

객체 지향적 유한요소법 프로그램을 이용한 아스팔트포장 구조해석

Asphalt Concrete Pavement Structure Analysis Using Object-Oriented FEM Program

문성호*

Mun, Sungho

1. 서론

공학적인 문제를 해결을 위해 유한요소해석을 이용한 방법이 오래 동안 많이 사용되어왔다. 특히, 구조해석 모델 및 시뮬레이션에서는 FORTRAN이 보편적으로 사용되어 온 것을 알 수 있다. 공학적 해석을 위해 수천 혹은 수만줄의 아주 복잡한 코딩화 작업이 수반된다. 예를 들어, 효율적인 데이터간 접근이 용이하지 않음에 따라 수치해석시 복잡하게 연결되어 있는 벡터 혹은 매트릭스 연산에 따른 상호간 공유 및 접근이 통제되어 개발자의 실수를 줄이기가 힘들다는 점을 들 수 있다. 이들의 장애를 극복할 수 있도록 목적 지향적인 C++를 이용함으로써 이제까지 장벽으로만 여겨진 프로그램 데이터 구조해석을 통해 사용자가 쉽게 상호 목적함수들이 원활하게 접근, 통제, 데이터(FEM 구조해석에 있어 벡터, 매트릭스, 스칼라 등)의 공유·보안이 이루어질 수 있다. 또한 추후 업데이트시 해당 클래스를 쉽게 수정함으로써 최적의 상태로 프로그램을 유지할 수 있다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 아스팔트 포장 FEM(Finite Element Method)의 모형개발에 중점을 두고 있으며, 아래 <그림 1>과 같이 모델 구축에 있어 Element의 격자망과 Node와 관련된 기본 요소들을 C++(Stroustrup, 1997)을 이용 Class화하며 Element의 선택에 있어서는 Triangle, Bilinear, Quadrature 등의 다양한 종류에서 사용자가 지정하고 이와 함께 해당 구조해석에 적합한 구성방정식(탄성, 소성, 점탄성 등)을 결정하게 된다. 개념적으로 Class들은 다음과 같이 구성될 수 있다. 즉 Element Class, Node Class, 종류선택 Class, 하중조건 Class, 구성방정식 Class, 연산 Class이다. 결과적으로 이들을 구축하여 주어진 아스팔트 구조해석의 경계조건에 따라 요구되는 용력 혹은 변형을 구하게 된다. <그림 1>에 보는 바와 같이 추가나 수정이 요구되면 해당 Class에서 작업을 하여, 독립적인 Class들이 상호 데이터를 공유 또는 접근을 막을 수 있다.¹⁾

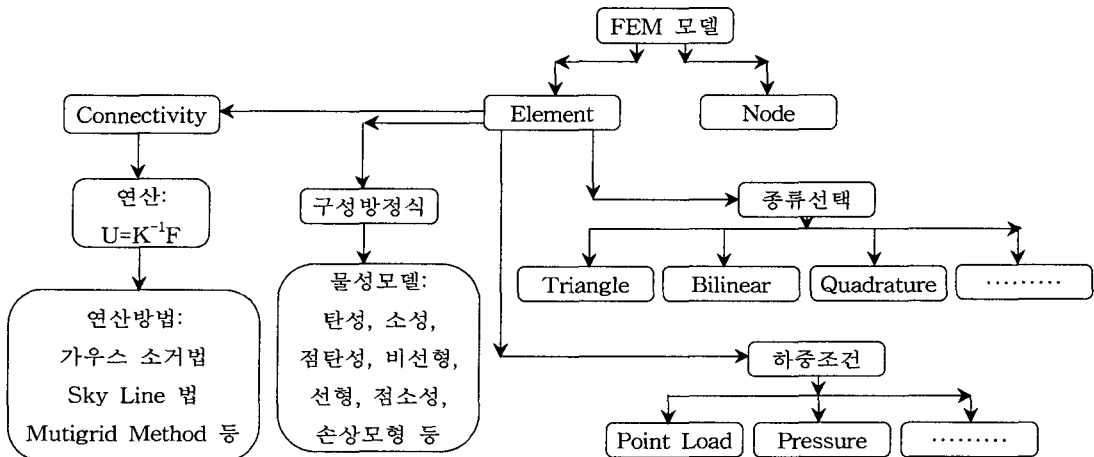


그림 1. Element 및 Node 관련 Class화된 Diagram

* 정희원·한국도로공사 도로교통기술원·책임연구원·공학박사·031-371-3360 (E-mail: smun@freeway.co.kr)

