

2차 모멘트를 이용한 U형 프리캐스트 거더의 연속화

Spliced Two Span Bridge with the U-Type Precast Girders by Using the Secondary Moment

이 환 우*
Lee, Hwan-Woo

조 은 래**
Cho, Eun-Lae

김 광 양***
Kim, Kwang-Yang

ABSTRACT

The precast prestressed concrete girders of I-type section are frequently employed to design the short-to-medium span bridge. However, its beam depth is greatly increased as its span length is increased over than about 30m. Therefore, the economic and aesthetic effectiveness are rapidly decreased in case of the span length over 30m.

The purpose of this paper is to verify the structural safety on the new spliced two span bridge and analyze the variation of member forces and stress distribution according to the construction stages and time. The new spliced technique is performed by partial post tensioning and release in the U-type girders. The structural characteristics of this technique is the introduction of secondary moment to reduce the bending moment by self weight of precast U-type girders constructed in simply supported beam type. So, it is expected that the structural efficiency of this spliced bridge may be improved more than other techniques.

1. 서 론

중소 지간의 교량에 주로 사용되는 I형 프리캐스트 프리스트레스트 거더는 경간장이 30m 이상이 될 때, 급속한 형고의 증가로 인해 형하 공간의 확보의 제약, 공사비의 증가 및 투박한 외관 때문에 30m 이상의 지간에는 거의 적용되지 못하는 실정이다. 한편 프리플렉스 거더(Preflex Girder)는 낮은 형고를 확보할 수 있다는 장점 때문에 30~40m 지간의 교량 설계시에 I형 PSC 거더의 대안 공법으로 주로 채택되고 있다. 그러나 프리플렉스 거더는 공사비가 I형 PSC 거더에 비해 2배에 달하고, 최근 들어 일부 교량에서 사용성 및 내구성에 대한 문제가 제기되고 있다.

본 연구는 25~45m 정도의 중소 지간 교량에서 적절한 형고를 확보함과 동시에 단순보 프리캐스트 부재 형식의 장점인 용이한 시공성을 유지하고, 연속보의 장점인 상부구조의 구조적 기능 및 내구성 향상을 제고

* 부경대학교 토목공학과 조교수

** 부경대학교 토목공학과 석사과정

*** (주) 천진 엔지니어링 구조부

할 수 있는 새로운 교량상부 구조 공법의 개발을 목적으로 시작되었다.

본 논문에서는 새로운 연속화 공법의 역학적인 특성을 설명하고, 예제해석을 통하여 새로운 연속화 공법의 구조적인 안전성과 시공단계와 시공시간에 따른 구조적 거동의 변화에 대하여 분석하고자 한다.

2. 2경간 단순보의 연속화

2.1 시공과정

그림 1은 단순보 형식의 교량에 적용하기 위해 개발된 U형 프리캐스트 프리스트레스트 거더를 이용한 새로운 연속화 공법의 시공절차를 나타내고 있다. 본 공법은 시공상의 경제성을 유지하기 위해 프리캐스트

