

PSC 박스 거더교의 시공성 검사 프로그램 개발

Development of the Program Checking the Constructible Possibility of Prestressed Concrete Box Girder Bridges

김 병 석* 김 영 진** 강 재 윤** 한 석 희**
Kim, Byung Suk Kim, Young Jin Kang, Jae Yoon Han, Shocky

ABSTRACT

The objective of this study is to develop the practical program which can check the constructible possibility of prestressed concrete box girder bridges for design.

Checking constructible possibility is defined as checking the interference of each elements in a PSC box girder bridge and computing the distances of each elements.

To check the constructible possibility of a PSC box girder bridge, bridge must be modelled using solid in three dimension. By using a 3 dimensional solid modeling system, engineers can get the photo realistic 3D viewing images of the bridge and produce FEM analytic model of it. Users can manipulate their drawings easier and take off quantity of the whole structure and its elements as well as check the constructible possibility of their PSC box girder bridges.

1. 서론

본 연구의 목표는 PSC 박스 거더교(Prestressed Concrete box girder bridge, 이하 '교량')의 3차원 솔리드 모델링 시스템(3D solid modeling system)을 사용한 시공성 검사를 수행하는 프로그램의 개발이다. 시공성 검사란 교량 각 부재간의 교차 및 중복 여부와 최소 간격을 계산하여, 부재의 간섭으로 인한 시공상의 문제를 방지하며 시공에 필요한 최소한의 공간을 확보하기 위한 검사를 말한다.

이를 위하여 3차원 솔리드 모델을 사용하여 교량을 설계하여, 각 부재의 간섭 여부와 최소 간격을 계산하고 아울러 이를 도면으로 제작하는 방법을 연구하였다.

일반적인 3차원 솔리드 모델링은 각종 상용 CAD 시스템에도 이미 도입되어 있지만, 설계 과정이 복잡하고 이를 기초로 하여 설계 도면을 작성하기가 쉽지 않으므로, 교량의 설계에 적합한 솔리드 모델링 시스템과 이를 기초로 한 시공성 검사 시스템, 그리고 도면 작성 시스템을 개발하여 설계 단계에서 교량의 시공 가능성을 검토해 볼 수 있도록 한 것이다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 설계자가 교량의 전체 설계 과정을 3차원 솔리드 모델링 시스템을 통하여 수행하도록 하여, 설계 교량의 시공성 검사는 물론 각 부재의 수량 및 물량을 산출하고 이를 설계 도면으로 작성하며, 교량의 FEM 해석 모델을 작성하고 그 결과를 정리하여 구조 계산서를 작성하는 설계 통합 환경이지만, 본 논문에서는 시공성 검사에 필요한 부분을 소개하겠다.

* 정회원. 한국건설기술연구원 수석연구원

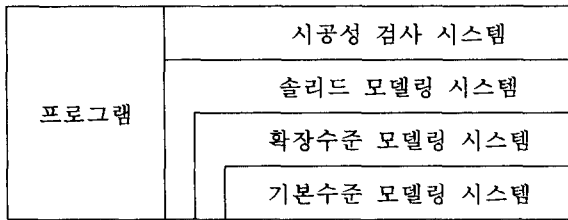
** 한국건설기술연구원 연구원

2. 연구개요

PSC 박스 거더교는 많은 수의 철근과 텐던 그리고 기타 다른 부재들로 이루어져 있으나, 현재의 2차원 설계 방식으로는 각 단면 혹은 부재를 위한 도면이 분리되어 있기 때문에 교량의 3차원 정보 및 각 부재들의 상관 관계를 파악하기가 매우 어렵고 또한 설계 변경이 이루어진 후에 관련된 도면을 일일이 수정해야 하는 부수적인 작업이 수반된다.

따라서 설계자나 설계 회사의 경험을 바탕으로 가능한 한 각 부재가 서로 간섭하지 않도록 설계를 하지만, 실제 시공 현장에서는 철근과 쉬스관이 교차하거나 시공에 필요한 최소 공간 혹은 시방서에 규정된 최소 간격이 확보되지 않는 경우가 발생하고 또한 도면간의 불일치로 인하여 시공중 이를 확인하거나 설계 변경이 이루어지는 경우도 있다.

이를 해결하기 위해서 본 프로그램에서는 일반적인 3차원 솔리드 모델링을 위한 기본수준 모델링 시스템과 PSC 박스 거더교를 위해 특화된 확장수준 모델링 시스템을 구축하였고 이를 사용한 시공성 검사 시스템을 구현하였다.



