

FCM 교량의 경간장 변화에 따른 거더 형고 자동조정을 위한 파라메트릭 모델링 방법

A parametric modeling method for automatic fitting of girder depth according to variation of span length in FCM bridge

안 현 정* · 김 봉 근** · 임 한 석*** · 김 세 진**** · 이 상 호†
An, Hyun Jung · Kim, Bong-Geun · Lim, Han Seog · Kim, Se-Jin · Lee, Sang-Ho

요 약

본 연구에서는 변단면을 갖는 FCM(Free Cantilever Method) 교량의 설계 단계에서 교각 위치 변경에 따른 경간장 변화와 그로 인한 박스 거더의 형상을 자동 조정하여 설계단계에서의 효율성 향상을 위해 3차원 파라메트릭 모델링 방법을 적용하였다. 이를 위해 FCM 교량 설계 지침서를 분석하여 경간장 변화와 관련된 매개변수들을 추출하고 이들의 관계를 구속조건으로 정의하였다. 또한, 정의한 구속조건의 적용을 통해 대상교량의 파라메트릭 모델링을 수행하여 그 적용 가능성을 검증했으며 결과로 생성된 교량 모델의 물량산출을 수행하여 모델의 정확성을 검증했다.

keywords : FCM(Free Cantilever Method), 형고 자동조정, 파라메트릭(parametric) 모델링, 구속조건

1. 서 론

3D 형상기반 모델링 적용을 통해 간섭체크, 물량산출, 설계검토 등과 같이 2D 기반 환경에서는 수행하기 어려운 작업이 가능해졌으며 이에 대해, Sacks (2004)는 프리캐스트 콘크리트 구조물 대상으로 3D 모델링 적용을 통한 비용 감소, 공기 단축 및 에러 감소의 결과를 통해 경제적 효과를 향상시킬 수 있음을 증명했다. 그러나, 변단면을 갖는 FCM 교량의 경우, 선박 충돌 방지 등과 같은 이유로 초기 설계 단계에서 교각 위치 변경에 따라 박스거더의 단면형상, 형고 등의 3차원 형상을 재생성하는 작업을 반복적으로 수행하는데 어려움이 따른다. 따라서, 관련된 매개변수의 관계를 정의하여 효과적으로 형상변화를 수행할 수 있는 파라메트릭 모델링 방법 적용이 필요하다. 이에 대해 빌딩구조물의 파라메트릭 모델링 도구를 개발하는 연구와(Sack *et al.*, 2005), 교량의 T형 빔에 대한 파라메트릭 모델링이 수행되었다(Weibing *et al.*, 2008). 본 연구에서는 FCM 교량 상부구조물을 대상으로 3차원 형상의 효율적인 설계변경을 위해 파라메트릭 모델링 방법을 적용하였다. 이를 위해 교량 설계 지침서를 분석하여 3차원 형상 변화에 대한 매개변수를 추출하였으며 이들 간의 관계를 구속조건으로 정의하였다. 또한, 적용 가능성 검증을 위해 구속조건을 적용하여 파라메트릭 모델링을 수행하였으며, 모델의 정확성 검토를 위해 생성모델에 대한 물량산출을 수행하여 대상교량 물량과의 비교를 통해 파라메트릭 모델링의 정확성을 확인 했다.

* 학생회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 ahj@csem.yonsei.ac.kr
** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 전문연구원 bgkim@korea.com
*** 비회원 · 한국중부발전 건설사업처 과장 leem@komipo.co.kr
**** 비회원 · 포스코건설 토목기술그룹 과장 sejim@poscoenc.com
† 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수 lee@yonsei.ac.kr

2. 거더 형상변화 매개변수 추출

FCM 교량 거더의 3차원 형상변화에 대한 매개변수 추출을 위해 도로교설계기준·해설(대한토목학회, 2003), 도로교설계기준(대한토목학회, 2005) 및 도로설계편람(한국건설기술연구원, 2001)을 분석하였다. 매개변수로 경간중심부와 교각부의 형고비, 경간장 따른 형고 및 하부플랜지 폭 변화 함수를 추출하였고 세그먼트 분할에 필요한 매개변수를 추출하였다. 또한, 교량 총길이에 대한 구성요소들 간의 관계를 추출 하였다. 각 추출한 매개변수는 그림 1에서 보여준다. 형고비($L/H1$ or $L/H2$)는 경험치를 기반으로 적용되며, 국내에서는 교각부에서 17~18, 경간 중앙부는 42~53사이에 분포되어있다(한국건설기술연구원, 2001). 형고 변화식($h(x)$)은 2차 포물선 등 다양하게 적용되며, 하부플랜지 두께 변화식($t(x)$)은 일반적으로 1차식이 적용된다. 마지막으로, 경간장(MI) 및 세그먼트 길이(sgl)는 동일한 길이로 분할하는 방법을 적용하였다. 이는, 공기 단축의 이점과 시공성 및 경제성 향상을 위해 도로설계편람(한국건설기술연구원, 2001)의 508.2.4.6 절의 권고 사항을 따른 것이다.