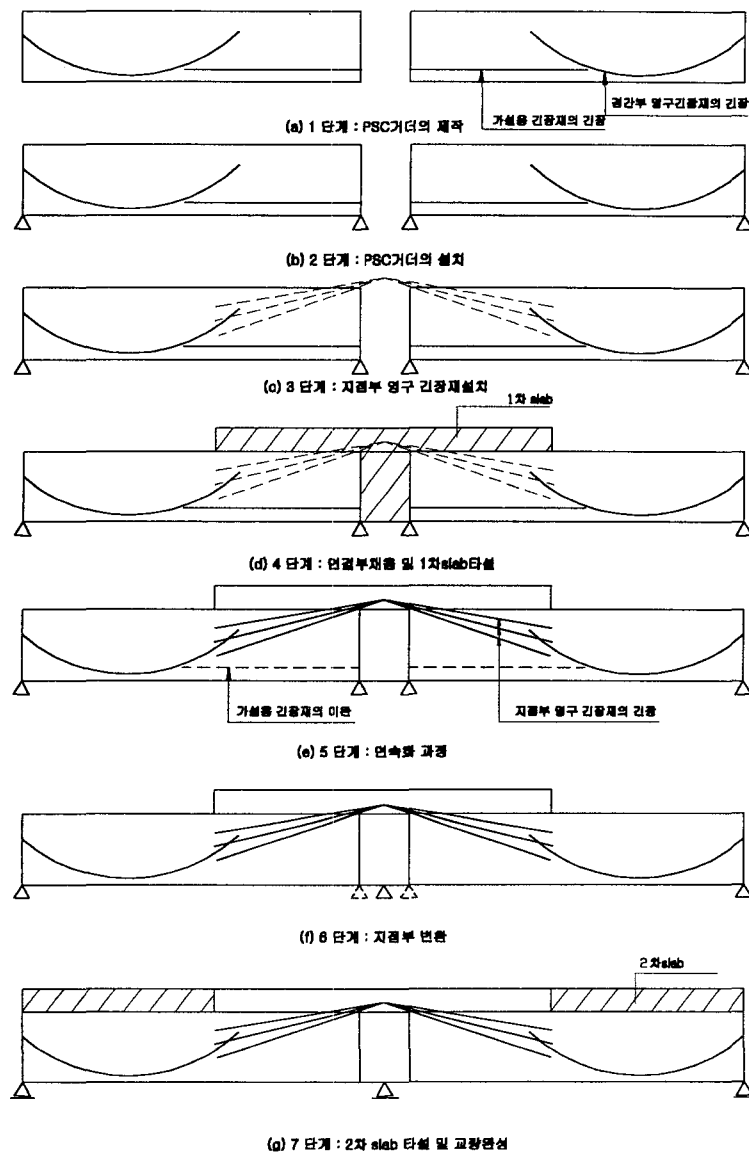
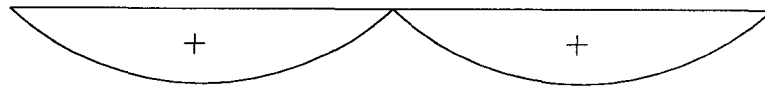


그림 1 단순 U형 프리캐스트 프리스트레스트 거더의 연속화과정

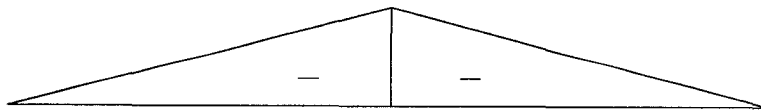
거더를 단순보로 제작, 설치한다는 점이 첫 번째 장점이고, 상부구조의 구조적 성능을 향상시키기 위하여 중간 교각 지점부 단면에 인접된 일정구간에서 부분 포스트텐션닝하여 연속화하는 점이 두 번째 장점이다. 특히, 2.2절에서 설명하는 방법에 따라 2차모멘트를 활용하므로써 기존의 연속화공법^[1~3]들과 달리 활하중 뿐만 아니라 부재 자중에 대한 거동도 연속화하였다. 즉, 본 공법의 가장 큰 특징은, 시공은 단순보의 공법과 차이가 없으나, 완성된 구조체의 응력분포는 프리캐스트 부재의 자중을 포함한 모든 사하중과 활하중에 대하여 연속구조체로서 저항할 수 있다는 점이다.

2.2 공법의 역학적 특징(2차모멘트의 이용)

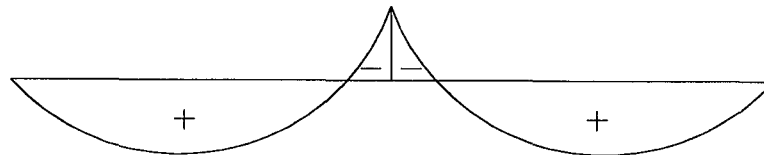
본 논문에서 제안하는 새로운 연속화 공법의 역학적 특성 및 기본 발상은 그림1.e의 5단계 연속화 과정에서 지점부 영구 긴장재의 긴장과 경간부 가설용 긴장재의 이완에 의해 발생하는 2차모멘트(부모멘트)에 의해 그림2의 개념도와 같이 프리캐스트 부재의 자중에 의한 단순보 상태의 정(+)_{모멘트를 감소하는데 있다.}