개발된 프로그램은 그림 1과 같이 솔리드 모델링 시스템 및 시공성 검사 시스템으로 이루어져 있다.

솔리드 모델링 시스템은 다시 기본수준 모델링 시스템과 확장수준 모델링 시스템으로 이루어져 있다.

그림 1 프로그램 개요

2.1 기본수준 모델링 시스템

일반적인 3차원 솔리드 모델링을 위한 자료 구조 및 처리 함수의 집합으로 B-reps(boundary representations) 모델링의 일종인 HalfEdge 모델링 시스템과 Euler 연산자로 이루어져 있다.

2.1.1 HalfEdge 모델링 시스템

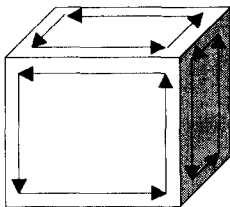


그림 2 HalfEdge

3차원 물체(solid)의 꼭지점(vertex), 모서리(edge) 및 면(face, loop)에 대한 정보를 HalfEdge로 나타낸다. 즉, 그림 2와 같은 육면체는 반시계방향으로 정의되는 6개의 면으로 이루어지는데 이때, 각 모서리는 인접하는 면에 대하여 반대 방향의 두 개의 HalfEdge로 정의된다.

실제 모델링에서는 역으로, 꼭지점의 좌표와 HalfEdge를 정의함으로써 각 모서리를 정의하고 또한 HalfEdge의 순환 고리(cyclic link)로 정의되는 외부 루프(loop) 및 내부 루프를 사용함으로써 각 면을 정의하게 된다.

2.1.2 Euler 연산자

솔리드 모델링은 일반적으로 점, 선, 면 및 각 모델의 기하학적 상관관계(topology)를 나타내기 위하여 복잡한 자료 구조를 갖는다. 또한 각각의 자료 구조는 서로 연결(link)되어 있으므로, 사용자가 이를 직접 조작하여 3차원 모델을 정의하는 것은 매우 어려운 일이며, 프로그램 하기도 힘들다. 이런 문제를 해결하는 방법으로 자주 사용되는 것이 Euler 연산자이다.

Euler 연산자는 점, 선, 면 및 각 모델의 생성과 수정 및 삭제에 위한 일련의 함수의 집합으로서 그 함수의 수행 결과 생성되는 모델은 항상 Euler 공식을 만족하도록 정의한다. 따라서 Euler 연산자를 사용하여 정의한 솔리드 모델은 항상 실제적으로 유효한 3차원 물체만을 나타내게 되며, 그 자료 구조의 정확성과 명확성이 보장되는 것이다.

개발된 프로그램에서는 Euler 연산자 외에도 솔리드의 생성을 쉽게 할 수 있도록 평행 돌출(directional sweep) 및 회전 돌출(rotational sweep)과 각 모델의 합, 차 및 교집합을 구할 수 있는 함수를 지원한다.

2.2 확장수준 모델링 시스템

기본수준 모델링 시스템을 사용하여 임의의 3차원 물체를 정의하는 것이 가능하기는 하지만 설계자가 교량 구조물을 직접 정의할 필요는 없다. 즉, 설계자가 PSC 박스 거더교의 특성을 나타내는 기본값을 정의하면 기본수준 모델링 시스템을 자동으로 호출하는 모델링 시스템을 도입하는 것이 사용 환경 면에서 더욱 효과적이다.

이를 위하여 개발한 것이 확장수준 모델링 시스템으로 사용자는 PSC 교량의 주단면 및 각 단면으로 이루어지는 구체의 구간들을 정의하고, 텐던이 설치될 쉬스관의 직경 및 좌표 그리고 철근의 배근 상태를 정의함으로써 쉽게 솔리드 모델을 구축할 수 있게 된다. 물론 각 모델은 기본수준 모델링 시스템을 사용하여 보다 세밀하게 직접 수정할 수도 있다.

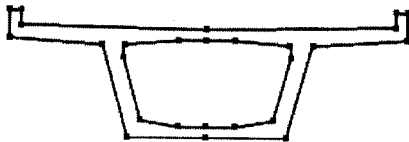


그림 3 주단면(일반부)

2.2.1 주단면(section)

교량 구체의 단면을 정의한다. 단면의 윤곽을 이루는 외부 루프 및 단면 내에 빈 공간이 있는 경우에는 내부 루프를 이루는 점의 개수와 그 좌표를 반시계방향으로 정의한다. 두께가 없는 평면만 정의된다. 이때 철근 및 쉬스관을 위한 단면은 내부 루프에 포함시키지 않는다.

