

강합성형 교량의 합리적인 타설방법과 순서에 관한 연구

The Reasonable Concrete-Placing Methods and Sequences
of Composite Steel Bridge

조병완* 서석구**

Jo, Byung-Wan Seo, Sug-Gu

Abstract

Recently, unexpected cracks in the concrete deck slab of composite steel bridges have been widely reported at an early age of concrete placing due to the concrete placing sequence and methods. Accordingly, the analytical research was carried out to verify the negative moment at an internal supports due to the several concrete pouring sequence and to determine the reasonable concrete placing method on the deck slab of composite steel bridge. The results show that the conventional concrete-placing method, which pours concrete first on the positive moment regions and then negative regions, leads to the minimum moment at an internal supports. However, the conventional method produces two impractical construction joints on every spans and makes field engineer to pour concrete continuously. In conclusion, this concrete-placing method was verified to be reasonable only when the construction joint was placed at the $\frac{5}{8} l \sim \frac{6}{8} l$ location of the middle span.

Key words : Composite steel bridge, Internal support, Concrete placing method and sequence

1. 서 론

합성형 교량형식으로 많이 사용되고 있는 강합성형 교량은 강주형과 콘크리트 슬래브를 합성시켜 각 재료특성상 인장력은 강주형이, 압축력은 강주형과 콘크리트가 부담하는 형식의 교량이다. 강합성형 교량이 연속교인 경우, 내부지점 부근에

서 부(-)모멘트가 발생하며 이러한 부(-)모멘트는 상부콘크리트의 타설순서와 방법에 따라 콘크리트의 양생초기에 슬래브 상부에 과도한 인장응력의 발생으로 인하여 Fig 1에 보여진 바와 같이 콘크리트 슬래브의 균열발생에 따른 시공결함사례가 보고되고 있다¹⁾.

강합성 연속교량에 있어서 슬래브는 연속타설

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

● 본 논문에 대한 토의를 1999년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

하여 시공이음을 두지 않는 것이 가장 바람직하나 콘크리트의 1일 타설능력을 고려하여 시공이음을 설치하는 경우가 많으며, 시공이음면의 위치는 구조물의 강도에 미치는 영향이 최소가 되도록 정하고 이음면의 방향은 압축력에 직각방향으로 하는 것이 일반적이다. 콘크리트의 타설방법에 따른 시공이음은 콘크리트 표준시방서에서 가급적 전단력이 작은 위치에 두며, 부득이 전단력이 큰 위치에 둘 경우 이음면에 요철홈을 두거나 철근으로 정착길이를 확보하도록 규정²⁾하고 있으나 이에 대한 구체적인 연구나 시공사례가 없는 관계로 현장의 상황에 따라 각기 다른 방법으로 시공하고 있는 실정으로 이에 대한 지속적인 연구와 폭넓은 사례수집이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 타설방법에 대하여 최적의 타설순서를 결정하고, 이론적 타설방법과 현재 현장에서 시공하고 있는 다른 타설방법들을 비교·검토함으로써 현장적용성과 동시에 효과적인 시공품질을 확보할 수 있는 타설방법을 제안하고자 한다.

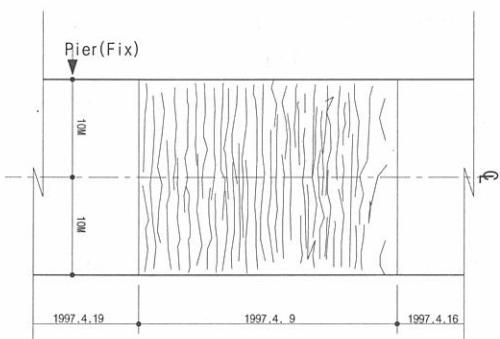


Fig. 1 양생초기에 발생한 콘크리트 슬래브의 균열

2. 타설방법

콘크리트는 연속해서 타설하는 것이 바람직하나 설계 또는 시공상 부득이 이음면을 설치하는 경우도 있다. 합성형 교량의 경우 구조물 전체를 한번에 시공할 수 없고 여러번 나누어서 시공하는 경우와 다경간 연속 거더와 단면차수가 큰 거더를 동시에 시공할 때 콘크리트의 타설능력 등이

제한되어 시공이음을 설치하는 경우가 많다. 이러한 시공이음에 대한 주의사항은 다음과 같다.