(a) 가설상태의 자중에 의한 휨모멘트



(b) 연결시 발생하는 2차모멘트



(c) 연결후 자중에 의한 휨모멘트의 변화

그림 2 연속화에 의한 휨모멘트의 변화

양쪽 경간에 프리캐스트 부재를 단순보 상태로 설치하면 그림2.a와 같이 부재의 자중에 의한 정(+)_{의 휨} 모멘트가 발생될 것이다. 다음 단계로 그림1.e의 연속화 과정을 수행하면 2차모멘트(부(-)_{의 휨} 모멘트)가 그림2.b와 같이 유발된다. 따라서, 연속화 과정에서 얻어지는 2차모멘트는 그림2.a의 단순보 상태에서의 휨모멘트를 그림2.c와 같이 변화시킨다. 그림2.c와 같은 휨모멘트의 분포는 본 공법이 단순보의 시공상 장점을 유지 하면서 완성된 구조체의 휨거동은 처음부터 연속구조체로서 시공한 것처럼 거동하게되는 것을 의미한다.

한편, 2차모멘트에 의해 부재의 경간부에서는 자중에 의한 정모멘트가 감소되는 이점이 있어 경제적인 단

면의 결정에 도움이 되나, 중간지점부에서는 2차모멘트에 의한 부모멘트가 추가적으로 발생한다. 만약 그림 1.d의 4단계에서 채움콘크리트를 타설하지 않거나 그림 1.e의 5단계에서 가설용 긴장재의 이완에 의한 2차모멘트만을 유발시킨다면 연결부에 구조적인 결함이 발생할 것이다. 그러나, 또 다른 2차모멘트의 유발을 위해 긴장된 지점부 영구긴장재에 의해서는 중간지점부의 단면에 정(+)의 1차모멘트와 축 압축력이 발생되어 현장타설에 의해 제작되는 중간지점부 세그먼트 단면의 구조적인 안전성이 확보되도록 하였다.

3. 분석대상의 교량

대상 교량은 경간장 40m로서 단면의 일반도 및 긴장배치도는 그림 3, 4와 같다. 예제 교량에 대한 시공 단계별 해석은 2장에서 제시된 시공과정을 기초로 그림 5과 같이 9단계로 나누어 수행하였다.