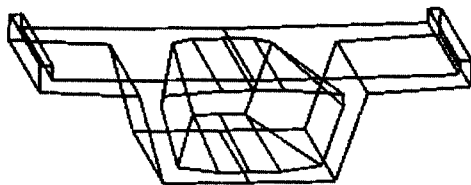


그림 4 구체 - web 확폭부

2.2.2 구체(segment)

단면이 변하는 각 구간에 대하여 양 끝단에 이미 정의된 주단면을 대응시키면 해당 구간의 구체에 대한 솔리드 모델이 정의된다. 즉, 주단면의 번호(index) 및 그 교축 방향 좌표를 정의하는 것이다. 만일 양 끝단의 단면이 같다면 평행 돌출을 사용하지만 두 단면이 다르다면 각 꼭지점을 대응시키기 위한 추가 정보가 필요하다.

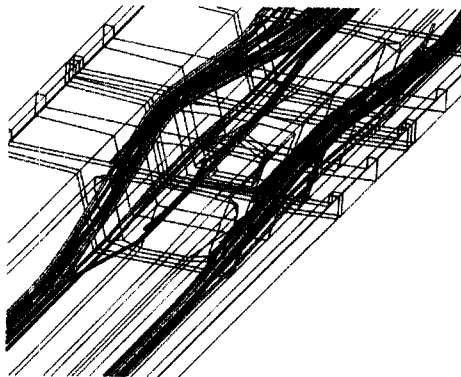


그림 5 텐던 - 중앙 지점부

2.2.3 텐던(tendon)

쉬스관은 직경과 그 좌표를 입력하여 원기둥 형태로 정의한다.

그러나 쉬스관이 직선뿐 아니라 곡선으로도 배치되며, 그 좌표는 설계자가 복부(web), 하부 슬래브 또는 도면 중심으로부터의 상대 좌표로 입력하는 경우가 많으므로 이에 대한 지원이 필요하다.

개발된 프로그램은 위에서 보인 모든 경우를 지원하며, 그림 3, 그림 4, 그림 5 및 그림 6은 경부 고속전철 2@40m PSC 박스 거더교의 모델이다.

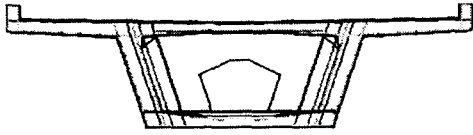


그림 6 주철근 및 주단면

2.2.4 철근(reinforced steel)

철근은 직경과 철근의 형상을 나타내는 다각형 형상 및 그 배근 방법을 입력하여 정의한다. 배근 방법은 철근의 배치가 시작되는 좌표 및 끝나는 좌표와 그 배치 방향 및 간격을 입력하여 정의한다.

다음은 경부고속전철 2@40m PSC 박스 거더교의 전체 모델에 대한 3차원 영상이다.