1) 신·구콘크리트 이음면 부분의 콘크리트는 배합, 다짐 등에 주의하여 재료분리나 레이턴스가 일어나지 않도록 한다.³⁾

2) 이음면이 되는 콘크리트면은 느슨한 골재입자가 없도록 마감하고 경화를 시작하고 나서 가능한 한 빨리 와이어브러시로 표면을 고르게 하며 충분히 습윤양생한다.

3) 신콘크리트를 타설하기 전에 고압분무기에 의하여 이음면 표면의 이물질을 완전히 제거하거나 chipping 등에 의해 표면처리를 반드시 한 후 시멘트풀, 모르터 또는 에폭시 수지 등을 바른 후, 신콘크리트를 타설하도록 한다.

4) 신·구콘크리트는 동일한 모르터의 배합 또는 그보다 증가한 부배합 모르터를 타설하는 것이 좋다.

5) 연직시공이음시 시공이음면의 거푸집을 견고히 지지하고 신콘크리트의 타설시 이음면의 충분한 다짐으로 신·구콘크리트의 밀착을 유도한다.

6) 이음면에 거푸집이 필요하며 거푸집의 제거는 Table 1과 같이 가급적 빠른 것이 좋다. 거푸집의 제거시기가 늦으면 강재등이 손상되며, 이음면을 거칠게 하는 것이 곤란해진다.

Table 1. 이음면 거푸집 제거시기

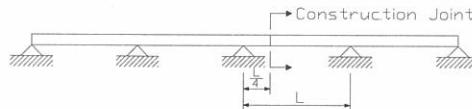
콘크리트 타설 후 시간	여름	겨울
	4~6시간	10~15시간

7) 강합성 콘크리트교량의 슬래브 타설시에 적용하고 있는 일반적인 슬래브, PC Box교량의 연직 시공이음 위치는 Fig. 2⁴⁾와 같다.

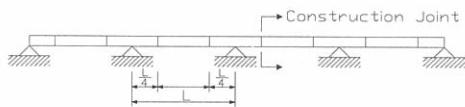
2.1 연속 타설방법

다경간 교량에서는 구조물의 크기와 현장여건상 콘크리트 1일 타설능력을 고려하여 일반적으로 전구간을 연속타설 하기보다는 Deck Finisher를 사용하여 중앙 경간 부근에서 시공이음을 두고 첫 경간부터 순서대로 콘크리트를 타설하는 것이 일반적이며, 이러한 연속타설방법은 시공성이 우수하고 단차를 줄임으로서 평탄성을 확보할

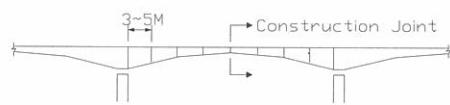
수 있으며, 시공이음에 의한 구조적 취약부를 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 부(-)모멘트부의 슬래브에서 균열이 발생할 가능성이 있다.



① Slab, PC Box(F.S.M.교량)



② PC Box(ILM.교량)



③ PC Box(F.C.M.교량)

Fig. 2 연직 시공이음 위치

연속타설시 균열은 주로 부(-)모멘트부(보강철근의 정착부, 즉 휨모멘트의 변곡점 부위 철근정착부)에서 발생하는 반면 구조적으로 부(-)모멘트가 가장 크게 발생하는 지점부에서는 균열이 없는 것이 일반적이다. 이는 종방향 철근량의 급격한 차이로 인해 구조적인 연속성이 부족하여 균열이 발생하는 것으로 보고되고 있다¹⁾. 기존에 타설된 콘크리트의 균열은 콘크리트 2차 타설의 완료와 함께 최대 부(-)모멘트가 발생하는 시점과 거의 일치하는 양상을 보이고 있는데 이는 콘크리트의 강도가 발현되기 전에 과도한 인장응력을 받기 때문에, 실제로 기준 연구보고서⁵⁾에 따르면 구조적인 연속성을 확보하기 위해서 정착부의 종방향 철근의 1/3을 분산시키는 경우, 횡방향 균열을 효과적으로 제어할 수 있다.

2.2 경간별 타설방법

경간별 타설방법은 현재 시공시에 널리 사용되는 타설방법으로, Fig 3과 같이 6경간 연속교에

대해서 고정단 중앙부를 먼저 타설하고 양쪽으로 순차적으로 타설하는 방법이다. 경간별 타설방법을 선택하는 경우는 Deck Finisher를 사용하지 않고 타설하는 경우에 많이 사용한다.