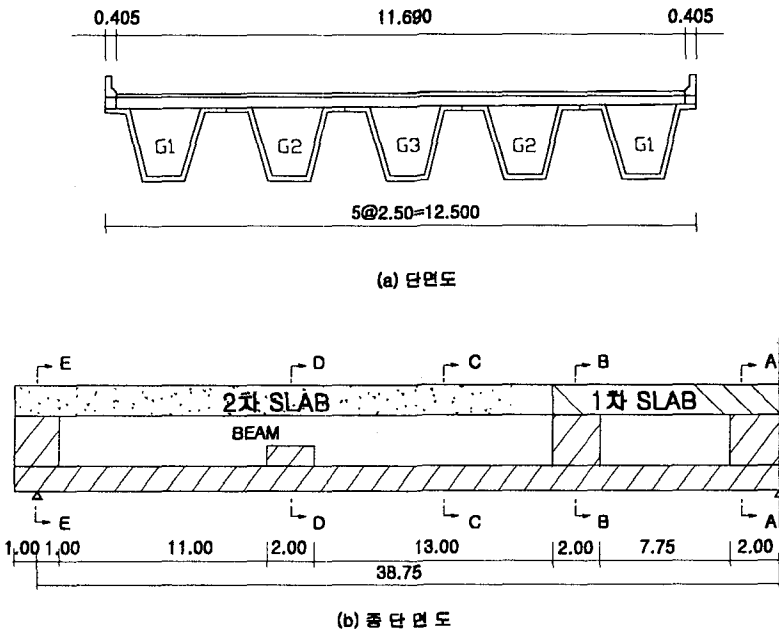


그림 3 예제 교량의 일반도

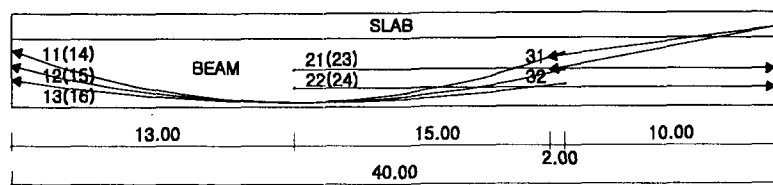
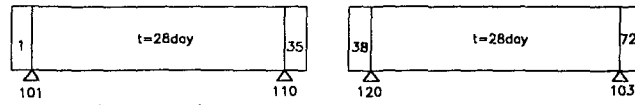
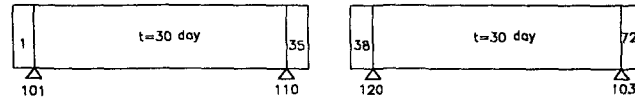


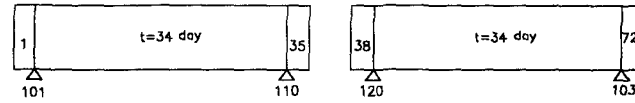
그림 4 긴장재 배치도



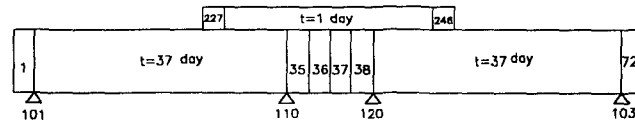
(a) 1단계해석 (U형 PSC거더의 제작 및 경간부 영구인장재-제작단계)



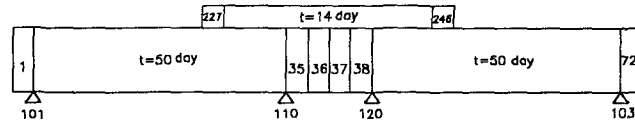
(b) 2단계해석 (가설용 긴장재-제작단계)



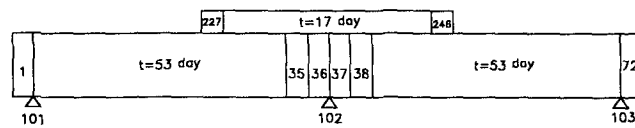
(c) 3단계해석 (PSC거더설치-거더자중)



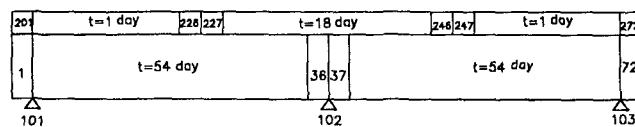
(d) 4단계해석(연결부 채움콘크리트 및 1차 슬래브 타설)



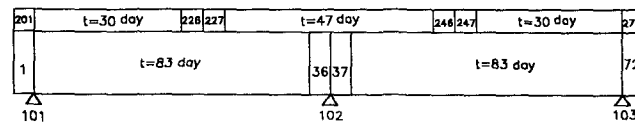
(e) 5단계해석(연속화과정 : 연결부인장재 긴장 및 가설용 긴장재의 이완)



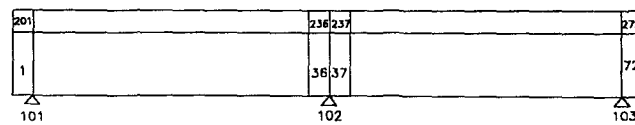
(f) 6단계해석(지점부 변환)



(g) 7단계해석(2차 슬래브 타설)



(h) 8단계해석(2차 사하통+포장)



(i) 9단계해석(t=10,000day)

그림 5 시공과정을 모사하기 위한 해석단계

구조해석시에 프리캐스트 부재의 자중은 1 단계에서부터 고려되어야 하나 각 단계별 영향을 검토하기 위하여 분리하여 해석 3 단계에서 적용시켰다. 시공단계별 구조 해석을 완료한 후에는 완성된 2경간 연속 교량에 대하여 DB-24 하중과 DL-24 하중을 적용하여 사용단계에서의 응력 검토를 위한 구조해석을 수행하였다. 이때, 온도 하중과 지점 침하 등의 영향도 동시에 고려되어 졌다. 온도 하중은 슬래브의 온도 변화량으로 $\pm 5^{\circ}\text{C}$, 지점 침하량은 중간지점에서 $\pm 1.0\text{cm}$ 를 고려하였다. 본 연구에서 모든 예제의 해석은 교량전용 해석 프로그램인 RM-SPACE FRAME⁽⁴⁾을 사용하여 수행하였다.

