

프리캐스트 모듈러 교량 상부구조의 최적화 설계에 관한 연구

A Study on Optimization Design of Precast Modular Bridge Superstructure

황상수* · 임재영** · 지광습***

Hwang, Sang Soo · Lim, Jae Young · Zi, Goang Seup

1. 서 론

프리캐스트 모듈러 교량은 독립적인 기능을 갖는 프리캐스트 모듈의 조합만으로 완성되는 교량이다. 한 시간에 여러 개의 모듈의 조립으로 완성되기 때문에 도심지 상부공 교체 공사, 차량 통행 차단이 어려운 교량공사 현장 및 급속시공을 요하는 교량공사 현장 등에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 국외의 경우 이미 2010년부터 “모듈러교량위원회”를 구성하여 모듈러교량의 활성화를 위한 전략 수립 등을 추진하고 있는 반면 국내의 경우에는 모듈러 교량 기술은 아직 정립되지 않은 상태이므로 기술의 개념을 정립하고 기존 조립식 기술의 개선이 아닌 새로운 교량 기술개념으로 개발되는 것이 필요하다. 즉, 모듈, 부품의 표준화와 선 제작/후설계 프로세스 도입이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 새로운 교량 기술개념 개발의 일환으로 프리캐스트 모듈러 교량의 중량 감소 효과를 규명하고, UHPC를 이용하여 구조체의 구조성능 고효율화를 통한 중량 슬립화의 기반을 확보하는 것을 그 목적으로 하였다.

2. 프리캐스트 모듈러의 상부구조 개념

프리캐스트 모듈러 교량은 다음 표 1에 나와 있는 것과 같이 지간장 길이에 따라서 총 3개로 나뉘고, 본 연구에서 사용된 교량은 Type2 단수지지 거더교 형식이다.

표 1. 대상 지간장 별 상부구조 개념

지간	20 m 이하	20 ~ 40 m	40 ~ 60 m
형식	Type 1 슬래브교 형식	Type 2 단수지지 거더교 형식	Type 3 연속지지 거더교 형식

3. 교량 제원 및 설계 조건

단면 최적화 설계는 기본적으로 제시된 설계를 바탕으로 최소 중량, 최소 비용 등의 상태가 되도록 재설계를 하는 것이다. 이렇게 재설계되는 과정을 통상적으로 최적화설계라 부른다. 본 연구에서 수행된 프리캐스트 모듈러 교량은 외측거더와 내측거더로 나뉘고, 각 거더는 3개, 5개 등의 모듈로 이루어진다. 또한 모듈러 교량의 형태는 다음 그림 1과 같으며, 본 연구에서 사용된 교량 제원은 표 2와 같다.

* 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 · 석사과정 · E-mail: sangsu@korea.ac.kr - 발표자

** 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 · 석사과정 · E-mail: fineholic@nate.com

*** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: g-zi@korea.ac.kr



그림 1. 프리캐스트 모듈러 교량 개념도

표 2. 프리캐스트 모듈러 교량 제원

교량 제원	내용
교량명	프리캐스트 PSC T거더교
연장	35m
교폭	10.6m
등급	1등급(DB-24, DL-24)
거더수/거더간격	4/2.75
철근	SD 400
강선	KS D 7002-88 SWPC7B 15.2mm

모듈러교량은 단순한 공장제작/조립식 거더 교량의 개념이 아닌 표준 모듈 조합 시스템을 갖는 교량이다. 즉, 기존 조립식, 프리캐스트 교량이 아닌 주요 부재를 선제작하여 각 모듈을 현장에서 조립 시공하는 형태이다. 따라서 각 모듈은 공장 제작 후 현장으로 운반 시 여러 가지 제한이 따르며, 그 제한은 다음 표 3과 같다.