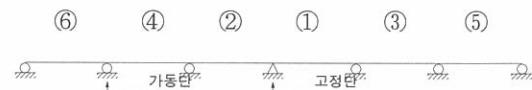


Fig. 3 경간별 타설방법의 일반적 타설순서

2.3 이론적 타설방법

이론적 타설방법이란 강합성형 교량에서 내부지점부의 부(-)모멘트에 의한 균열발생을 억제하기 위해서 제시된 방법으로써, 日本 “鋼道路橋施工便覽”에서는 부(-)모멘트에 의한 슬래브 상부의 인장응력을 감소시키기 위해 Fig 4와 같은 타설순서를 규정하고 있다. 그 이유는 Fig 5와 같이 ①구간의 모멘트에 관한 영향선도로부터 알 수 있다. Fig 5를 살펴보면, ②구간을 타설할 때 기존에 타설된 ①구간에는 부(-)모멘트가 발생한다. 이러한 이론적 타설방법은 부(-)모멘트에 의한 균열을 억제하는 방식으로는 적합한 방법이나 시공이음부가 많으므로 시공이 불편하고 시공이음부가 구조적 취약부로 될 수 있으며, 타설시기의 차이로 인한 단차에 의해서 평탄성을 확보하기가 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 연속타설, 경간별 타설 및 이론적 타설방법에 따른 유한요소해석을 수행하여 강합성형 교량의 콘크리트 슬래브의 연속타설시 적정한 시공이음 위치를 선정할 수 있는 이론적 근거를 제시하고 각 타설방법의 적절성을 비교·검토하였다.



Fig. 4 3경간 연속교량의 타설순서

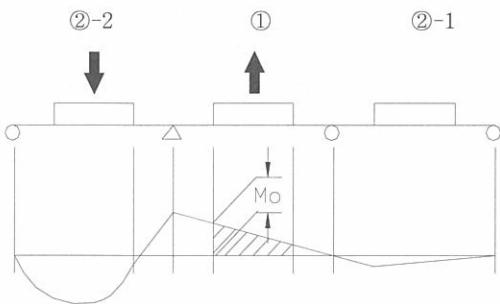


Fig. 5 콘크리트 타설에 따른 모멘트선도

3. 유한 요소 해석 및 결과 고찰

본 연구에서는 각 타설방법과 타설순서에 따른 부재력의 변화를 검토하기 위해서 내·외측지간비가 1:1.0, 1:1.2, 1:1.25 이고, 경간수가 4, 5, 6, 7 인 연속교량에 대하여 분석하였으나 해석결과가 유사하여 단면이 Fig 6과 같은 지간 50m인 6경간 강합성형 교량을 선정하였다.

Fig 1과 같이 양생초기에 콘크리트 슬래브 상판에서 전체적으로 발생하는 횡방향 균열은 박스

Table 2. 해석 단면의 특성과 작용하중

해석 단면의 특성	$A(m^2) = 3.2 \times 0.16 \times 2 + 3.0 \times 0.01 \times 2 = 0.1624$
	$I(m^4) = 1/12 \times 0.01 \times 3.0^3 \times 2 + 3.2 \times 0.016 \times 1.5^2 \times 2 = 0.2754$
	$E(ton/m^2) = 2.1 \times 10^7$
DECK 하중	$(6.0 \times 0.25 + (3.5+3.2) \times 1/2 \times 0.05) \times 2.5 = 8.0 \text{ton/m}$

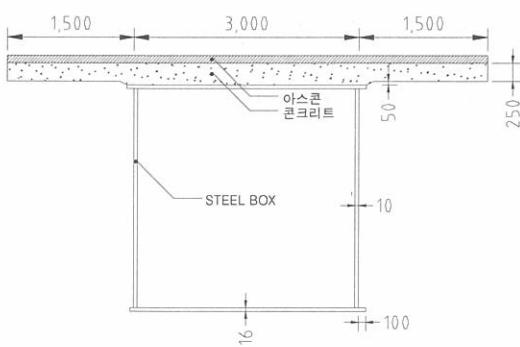


Fig. 6 강합성교 가정 해석단면(mm)