위의 Class들을 바탕으로 아스팔트 구조해석 연구에 기본 구상 및 개발 알고리즘에 중점을 둔다. 이를 위해서는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 입력변수에 대해 경계·하중조건에 만족하는 기본 틀인 FEM 입력을 위한 전처리 (Cook et al., 1989) 프로그램을 만들어 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하고, 구조해석 결과의 신뢰도의 향상에 있어 요소 격자망 크기를 자동적으로 결정할 수 있는 에러 측정함수 개발이 필요하다. 예를 들면, 큰 격자의 수치해석 결과는 신뢰하기 힘들며, 이에 비해 아주 작은 격자의 수치해석은 신뢰도가 상당히 높으나 많은 계산시간을 요구한다. 즉 최적의 격자크기를 결정하기 위한 측정함수의 이용은 사용자가 정의한 허용오차 내에서 유한요소해석을 실행하도록 한다. 이를 위해 에러를 측정할 수 있는 Class를 따로 구성하여 새롭게 개발된 에러측정함수를 계속해서 Update를 할 수 있다. 이런 과정을 통해서 Source Code의 유지보수가 용이하다. 이를 바탕으로 아스팔트 포장의 각 층 물성특성을 대표할 수 있는 모형에 근거 물성 Class와 더불어 <그림 1>에서 구성된 Class Structure를 이용 FEM 수치계산을 통해 원하는 위치의 변형률·응력을 구하고, 본 결과물에 대해서는 사용자가 쉽게 판단할 수 있는 그림을 후처리 프로그램 과정을 거친 후 그래픽화가 필요하다. <그림 2>는 최종적으로 FEM 프로그램이 활용되기 위한 Flow Chart이다. 또한 다음의 각 Section은 구체적으로 Chart의 항목별로 설명한다.

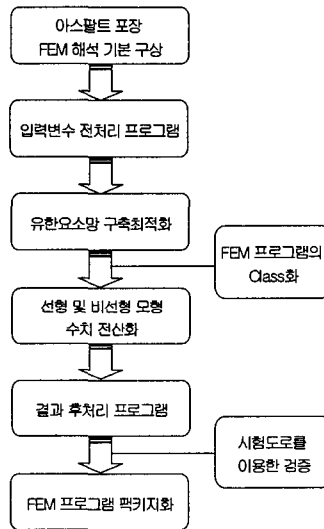


그림 2. 과업 연구방법에 대한 Flow Chart

2.1 입력변수 전처리 프로그램

전처리 프로그램은 입력변수인 절점의 좌표, 격자간의 연결성, 경계조건, 물성값, 하중조건 등을 이용, 힙과 처짐의 매트릭스를 구성하여 그 해를 구하기 위한 기초적인 형태를 제공한다. 간소화된 전처리 프로그램은 복잡한 절점의 좌표, 격자간의 연결성, 경계조건에 대해서 데이터 베이스화하여 일반적인 물성값 및 하중조건을 주어 원하는 입력형태를 만드는데 목적이 있다.

2.2 요소망 구성

유한요소망은 일반 사용자들을 위해서 다양한 포장의 층별 구성과 두께에 대해 기본적인 형태의 유한요소망의 Data Base를 통해 제공하며, 이를 위해서 최적화된 요소망을 결정하는 격자 크기에 따른 에러함수를 개발하여 해당 층의 물성치와 두께에 따라 다양해지는 결과를 좀 더 정확히 해를 구하는 형태로 DB를 구축



한다. <그림 3>에서 보는바와 같이 포장두께 및 형식에 따라 요소망 크기를 결정 사이클 하중에 대해 축대칭 유한요소망 모델링을 볼 수 있다.