표 3. 프리캐스트 모듈 운반 제한 사항

구분		통과운행제한(m)	모듈 제원(m)	비고
제원(m)	총길이	16.7	13.7	견인차량 길이 제외
	높이	4.0	2.6	차량높이 제외
	폭	2.5	2.5	
구분		통과허용중량(ton)	모듈(ton)	비고
중량(ton)	총중량	40.0	25.0	공차중량 제외

3.1 목적함수 및 설계변수 지정

최적화설계를 하는데 있어서 가장 먼저 수행되어야 할 것은 목적함수를 설정하는 것이다. 본 연구에서의 목적함수는 내측거더 단면적으로 설정하였다. 그리고 내측거더 단면적을 최적화설계하기 위한 설계변수는 그림 1에 나타낸 바와 같이 합성거더높이(h1), 하부플랜지 높이(h2), 하부플랜지 폭(b2), 하부현치 높이(h3) 등으로 설정하였다. 이 외에 강선 수, 콘크리트 설계기준강도 등을 설계변수로 지정하였다. 콘크리트 설계기준강도는 40MPa~60MPa의 총 5가지 강도에 대해서 설계를 수행하였다. 그림 2와 표 4는 설계변수를 나타낸 표이다.

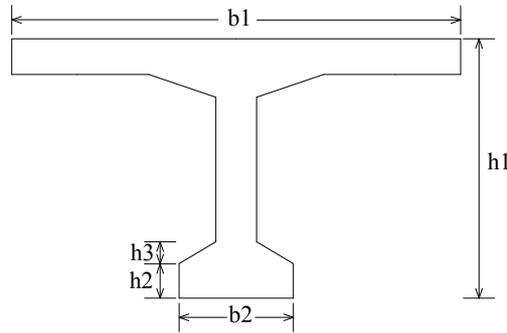


그림 2. 프리캐스트 모듈러 교량의 단면

표 4. 설계 변수

설계 변수	범위
1. 합성거더높이(h1)	1.4m~1.7m
2. 하부플랜지 높이(h2)	0.1m~0.27m
3. 하부플랜지 폭(b2)	0.6m~1m
4. 강선 수	8개~12개
5. 콘크리트 설계기준강도	40MPa, 45MPa, 50MPa, 55MPa, 60MPa

4. 프리캐스트 모듈러 교량의 구조해석 및 단면최적화 결과분석

4.1 프리캐스트 모듈러 교량의 하중효과산정

프리캐스트 모듈러 교량에 작용하는 하중은 크게 고정하중, 활하중, 충격하중, 풍하중 등으로 분류할 수 있다. 이 하중들은 교량구조물의 안전성에 지대한 영향을 미치고 있으며, 국내 도로교설계기준의 많은 하중들을 기반으로 구조해석을 실시하였다. 고정하중 같은 경우, 각 모듈에 걸리는 자중 외에 현장에서 시공되는 모듈간 연결부 타설하중과 2차고정하중으로 분류되는 도로 아스팔트 포장하중 및 강재방호울타리의 자중이 있다. 이와 같은 고정하중은 다음 그림 3, 4, 5와 같이 범용 구조해석 프로그램인 SAP2000을 이용하여 해석하였다.

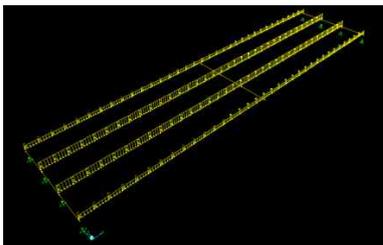


그림 3. 연결부 타설하중

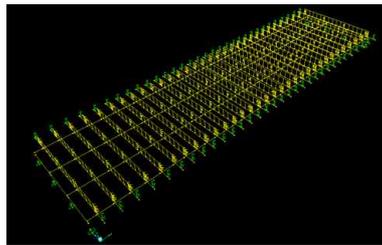


그림 4. 2차고정하중

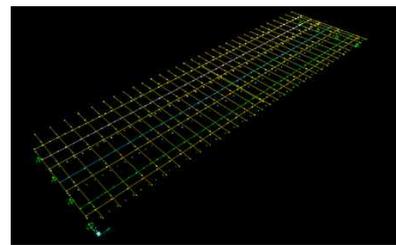


그림 5. 활하중

사용하중은 인장철근의 설계강도가 300MPa 이상인 경우, 도로교설계기준에 따라 주하중에 상당하는 특수하중, 온도의 영향과 설계 풍하중의 30%에 해당하는 사용하중을 적용하였고, 위에 언급된 하중 외에 지진하중, 빙하중, 차량충돌하중, 선박충돌하중은 동시 발생확률이 매우 낮으므로 사용성 검토 시 적용하지 않았다.