형교에서 고려해야 하는 warping이나 전단내력의 부족보다는 종방향 휨모멘트에 의한 것으로 생각될 수 있고, 교량에서의 warping은 횡방향으로의 비대칭적인 하중에 의해서 주로 발생하는 것이며 콘크리트 타설에 의한 Deck 하중을 횡방향으로 비대칭적으로 고려한다는 것은 다소 무리가 있으므로 해석의 편의를 위해서 평면해석을 실시하였다. 해석중 각 Load Case 별로 작용시킨 Deck 하중은 기존의 타설된 구간의 Deck 하중을 누적하지 않고 타설당시의 하중만을 작용시켰다. 그 이유는 직전에 타설된 구간의 Deck 하중 보다 앞서 타설된 구간의 Deck에 변형을 일으키며 소성상태에서 경화함에 따라 강형과 일체 거동하게 되어 강성 증가만이 일어나고 직전에 타설된 구간의 Deck 변형은 현재 타설하는 콘크리트의 사하중에 의해서만 발생하기 때문이다. 그러므로 실제 해석을 통하여 구해지는 값은 (-)부모멘트의 변화량이 된다. 또한 지간비와 경간수에 따라서 모멘트선도의 양상이 조금씩 변화하므로 정확한 전구간의 휨모멘트 값을 구한다는 것은 무의미하다고 판단되었다. 따라서 모델링은 보 요소를 사용하여 총 49개의 절점과 48개의 요소로 단순화하였으며 범용프로그램인 FEA사의 LUSAS를 사용하였다.

3.1 연속타설 방법

교량 첫경간부터 순서대로 콘크리트를 타설하는 연속타설방법은 콘크리트의 1일 타설능력을 고려하여 일반적으로 중앙경간 부근의 $\frac{1}{4}$ 부근에서 시공이음을 두고 2차 콘크리트를 타설하게 된다. 이때 시공이음의 위치에 따라 2차 콘크리트 타설물량이 시공이음 왼쪽의 콘크리트에 상향처럼 함께 예상치 못한 부(-)모멘트가 발생하게 되므로, 부(-)모멘트량을 최소로 하는 합리적인 시공이음 위치를 결정하기 위하여 Fig 7과 같이 중앙 경간을 8 등분하고, 시공이음을 각각 지점과 $\frac{1}{8}l, \frac{2}{8}l, \frac{3}{8}l, \frac{4}{8}l, \frac{5}{8}l, \frac{6}{8}l, \frac{7}{8}l$ 인 위치에

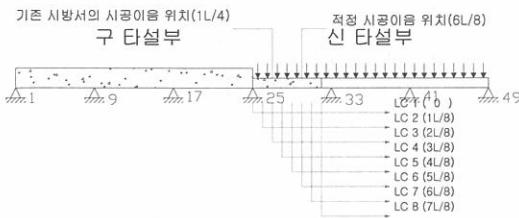


Fig. 7 시공이음 위치에 따른 하중조합

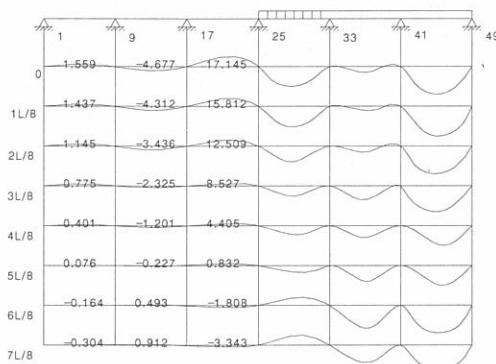


Fig. 8 시공이음위치에 따른 처짐도(mm)

Table 3. 각 하중조건에 따른 처짐량

하중조건 (Load Case)	첫 번째 경간(mm)	두 번째 경간(mm)	세 번째 경간(mm)
LC 1	1.559	-4.677	17.145
LC 2	1.437	-4.312	15.812
LC 3	1.145	-3.436	12.599
LC 4	0.775	-2.325	8.527
LC 5	0.401	-1.201	4.405
LC 6	0.076	-0.227	0.832
LC 7	-0.164	0.493	-1.808
LC 8	-0.304	0.912	-3.343

두어, Load Case 1부터 8까지 구조해석을 실시하여 처짐도와 모멘트선도를 비교 분석하였다.