4. 해석 결과에 대한 분석

4.1 구조적 안전성 검토

그림 5에 표시된 가정 공사기간에 따라 시공단계별 해석을 수행하고 각 단계에서 단면의 응력을 도로교 시방서⁽⁵⁾ 규정에 따라 검토하였다. 그 결과 어느 단계에서도 허용응력을 초과하는 경우는 발생하지 않았다. 그림 6은 시공단계 완료후의 해석결과에 대한 응력분포를 나타내고 있다. 그림 7은 사용단계에서의 최대 정모멘트에 의한 응력분포를 나타내고 있으며, 각 시공단계별 응력을 사용하중에 대한 결과가 누적되어 나타내어진 것이다. 그림7에서 보는바와 같이 모든 단면이 허용 응력의 범위내에 있으며, 특히 대부분 단면은 사용 하중상태에서 압축응력(최대 91.5 kg/cm^2 허용응력 : 160 kg/cm^2) 상태에 있다. 시점부 슬래브에서 거더의 약간 안쪽에 설치된 지점의 영향으로 3.4 kg/cm^2 의 인장이 발생하나 무시할 수 있는 정도이다.

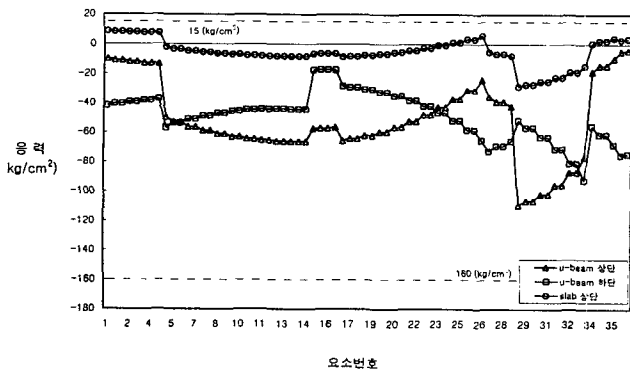


그림 6 시공단계 완료후의 종방향 응력분포

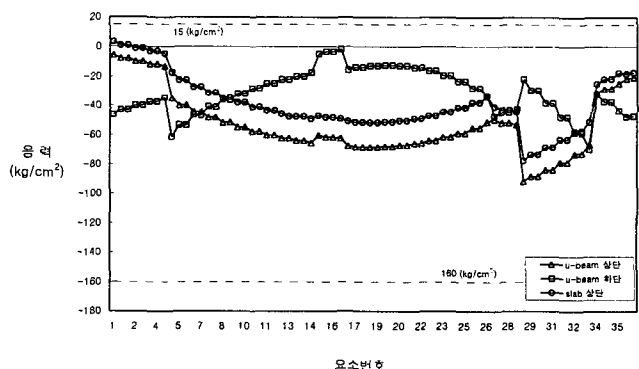


그림 7 사용단계의 종방향 응력분포(최대정모멘트)

4.2 연속화과정에 의한 부재력 변화

2장에서 설명하였듯이 본 공법의 특징은 일부 구간에 배치된 긴장재(그림 1의 가설용 긴장재와 지점부 영구긴장재)의 긴장작업과 이완작업을 통하여 발생되는 2차모멘트에 의해 단순보 상태에서의 부재 자중에 의한 휨모멘트 분포를 연속구조의 분포 상태로 변화시키는 데에 있다. 그림 8과 9는 4.1절의 해석과정에서 얻어진 연속화 단계인 해석 5단계에서의 휨모멘트와 압축력의 분포도이다. 이들 부재력의 분포도는 2경간이 좌, 우 대칭이므로 좌측 경간에 대하여만 나타냈다.