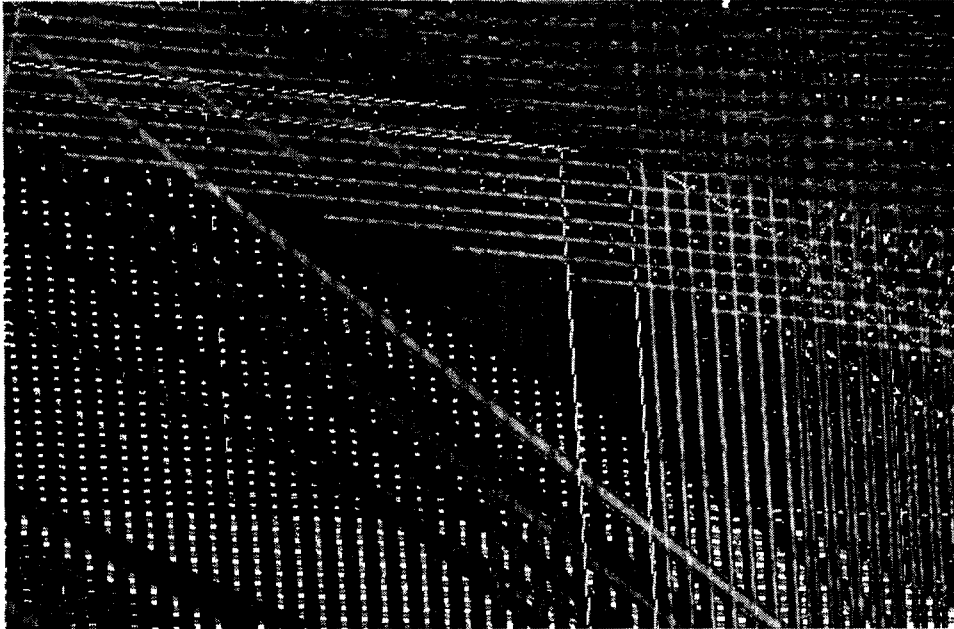


그림 7 3차원 탐색 (단, 화면 표시를 위해 배력 철근을 제외)

시점: (X,Y,Z)=(40000, 0, -2000), 범위:±1000

2.3 시공성 검사 시스템

솔리드 모델링 시스템(특히 확장수준 모델링 시스템)을 사용하여 정의한 PSC 박스 거더교 모델은 다음과 같이 시공성 검사를 수행한다.

2.3.1 경계 검출

모든 솔리드 모델은 최대 및 최소 좌표로 이루어진 경계 영역(bounding box)을 가지고 있다. 각 솔리드의 경계 영역이 서로 교차하는지를 검사하는 것만으로도 계산 시간을 대폭 줄일 수 있다. 즉, 상부 슬래브에 배치되는 철근과 하부 슬래브에 배치되는 텐던에 대한 간섭 검사를 수행하지 않도록 하는 등의 목적으로 검사하는 것이다. 추가 작업 시간 및 정보 저장 공간에 비해 전체적인 실행 속도 향상이 월등하므로 모든 모델은 각각의 경계 영역을 갖는다.

2.3.2 면 방정식 및 선 방정식

일단 경계 검출이 수행되어 보다 세밀한 검사가 필요한 경우 즉, 경계 영역이 서로 교차하는 경우

에는 각 부재 별로 면의 방정식 및 선의 방정식을 위한 계수를 계산한다. 즉, 구체의 경우에는 그 구체를 이루는 각 면의 방정식

$$Ax + By + Cz + D = 0 \dots\dots\dots(1)$$

을 위한 계수 A, B, C 및 D 를 구하고, 텐던 및 철근의 경우에는 각 부재의 단면 중심을 통과하는 선의 방정식

$$L(t) = \bar{b} + t \cdot \bar{m} \dots\dots\dots(2)$$

을 구하면, 각 부재별 거리 및 교차 여부는 면 및 선의 방정식을 사용하여 계산할 수 있다.

2.3.3 수량 및 물량 산출

솔리드 모델의 정보를 이용하면 임의 평면에 대한 면적, 도심 및 물체의 체적을 구할 수 있다. 확장 수준 모델링 시스템에 물체의 단위 중량을 입력하면 물체의 중량을 계산할 수 있으며, 저장된 정보로부터 부재의 수량은 쉽게 파악된다.

4. 결론

각종 유한 요소 해석 프로그램과 상용 CAD 시스템의 발전은 PSC 박스 거더교의 설계를 많이 돕고 있다. 그러나 2차원적인 기존의 설계 방법으로는 복잡하게 얽혀있는 교량 부재간의 간섭 및 최소 간격과 시공 공간의 확보 여부를 파악할 수 없다.

시공성 검사 프로그램을 사용하여 3차원 솔리드 모델로 교량을 설계함으로써 설계자는

- 1) 교량 부재 상호간의 간격과 그 간섭 여부 검사
- 2) 시방서에 지시된 부재의 최소 간격 및 시공에 필요한 공간의 확보 여부 검사
- 3) 설계 교량의 3차원 화면 영상 및 설계도면 (도면 작성 시스템)
- 4) FEM 해석을 위한 모델 (구조 해석 시스템)

등의 결과를 얻을 수 있다.

본 연구를 바탕으로, 향후에는 모든 개발 시스템을 설계의 전 과정을 제어할 수 있는 하나의 프로그램으로 통합함으로써, PSC 박스 거더교 설계용 통합 환경을 구축할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 신영수, 김현석, 「3차원 그래픽스」, 가남사 (1991)
2. James D. Foley...(et al.), 「Computer graphics: principles and practice」 - 2nd ed., Addison Wesley (1989)
3. Richard S. Wright, Jr., Michael Sweet, 「OpenGL Superbible」 Waite Group Press (1996)