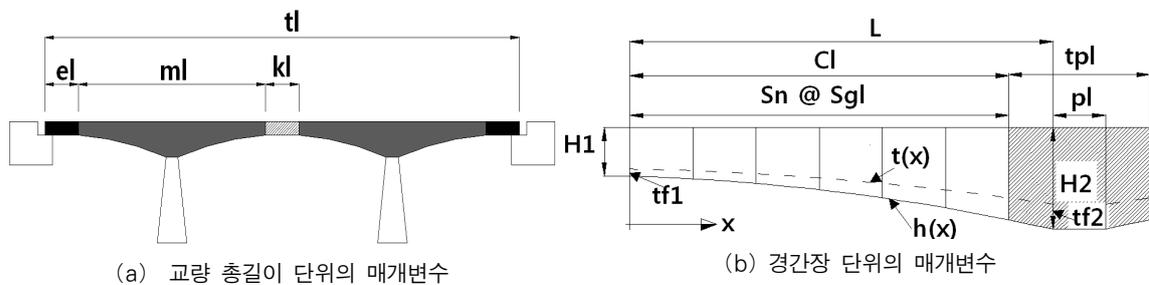


그림 1 거더 형상변화 매개변수

3. 파라메트릭 모델링 구속조건 정의

파라메트릭 모델링을 구현하기 위해서는 매개변수 간의 관계를 구속조건으로 정의해 줘야 하며 구속조건은 내재적, 외재적 구속조건 및 함수관계로 구분된다. 내재적 구속조건은 기하학적 형상관의 관계를 나타내며, 외재적 구속조건은 도면의 치수를 정의한다. 또한, 함수 관계는 규칙을 정의하여 요소들 간의 관계 또는 객체들의 관계를 정의한다.

3.1. 내재적 구속조건

FCM 교량의 상부구조는 그림 2에서 보여주는 것과 같이 주세그먼트 구간(Main segment), 키세그먼트 구간(Key segment)과 조정구간(Control part)으로 구분되며, 주세그먼트 구간은 캔틸레버부(Cantilever part)와 주두부(Pier table Part)로 구분된다. 각각의 요소들은 위치관계 등을 통해 내재적 구속조건을 갖게 된다. 그림 2에서 보여주는 것과 같이 교량 전체 단위로 봤을 때, 키세그먼트는 주세그먼트 사이에 반드시 위치해야하며, 조정구간은 반드시 상부구조물의 시작점과 끝점에 위치해야한다. 또한, 평면상의 위치를 고려했을 때 각각의 구성요소들은 동일 평면인 xy 평면에 위치해야 한다는 구속조건이 부여되며, 구성 요소들의 인접한 면은 일치한다는 구속조건이 부여된다.