4.2 프리캐스트 모듈러 교량 단면 최적화설계 결과분석

이와 같이 설계된 프리캐스트 단면들 중 최저 단면적을 선정하여 다음 그림 2와 같이 4개 거더와 5개 거더의 최저 중량을 산정하였다.

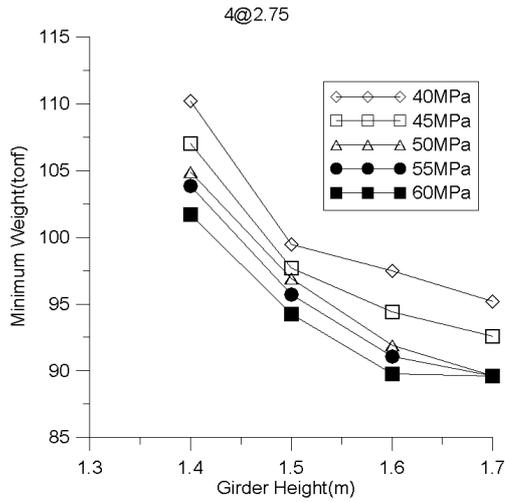


그림 6. 4개 거더를 갖는 교량의 최저중량 그래프

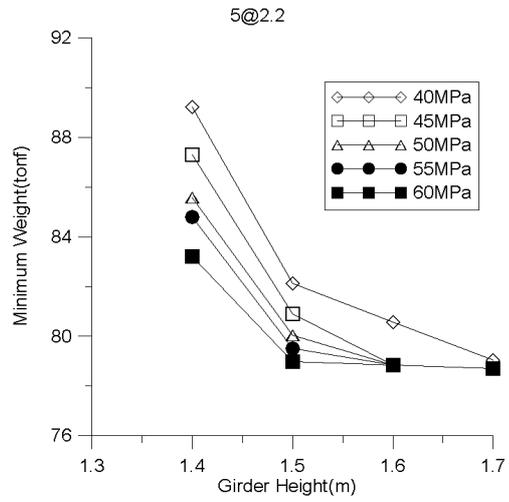


그림 7. 5개 거더를 갖는 교량의 최저중량 그래프

위 그림 5는 2.75m길이의 내측거더 2개, 2.55m길이의 외측거더 2개 등 총 4개의 거더를 교량 상부 높이를 달리하여 교량의 단면적 변화를 나타낸 것이다. 그리고 그림 6은 2.2m길이의 내측거더 3개, 2m길이의 외측 거더 2개 등 총 5개의 거더를 교량 상부 높이를 달리하여 교량의 단면적 변화를 나타낸 것이다. 두 그래프의 결과를 보면 알 수 듯이, 설계기준강도 60MPa의 콘크리트로 1.7m의 높이로 설계한 모듈러 교량이 가장 작은 단면적으로 도출된 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 시공 비용 절감 및 모듈러 교량 도입을 위하여 프리캐스트 모듈러 교량 단면의 최적화설계를 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 앞서 모듈러 교량의 특성상 운반의 제한이 있다고 밝혔듯이, 교량의 분절계획이 중요하다. 25tonf을 넘지 않는 범위 내에서 3분절 또는 5분절 계획의 중요성을 알 수 있다.
2. 위 그래프를 보면 알 수 있듯이, 55MPa과 60MPa의 강도를 가진 콘크리트의 단면은 그 차이가 거의 나타나지 않았다. 따라서 추후 수량산출 시, 콘크리트 시공비용을 고려하여 콘크리트 강도를 결정할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(10기술혁신B01-모듈러교량 기술개발 및 실용화 연구단)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 서진호, 이민구, 김상효, 황학주 (1994) 강박스거더 도로교의 단면최적화에 관한 연구, 대한토목학회 학술 발표회 논문집, Vol. 1, pp. 391-394.