시공이음 위치에 따른 하중조합에서, 시공이음이 네 번째 경간 지점위에 있는 Load Case 1의 경우 Fig 8, Table 3과 같이 신 콘크리트를 타설함에 따라 3번째 경간이 과도하게 상향으로 처지면서 내부지점(절점 25)에 큰 부(-)모멘트를 유발하게 되나, 시공이음위치가 오른쪽으로 이동함에 따라 구 타설부의 각 경간 처짐곡선이 상향 또는 하향으로 변하게 된다. 따라서, 연속타설시 지점

부위에서 발생하는 부(-)모멘트를 최소로 하는 시공이음의 위치는 Fig 9와 Table 4에 의해 내·외측 지간비가 동일할 때 지점부의 부(-)모멘트가 $-635 t \cdot m (\frac{2}{8} l)$ 에서 $-24 t \cdot m (\frac{6}{8} l)$ 로 상당히 감소되어 기존 시방서의 $\frac{1}{4} l$ 위치보다는 지점에서 부(-)모멘트를 최소로 하는 $\frac{5}{8} l \sim \frac{6}{8} l$ 사이의 위치가 적절한 것으로 나타났다.

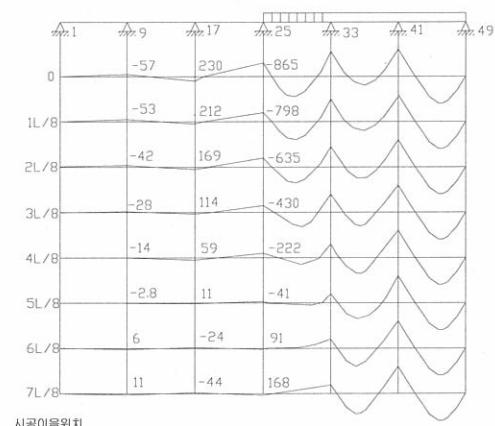


Fig. 9 시공이음위치 따른 모멘트선도($t \cdot m$)

Table 4. 각 하중조건에 따른 부(-) 모멘트량

하중조건 (Load Case)	9번 절점 ($t \cdot m$)	17번 절점 ($t \cdot m$)	25번 절점 ($t \cdot m$)
LC 1	-57	230	-865
LC 2	-53	212	-798
LC 3	-42	169	-635
LC 4	-28	114	-430
LC 5	-14	59	-222
LC 6	-2.8	11	-41
LC 7	6	-24	91
LC 8	11	-44	168

3.2 경간별 타설방법

경간중앙에 시공 이음을 두지 않고, 한 경간씩 타설하는 경간별 타설방법의 최적 타설순서를 결정하기 위해서 영향선을 이용하여 추정하였다. 기타설된 경간에 최소 부(-)모멘트를 일으키는 경간은 기타설된 경간에서 한 경간을 건너띄어 타설

하는 방법이므로 교량 중앙 고정단지점부의 경간을 제일 먼저 타설하고, 양쪽으로 한 경간씩 건너뛰어 타설하는 방법이 가장 적절하였다. 따라서 Fig 10과 같은 시공순서를 취하는 경우가 가장 바람직한 경간별 타설방법으로 채택되었다.

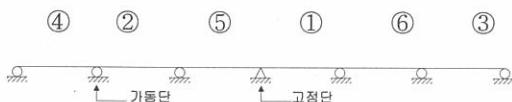


Fig. 10 최적 경간별 타설방법의 타설순서

경간별 타설방법에서의 최대 부(-)모멘트를 추정하기 위해서 절점 번호는 연속타설방법과 동일하게 하고 하중조건만을 변화시킴으로써 유한요소해석을 수행하였다. 하중조건은 각 경간에 타설되는 콘크리트의 하중을 순서대로 Load Case로 정하였다. 그 결과 콘크리트의 타설순서에 따라 Fig 11과 같은 변화양상을 보이는 모멘트선도를 작성할 수 있었다. 최적 경간별 타설방법에서 부(-)모멘트량을 검토할 대상 경간은 바로 이전에 콘크리트가 타설된 경간으로써 강도발현이 충분하지 않은 경간이 된다. 4번째 경간의 타설을 나타내는 Load Case 4에서 기타설된 콘크리트가 없는 관계로 부(-)모멘트량을 검토할 대상이 없었으며, 2번째 경간을 타설하는 Load Case 2에서 기타설된 경간인 33번 절점에 $-77 t \cdot m$ 의 부(-)모멘트를 발생시켰다. 그러므로 양생초기에 미치는 부(-)모멘트의 크기는 Fig 3과 같은 일반적인 경간

