가하였지만 기본목적은 현재까지도 지켜지고 있다고 믿는다. 본 논문집에서는 논문 투고자들에게 새로 제안한 수치해석방법을 실제문제에 응용할 때 일어지는 장점을 명백하게 입증하도록 강조하였다.

앞서 언급하였듯이, 유한요소법의 주제는 그 기초가 처음 정립된 1960년대 이후에 획기적으로 증가되었다. 본 논문집이 창간되기 이전에 학회발표회 또는 공학관련 논문집에 발표된 유한요소법의 주제는 1961년에는 10편 정도, 1962년에는 15편 정도에 불과하였으나, 그 성장세가 1967년에는 162편, 1968년에 303편으로 급격히 증가하였다. 표 1에 나타낸 것과 같이 본 논문집 창간호에 발표

된 총 25편 모두가 유한요소법에 관련된 논문이었다. 앞의 통계자료를 발췌한 1975년 Norris and de Vries가 발간한 연감을 보아도 그 후 유한요소법에 관련된 논문수의 급격한 증가로 인하여 현재에는 그러한 통계자료를 만들기는 힘들다. 그러나 300편 이상의 논문이 발표되는 논문집들 중에서 본 논문집이 이 분야의 대표적인 논문집이라 하는 것은 명백하다.

본 논문집의 성장은 지난 25년간 약 10배에 달하는 논문편수의 양적인 증가를 볼 때 명백한데, 이는 다른 논문집들이 일반적인 주제를 다루는 것에 반하여 본 논문집은 수치해석 전문분야만을 다루는 것을 감안하여야 한다. 현재 본 논문집은 일반적인 주제나 공학의 특별한 분야를 다루고 있다. 그러나 논문집의 신장을 매년 할당된 지면을 초과하여, 1985년부터는 단편(short communications)은 별호(역자주 : Communications in Nu-

표 1 지난 25년간 IJNME에 발표된 논문수

Year	Volume	Total pages	No. of papers
1969	1	401	25
1970	2	608	41
1971	3	601	41
1972	4 / 5	1209	94
1973	6 / 7	1206	82
1974	8	927	56
1975	9	959	53
1976	10	1428	88
1977	11	1920	110
1978	12 / 13	2311	140
1979	14	1882	97
1980	15 / 16	2062	116
1981	17	1892	105
1982	18	1888	106
1983	19	1886	112
1984	20	2333	142
1985	21	2310	145
1986	22 / 23	3158	187
1987	24	2432	139
1988	25 / 26	3443	198
1989	27 / 28	3613	205
1990	29 / 30	3566	190
1991	31 / 32	3542	173
1992	33 / 34 / 35	5385	279
1993	36	4275	213

merical Methods in Engineering)로 분리하였고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 매년 권수를 증가시키고 있다. 아마도 이제는 성장의 한계에 도달한 것 같다.

3.2 논문집의 전문화

본 논문집의 제목을 정할 때 ‘유한요소’라는 단어가 제목에 포함될 것인가에 대하여 신중하게 검토하였고, 그 당시에는 논문집에서 다룰 주제가 최대 관심사였다. 본 논문집의 제목에 유한요소라는 단어를 포함시키지 않은 이유는 그 당시 유한차분법과 같은 다른 수치해석법의 존재를 인식하였고 특별한 근사해법이라고 하지 않더라도 최적화와 CAD 등과 같은 주제들을 감안하였기 때문이다.

논문집 창간 당시에 고체역학(solid mechanics)이 유한요소법의 주된 분야였지만, 제목을 정하는데 이를 반영시키지는 않았다. 지금 돌이켜 보면 이는 다행한 결과라고 할 수 있겠다. 왜냐하면 상당한 연구영역과 새로운 전산해석방법이 유체역학, 전자기학(electromagnetism), 토질역학 등의 분야에 개발되었기 때문이다. 이러한 분야가 오늘날 수치해석과 전산해석분야에 새로운 논문집을 창간하였는데, 논문집의 세분화는 여려 가지로 볼 때 연구노력의 중복을 가져왔고 따라서 비생산적인 방향으로 전개되고 있다. 이는 유한요소법의 요소망생성(mesh generation)과 연산법등이 모든 분야에 걸쳐 개발되고 이러한 경향은 일반적인 유한요소법 이론에도 적용된다는 것을 감안할 때 명백하다. 이미 잘 정립된 구조역학에 관련된 유한요소법 이론이 몇 년이 지난 후 전자기학등 다른 분야의 전문적인 논문집에서 재 발표되는 것을 볼 수 있다. 같은 주제의 연구가 동종 분야에서 조차 동시에 진행되기도 하는데, 발표를 위한 공동공간이 있었다면 이러한 반복을 막을 수도 있었다. 과거보다는 최근에 와서 여러 분야에서 동시에 응용할 수 있는 연구결과를 발표할 수 있는 공간이 더욱 필요하게 되었고, 앞으로도 계속해서 이에 대한 노력을 추구할 것이다.

3.3 지난 25년간의 주제와 업적

본 논문집이 창간된 1969년이 되어서야 유한요소법은 물론 비교적 고전적인 유한차분법과 boundary integral procedure 등과 같은 수치해석법들도 기본적인 이론이 제대로 정립되었다. 그러나 이후 수치해석 관련분야의 성장은 현재까지 계속되었고 그 중에는 더욱 진보된 이론이 개발되어 현재로 이어지고 있다. 여기서 관심 있는 독자들은 이 분야의 새로 개발된 이론들이 본 논문집에 처음 발표되었음을 알 것이다.