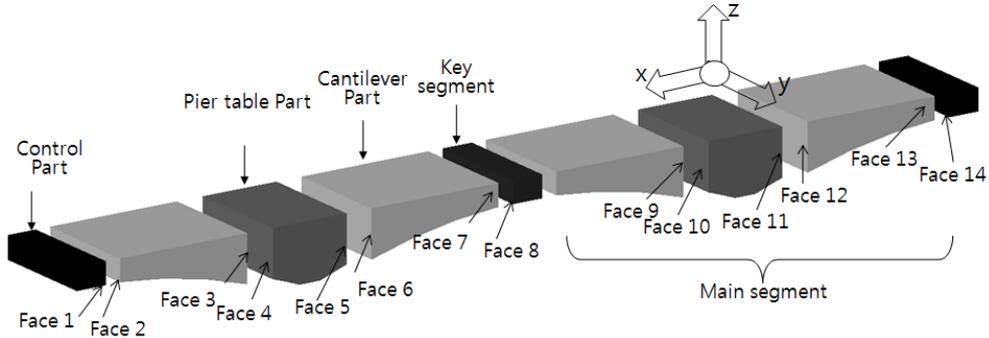


그림 2 구성 요소의 내재적 구속조건

3.2. 외재적 구속조건 및 함수관계

외재적 구속조건은 교량 총 길이(tl), 경간장(ml), 키세그먼트 길이(kl), 주두부 폭(tpl), 교각폭(pl), 하부플랜지 두께($tf1$, $tf2$), 세그먼트 수(sn)가 있으며, 함수관계는 식 (1) ~ 식 (6)과 같다. 식 (1)은 교량의 상부구조와 이를 구성하는 요소의 관계를 나타낸 식으로 n 은 경간단위의 수를 말한다. n 은 외재적 구속조건인 총길이, 경간장, 키 세그먼트 길이의 결정과 식 (2)에 의해 자동 결정되고, 이를 통해 조정구간이 자동 할당된다. 식 (3)에서의 α 와 β 는 경간중앙부 및 교각부에서의 거더 높이에 대한 경간장 길이의 비이며 각각 42~53, 17~18의 범위를 갖는다. 경간장, 주두부 폭 및 교각 폭 결정을 통해 그림 1(b)에서의 단면변화 구간(L)이 결정이 되고, 식 (3)에 의해 경간중앙부($H1$) 및 교각부($H2$)의 거더 높이가 결정이 되며, 이에 따라 식 (4)가 생성되고 단면 형상이 변화하게 된다. 식 (4)는 거더의 단면변화에 적용되는 곡선식으로 일반적으로 γ 는 미관 및 경제성을 고려하여 1 ~ 2의 값을 갖는다(한국건설기술연구원, 2001). 또한, 하부플랜지 두께 및 식 (5)에 의해 하부플랜지의 형상이 변화하게 된다. 마지막으로, 세그먼트 수에 따라 식 (6)에 의해 세그먼트의 길이가 자동 할당되어 분할된다.

$$tl = n \cdot ml + (n-1) \cdot kl + 2el \quad (1)$$

$$n = (tl + kl) / (ml + kl) \quad (2)$$

$$H1 = L/\alpha, \quad H2 = L/\beta \quad (3)$$

$$h(x) = H1 + (H2 - H1) \cdot (x/L)^\gamma \quad (4)$$

$$t(x) = tf1 + (tf2 - tf1) \cdot (x/L) \quad (5)$$

$$sgl = Cl/sn \quad (6)$$

4. 파라메트릭 모델링 구현

3장에서 정의한 구속조건을 적용하여 CATIA V5 R17의 환경에서 파라메트릭 모델링을 수행하였다. 적용 대상 교량은 삼부토건(2005)에서 작성한 FCM 설계 예제집(2 차로)을 참조로 하였으며, 교량의 총 길이 300 m 경간인 직선교이다. 파라메트릭 모델링 방법의 적용 가능성을 파악하기 위해 총 3가지의 방법을 통해 적용하였다. 첫 번째로, 거더 높이 고정 후, 경간길이 변화에 따른 형고 변화식 변화, 두 번째로, 총길이 고정을

통한 경간장에 따른 형상변화, 마지막으로 경간장 구속을 통한 세그먼트 수 변화를 검증하였다. 적용 결과는 각각 그림 3, 그림 4, 그림 5에서 보여준다. 또한, 생성된 모델의 정확성을 검토하기 위해 물량산출을 수행하여 실제 대상교량의 구조계산서 결과 값과 비교 하였으며, 그 결과 약 2.8%의 차이가 있었다.



5. 결론

본 연구에서는 FCM 공법이 적용된 교량의 초기 설계단계에서 설계변경으로 인해 발생하는 반복적이고 복잡한 매개변수 변경 작업을 효율적으로 지원하기 위해 파라메트릭 모델링 방법을 적용하였다. 이를 위해, 설계 지침서를 분석하여 거더의 3차원 형상변화에 대한 매개변수를 추출하고 이들의 관계를 구속조건으로 정의하였다. 정의한 구속조건을 적용한 파라메트릭 모델링을 수행하였고 교각위치에 따라 경간장의 길이가 자동으로 변경되며 그에 따라 박스거더의 자동 형상변화를 확인 할 수 있었다. 또한, 결과 모델에 대한 물량산출과 대상교량의 물량 비교를 통해 적용성을 검증했다.

감사의 글

본 연구는 포스코건설과 교육인적자원부 BK21사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회 기반시설 산학연공동사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- 대한토목학회 (2003) 도로교설계기준·해설(공통·강교·콘크리트교), 사단법인 대한토목학회.
- 대한토목학회 (2005) 도로교설계기준 (공통·강교·콘크리트교), 사단법인 대한토목학회.
- 삼부토건 (2005) FCM 설계 예제집 (2차로), 삼부토건.
- 한국건설기술연구원 (2001) 도로설계면담(Ⅲ) 제 5편 교량, 건설교통부.
- Sacks, R. (2004) Evaluation of economic impact of three-dimensional modeling in precast concrete engineering, *Journal of computing in civil engineering*, 18(4), pp.301-312
- Sacks, R., Eastman, C.M., Lee, G., and Orndorff, D. (2005) A target benchmark of three-dimensional parametric modeling in precast construction, *PCI journal*, 50(4), pp.126-139.
- Weibing, P., Liangliang, S., and Guoshuai, P. (2008) Solving Topological and Geometrical Constraints in Bridge Feature Model, *Tsinghua Science & Technology*, 13(s1), pp.228-233.