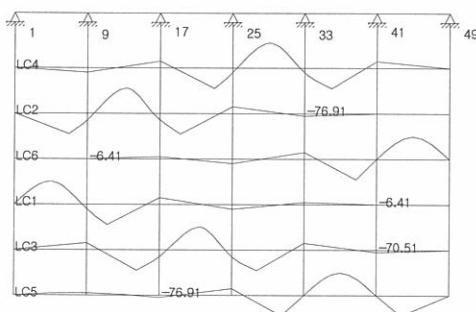


Fig. 11 최적 경간별 타설방법의 모멘트선도

별 타설방법에서는 최대 $1057 t \cdot m$ 의 부(-)모멘트가 발생하였으나 Fig 10과 같은 타설순서를 취했을 때는 $77 t \cdot m$ 로 약 14배 감소함을 알 수 있었다.

3.3 이론적 타설방법

정모멘트 구간을 우선 타설하고 부(-)모멘트 구간을 나중에 타설함에 있어서 정모멘트 구간의 최적의 타설순서를 결정하기 위해서 경간별 타설방법과 동일하게 영향선의 개념을 사용하여 부(-)모멘트를 최소화하는 타설순서를 추정하였다. 또한, Fig 12과 같이 최적 타설순서를 결정하였으며 각 시공이음위치는 내부지점에서 $\frac{l}{4}$ 인 위치이고 타설도중 예상되는 최대 부(-)모멘트는 6경간을 11개의 구간으로 나누었을 때, 마지막 구간인 11번째 구간을 타설할 때, 1번째 구간(7번째 절점)에서 $3.9 t \cdot m$ 로 나타났다. 이론적 타설방법에서 타설이 진행됨에 따른 최대 부(-)모멘트량을 추정하기 위해서 경간별 타설방법과 동일한 절점번호를 모델링하였고 하중조건만을 변화시킴으로써 유한요소해석을 수행하였다. 하중조건은 전체 구간을 11개의 구간으로 나누고 순서대로 Load Case를 정하였다. 그 결과 콘크리트의 타설순서에 따라 Fig 13과 같은 변화양상을 보이는 모멘트선도를 작성할 수 있었다. 이론적 타설방법에서 부(-)모멘트량을 검토할 대상 경간은 경간별 타설방법과 마찬가지로 콘크리트가 기타설된 경간으로써 강도발현이 충분하지 않은 경간이 된다. 5번째 구간의 타설을 나타내는 Load Case 5에서 기타설된 콘크리트가 없는 관계로 부(-)모멘트량을 검토할 대상이 없었으며, 11번째 구간을 타설하는 Load Case 11에서 기존에 타설된 구간인 7번 절점에서 $-3.9 t \cdot m$ 의 부(-)모멘트를 발생시켰다.

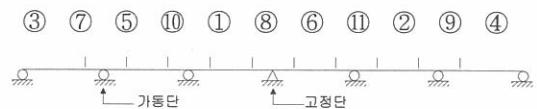


Fig. 12 이론적 타설방법의 타설순서

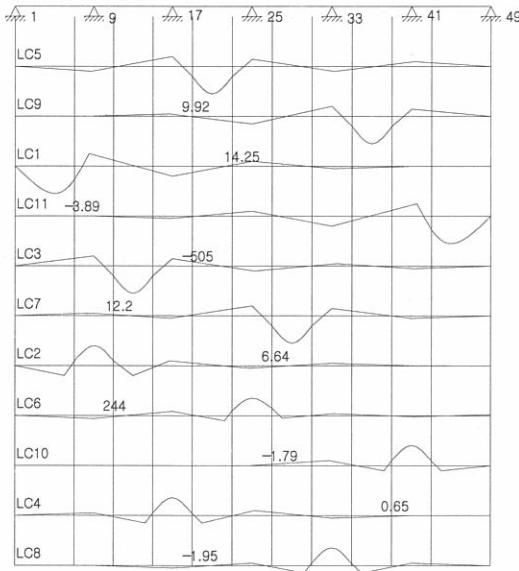


Fig. 13 이론적 타설방법의 모멘트선도

또한 3번째 구간을 타설하는 Load Case 3에서 는 기존에 타설된 구간인 17번 절점에 $-505 t \cdot m$ 가량의 큰 부(-)모멘트를 발생시켰으나, 그 지점은 첫 번째로 타설된 구간이므로 이미 콘크리트의 재령일이 상당한 시간을 지났기 때문에 검토 대상에서 제외되었다. 그리고 이론적 타설방법의 모멘트선도를 분석해 본 결과, 부(-)모멘트 구간의 타설은 인접 구콘크리트에 미치는 영향은 미소함을 알 수 있었다. 이상의 결과들로부터 이론

적 타설방법은 다른 타설방법에 비해 지점부의 부(-)모멘트가 현저히 감소함을 알 수 있었다.