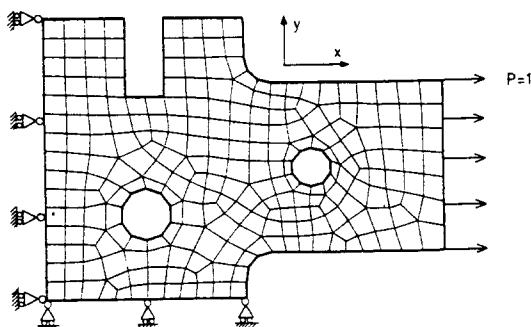
그러나 지난 25년 동안 본 논문집의 업적을 타 논문집과 비교하여 나타내는 것은 시기상조일 것이다. 그 대신에 지난 2년간 과학분야 논문집에 발표된 논문들 중에서 본 논문집에 이미 발표된 논문을 참고문헌에 인용하는 횟수를 근거로 하여 평가하면, 본 논문집은 기존의 약 60개 논문집 중에서 연속적으로 1위를 차지하고 있다.

그동안 발표된 논문의 주제를 살펴보면, 고전적 주제인 판과 쉘 해석, 유한요소의 개발, 기하학적 및 재료학적 비선형해석, 최적화 분야에서 지속적인 관심과 진보를 나타내었다. 그동안 개발된 전산기법은 현재는 범용프로그램과 실무응용에서 다루는 문제들을 해결하는데 큰 도움을 주었다. 이기간 동안 새로운 연구분야도 개발되었는데, 이를 중에서 중요한 분야로 떠오른 정량적 오차해석(quantitative error estimation), 자동오차처리(automatic error control), 유체역학 분야가 그렇다. 여기에 요소망자동생성(automatic mesh generation)과 병렬연산(parallel computation)에 관련된 분야도 포함시켜야 할 것 같다. 후자의 두 분야는 전자에서 언급한 문제를 해결하는데 필수적이다. 1960년대에도 요소망자동생성 알고리즘이 있었지만, 이 분야에 관련된 연구는 최근에 와서 급격히 증가하였다.

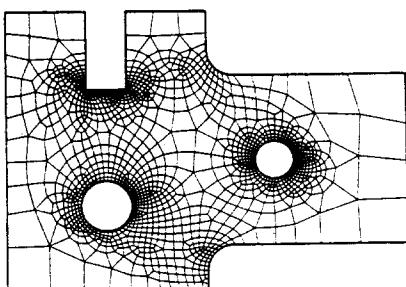
유한요소법을 이용한 유체역학 해석은 대형의 3차원적 해석을 수반하였다. 일반적으로 항공기제작을 위한 기체역학 해석에서는 동체구조와 국부현상(local phenomenon)을 고려하여 효과적인 모델링하려면, 약 백만 개의 미지수를 풀어야 한다. 이러한 문제는 일반적인 고체역학 해석범위를

초과하게 되어서 주어진 연립방정식을 풀기 위해 서는 병렬연산은 물론 여러 가지 반복연산방법 (iterative solution procedure)이 필요하게 된다. 그럼 1은 최근에 요소망자동생성에 관련된 자료를 보여주고 있다.

Some Typical Problems of Recent Years



Mesh 1(565 D.O.F.)



Mesh 2(3155 D.O.F.)

그림 1 요소망자동생성의 예
(Example : Automatic adaptive mesh refinement)

3.4 향후 25년 동안 연구될 과제

지난 25년을 되돌아 볼 때, 앞으로 점차 대형화 된 문제를 해결하려는 욕구가 증가하리라 생각된

다. 본 논문집이 창간되었을 당시에는 대형계산으로 여겨졌던 문제들이 오늘날엔 개인용 컴퓨터에서 수초 안에 해결된다. 이렇듯 컴퓨터 하드웨어의 발전은 경이롭다. 말할 것도 없이 사용자는 계속해서 사용이 간편하고 기존의 처리능력에 비하여 월등히 능력이 뛰어난 컴퓨터를 찾을 것이다.

앞에서 언급한대로 향후에도 본 논문집에서는 현재 다루는 주제들이 계속해서 연구될 것으로 보여진다. 앞으로 어떠한 획기적인 개발이 이루어지는가는 시간이 흐르면 알게될 것이므로 여기서 굳이 언급할 필요는 없다고 생각된다. 그러나 현재의 관점에서 향후 연구되어질 연구분야를 생각해 보면, 경계층(boundary layer)과 난류(turbulence)의 모델링을 포함하는 유체역학이나 유사분야가 관심을 갖게되리라 본다. 앞에서 언급하였듯이 오늘날 항공기를 둘러싸는 기체역할을 모델링하려면 약 100만개의 미지수가 필요한데, 만약에 점성경계층(visco boundary layers)을 고려하면 문제는 더욱 대형화된다. 이러한 문제의 모델링은 기존의 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 한계에 도전하고 있는데, 앞으로 이러한 문제가 표면화 될 것으로 판단된다.

앞으로 이론적인 개발도 진행될 것인데, 병렬적 이거나 다른 방법론과 연결하는 Domain Decomposition 분야, 확률론적 하중분포와 재료의 성질을 포함하는 Stochastic Computation 분야, 최근에 수학에서 함수를 근사해석 하는 방법인 Wavelets 분야, 그리고 Chaos and Fractals 분야 등을 언급할 수 있다. 이밖에도 여러 다른 분야를 언급할 수 있겠지만, 제조공정과 신뢰성평가에 관련된 응용분야도 증가하고 있다. ■