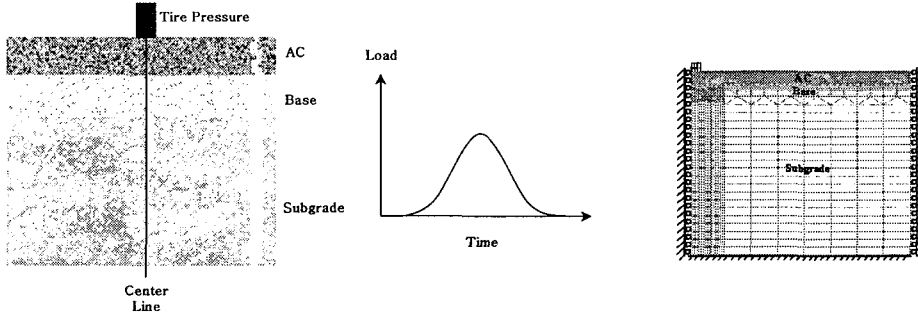


그림 3. 사이클 하중에 대한 축대칭 유한요소 격자망 모델링

2.3 FEM 프로그램의 Class화

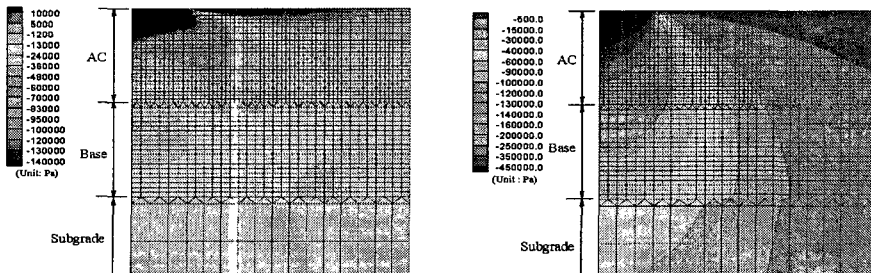
앞에서 살펴 본바와 같이 통상적으로 쓰는 Subroutine을 이용한 절차적인 프로그램을 지양하고 객체 지향적인 프로그램을 코드화하여 추후 프로그램을 확장하는데 용이하도록 Class 개념을 도입 한다.

2.4 선형 및 비선형의 모형 수치해석

기존 비선형 모델에 있어 수치해석 방법은 Fixed Point Iteration을 이용 포장 구조해석을 해왔다. 이를 보완하기 위해서는 해당 조건에 적합한 계산방법을 제공할 수 있는 연산방법 Class를 제공 정확한 해와 빠른 수렴을 보장하는 Newton Type의 Iteration을 적용함으로써 더 정확하고 빠른 속도의 수렴치를 구한다.

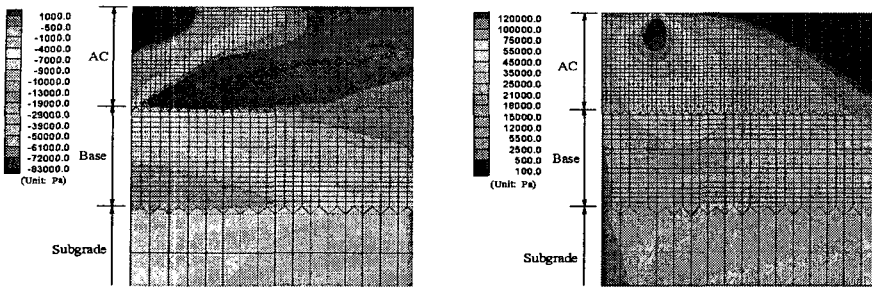
2.5 결과 후처리 프로그램

해당 경계조건, 하중조건, 물성입력에 근거로 유한요소수치 분석된 결과물인 응력 및 변형률에 대해서 보다 쉽게 소성변형, 피로균열, 온도 변화에 따른 균열 분포도를 파악 위험구간을 결정 구조해석을 용이하도록 후처리 프로그램 개발을 위한 프레임을 작성하여 <그림 4>에서 보는바와 같이 유한요소해석 후 결과 후처리 프로그램을 통해 각각의 응력값들의 예를 볼 수 있다.



(a) Radial 응력

(b) Axial 응력



(c) Circumferential 응력

(d) Shear 응력

그림 4. 유한요소해석 후 결과 후처리 프로그램(예)

3. 결론

포장구조 해석의 결과인 응력·변형률에 근거한 소성변형, 피로균열, 온도균열과 관련된 모형에 이용될 수 있는 유한요소 프로그램의 기본 설계에 있어 객체 지향적인 Class 개념을 도입, 보다 효과적으로 데이터 구조의 알고리즘을 구축함으로써 프로그램 개발자가 쉽게 FEM에 필요한 각각의 Class 수정·보안 할 수 있다. 이와 더불어 여기서 제시한 격자망 에러를 측정할 수 있는 에러함수를 이용함으로써 이용자의 선택에 따라 정해진 허용오차에 따라 아스팔트 포장구조체의 해석을 수행할 수 있음을 살펴보았다.

참고문헌

1. Cook, R. D., D. S. Malkus, and M. E. Plesha, 1989, "Concepts and applications of finite element analysis", 3rd ed., John Wiley & Sons, New York
2. Stroustrup, B, 1997, "The C++ Programming Language", 2nd ed., Addison-Wesley, New Jersey