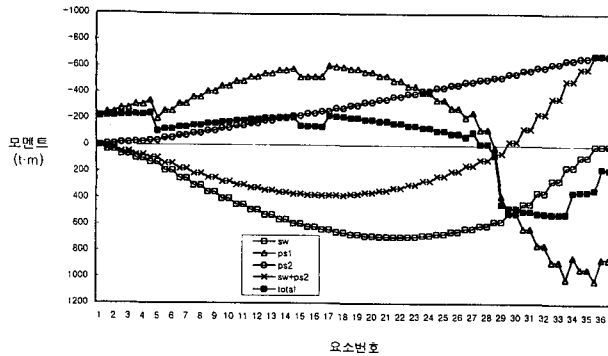


그림 8 해석 5단계(연속화단계)의 휨모멘트도

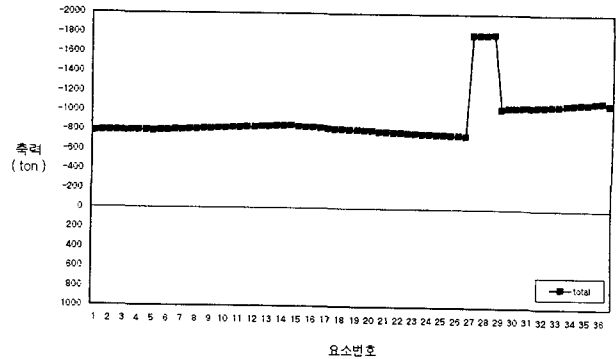


그림 9 해석 5단계(연속화단계)의 압축력도

그림 8에서 보는바와 같이 연속화 과정을 해석한 해석 5단계에서는 부재 자중에 의한 휨모멘트(sw)는 가설용 긴장재의 이완과 지점부 영구긴장재의 긴장에 의해 발생하는 2차모멘트(ps2)에 의해 처음부터 연속구조로 시공된 것과 같은 상태의 휨모멘트(sw+ps2) 분포로 변화되는 것을 알 수 있다.

한편, 본 공법에서는 프리캐스트 보를 사용한 단순보 시공이 수행되기 때문에 2경간의 연속구조를 위해서는 중간지점부의 채움 콘크리트의 현장타설이 불가피하다. 이에 따라 중간 지점부의 세그먼트는 프리캐스트 보와 합성된 연속보로 거동하기에는 구조적으로 취약하다. 따라서, 부재 자중과 2차모멘트의 합성에 의해 중간 지점부에 발생된 부(-)모멘트가 문제가 될 수 있다. 그러나, 이완되는 가설용 긴장재와 달리 양쪽 경간에서 중간 지점부의 세그먼트를 통과시켜 배치된 지점부 영구긴장재는 긴장에 의해 프리캐스트 보의 경간부의 자중에 의한 휨모멘트를 감소시키는 2차모멘트를 유발함과 동시에 중간 지점부에 발생된 부(-)모멘트를 감소시키는 정(+)모멘트인 1차모멘트를 유발시킨다. 그림 8에는 연속화 단계 이전에 설치되어 긴장된 경간부 영구긴장재와 연속화 단계에서 긴장되는 지점부 영구긴장재에 의한 1차 모멘트(ps1)도 나타나 있다. 여기서, 요소번호 27번(그림4, 5 참조) 이후의 구간은 일부 경간부 영구긴장재와 중복되는 구간(요소 29번까지)이 있으나 나머지 구간은 모두 지점부 영구긴장재에 의해 발생하는 정(+)모멘트이다. 이에 따라 부재에 분포되는 총 휨모멘트(total)는 그림8에서 보이는 것과 같이 된다. 그러나, 중간 지점부의 현장타설 세그먼트에 분포되는 정(+)의 휨모멘트는 비록, 2차모멘트에 의해 유발된 부(-)모멘트의 크기보다는 작을 지라도 이 단면에는 어느정도의 휨 인장응력을 유발된다. 이들 휨 인장응력은 지점부 영구 긴장재에 의해 그림 9에서와 같이 유발된 압축력에 의해 상쇄되어 현장타설되는 중간 지점부의 세그먼트 단면은 항상 압축응력 상태가 된다.