3.3 결과분석

각 타설방법에 따른 유한요소해석 결과 Fig 14 와 같이 콘크리트 상부슬래브에 발생하는 인장응력의 크기는 이론적 타설방법, 연속타설방법, 경간별 타설방법 순으로 작게 나타났으며, 최적의 이론적 타설방법은 타설도중 예상되는 최대 부(-)모멘트가 다른 타설방법에 비해서 현저히 낮았으나, 시공성을 고려하는 경우 1일 콘크리트 타설능력에 따라 중앙경간의 $\frac{6}{8} l$ 위치에서 시공이음을 두는 연속타설방법이 합리적인 방법으로 판단된다.

4. 결 론

강합성형 콘크리트 연속교량에서 콘크리트 타설순서와 방법에 따른 내부지점에서의 부(-)모멘트를 최소화하기 위하여, 유한요소프로그램을 이용하여 단면력을 비교·검토한 결과 콘크리트 상부슬래브에 발생하는 인장응력의 크기는 이론적 타설방법, 연속타설방법, 경간별 타설방법순으로 작게 나타났으며, 연속타설시 적정한 시공이음의 위치는 기존의 중앙경간 $\frac{1}{4} l$ 위치보다는 $\frac{6}{8} l$ 위

구콘크리트의 최대 부(-)모멘트 ($t \cdot m$)

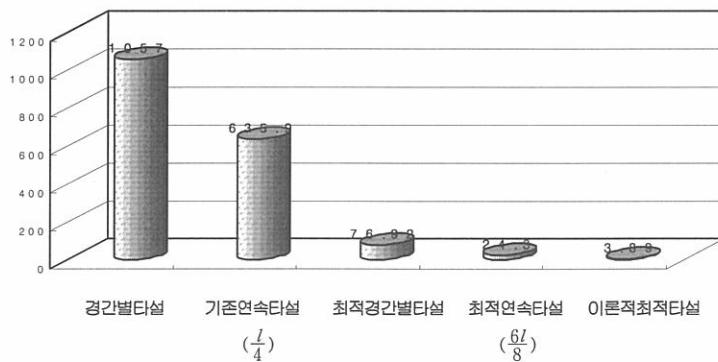


Fig. 14 타설방법에 따른 최대 부(-)모멘트

치가 구조적으로 효과적인 것으로 입증되었다. 또한 경간별 타설방법은 고정단이 있는 중앙경간을 1차로 타설하고 양쪽으로 한 경간씩 건너뛰어 콘크리트를 타설하는 방법이 효과적인 것으로 나타났으며, 이론적 타설방법은 다른 타설방법에 비해 현저히 작은 모멘트를 발생시켜 기타설 콘크리트 슬래브 상부에 인장응력이 거의 발생하지 않았으나, 시공성을 고려하는 경우, 1일 콘크리트 타설 능력에 따라 중앙경간의 $\frac{6}{8} l$ 위치에서 시공이음을 두는 연속타설방법이 합리적인 것으로 나타났다. 따라서 실제 강합성 교량현장에서는 내, 외측 지간비와 경간수, 시공성, 평탄성, 경제성 등을 고려하여 콘크리트 타설순서와 방법에 대한 좀더 심도 깊은 배려가 필요한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 이 상달 외, “연속타설시 합성형교량의 횡방향균열에 대한 연구,” 대한토목학회 가을학술발표대회, 1996. 11, pp.173~176.
2. 도로교 표준시방서, 건설교통부, 1996. pp. 875~876.
3. 콘크리트 표준시방서, 건설교통부, 1996. pp. 98~103.
4. 콘크리트 교량 가설 특수공법 설계, 시공, 유지관리 지침, 건설교통부, 1994. pp.347~351.
5. 조 중진, “강합성 연속형교 바닥판의 시공이음 개선 방안에 관한 연구,” 한양대학교 산업대학원 논문집, 1998. 5.
6. 鋼道路橋施工便覽, 日本道路協會, 1985. 2. pp.387~392.

(접수일자 : 1999. 4. 7)