4.3 시공단계와 시공 소요시간의 변화에 따른 영향

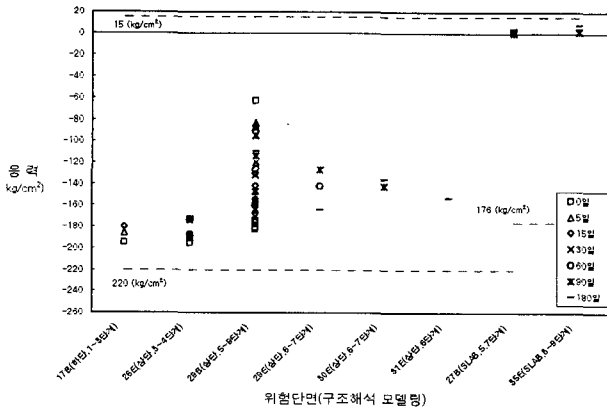


그림 10 위험단면의 발생응력 분포도

시공단계와 시공 소요시간의 변화 따른 부재력 및 응력변화를 분석하기 위하여 그림 5에서 표시된 가정된 기본 공기 대신에, 1단계에서 8 단계까지, 각 단계별 시간 차이를 0일(해석 8단계까지의 공정이 하루에 이루어 진다는 가정), 5일, 15일, 30일, 60일, 90일, 180 일까지 변화시켜 해석하였다. 그러나, 9단계의 경우는 어느 경우나 10000일이 경과되는 것으로 하였다.

그림 10은 위에서 가정한 모든 시공 시간간격에 따라 각 단계에서 가장 위험한 응력상태를 갖는 단면과 그때의 응력을 모두 나타내었다. 그림 10으로부

터, 경우에 따라서는 극단적인 시공 시간간격을 가정했음에도 불구하고 모든 응력분포가 허용응력의 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 제시한 새로운 연속화 공법을 이용하여 경간장 40m의 교량을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 중간 교각 지점부 단면에 인접된 일정구간에 배치된 가설용 긴장재의 이완과 지점부 영구긴장재의 긴장에 의해 유발되는 2차모멘트 및 1차모멘트, 압축력등은 기존의 연속화공법들과 달리 활하중 뿐만 아니라 단순보 상태에서 발생된 부재 자중에 대한 거동도 연속보 상태로 변화시킬 수 있었다. 따라서, 본 공법에 의한 교량의 연속화는 구조적인 성능을 더욱 개선할 수 있을 것으로 판단한다.
- 2) 시공시간의 급격한 변화에도 불구하고 각 시공단계 및 사용단계 모두에서 구조적인 안전성이 검증되었다.
- 3) 주형이 프리캐스트 보로 제작되어 설치되기 때문에, 각 시공단계별 시공시간의 변화는 단면의 응력변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
- 4) 시공단계에 따른 응력변화는 일부 단면에서 급격한 응력변화를 보이는 경우도 있으나, 시공과정이 진행될수록 모두 더욱 안전측으로 변화한다.

참고문헌

1. Ahmad M. Abdel-Karim, and Maher K. Tadros, State-of-The-Art Of Precast/Prestressed Concrete Spliced-Girder Bridges, PCI, U.S.A., 1992.
2. M.K. Tadros, J.A Ficenec, A. Einea and S. Holdsworth, "A New Technique to Create Continuity in Prestressed Concrete Members", PCI Journal, Vol.38, No.5, pp.30-37, 1993.
3. M.L. Ralls, L. Ybanez and J. J. Panak, "The New Texas U-Beam Bridges An Aesthetic and Economical Design Solution", PCI Journal, Vol.38, No.5, pp.20-29, 1993.
4. H. Pircher, RM-SPACEFRAME Rev 5.70, TDV, Austria, 1996.
5. 도로교 표준 시방서, 건설부, 1996.