

강합성 교량의 이동식 강재동바리

A Movable Steel Support System for Steel Box Girder Bridges



김 영 준*

1. 들어가는 말

현장에서 주로 타설되는 콘크리트 구조물에는 주재료인 콘크리트 외에 굳지않은 콘크리트의 형태를 유지시키는 기푸집, 작업자의 안전과 작업공간을 확보해 주는 비계가 있다. 또한 기푸집의 이동이나 침하를 방지하기 위하여 설치되는 동바리 등의 부재료가 많이 사용되며 이들이 원가 및 공정에 미치는 영향은 매우 크다. 이러한 이유로 공기 단축을 위한 조기 탈형 내지 부적절한 동바리 때문에 발생하는 콘크리트 구조물의 붕괴사고, 혹은 허술한 비계로 인한 작업자의 추락사고등으로 인하여 우리나라의 건설현장은 지난 세기동안 얼룩져 왔다고 해도 과언이 아니다.

동바리는 다른 재료에 비하여 가공성이 뛰어나고, 재료비가 저렴하며, 취급이 용이한 목재를 종래에는 많이 사용해 왔다. 그러나 목재동바리는 설치 및 해체시 과도한 인력 투입으로 인한 노무비 증가와 공기지연 및 안전사고의 위험이 높고, 자재의 재사용 또는 전용성이 매우 낮다. 특히 교량

상부의 콘크리트 슬랩을 시공할 때에는 고공에서의 작업으로 말미암아 무엇보다도 작업자의 안전을 고려해야만 하며, 작업에 지장이 없도록 형하공간을 충분히 확보해야 하는등의 많은 단점이 있다.

이에 따라 당사의 도시고속도로 정릉천변 현상에서는 작업의 신속성, 작업자의 안전성, 구조물의 정밀성, 원가절감 등을 확보하기 위하여 강재를 이용한 강합성교단부 슬랩용 비계감용 이동식 강재동바리를 직접 설계, 제작하였다. 이에 만족스러운 콘크리트 구조물을 시공할 수 있었기에 지면을 통하여 소개하고자 한다.

2. 공법의 개요

일반적으로 강합성교량의 바닥판 콘크리트 슬랩 단부는 상부 플랜지 밖으로 튀어나온 캔틸레버 형태로 기존 가설방법인 목재 동바리 방식은 설치기간이 길고 해체, 이동이 어려워 공기가 오래걸린다. 또한 대부분의 작업이 인력에 의존함으로써, 노무비 지출이 과다하고 시공 효율이 떨어지며, 자재의 손실이 많을 뿐 아니라 고공작업으로 인하여

* 정회원, 산업안전협회 전문위원, 공박

항상 위험이 따르고 있는 현실이다. <그림 1>

본 공법은 종래의 결점과 폐단을 해소하고자 강재 동바리를 조립식으로 구성하되, 설치, 해체, 이동이 신속, 용이하여 공기 단축을 최대한 이룰 수 있다. 이러한 장점외에 작업비계로써의 작업발판, 난간 등 별도의 안전시설물 설치작업을 하지 않더라도 보다 안전하게 작업할 수 있는 일체화된 이동식 강재동바리이다.

우선 재료적인 측면에서 목재에서 강성이 큰 강재로 바뀌 트러스 형태로 조립함으로써 가설구조물의 자체 변형을 방지하며, 작업의 精度을 높이고, 전용횟수를 늘릴 수 있게 했다. 또한 지상에서 미리 조립하여 장비를 사용하여 설치함으로써,

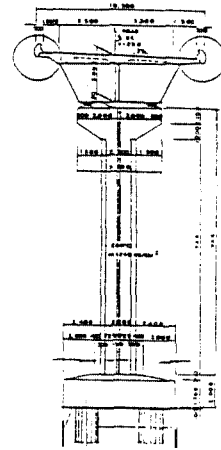
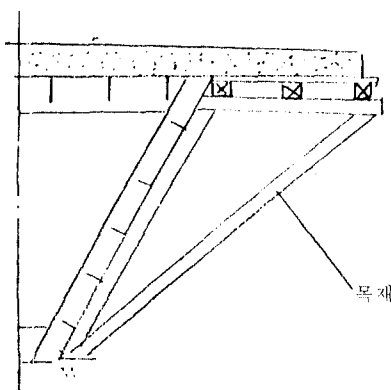
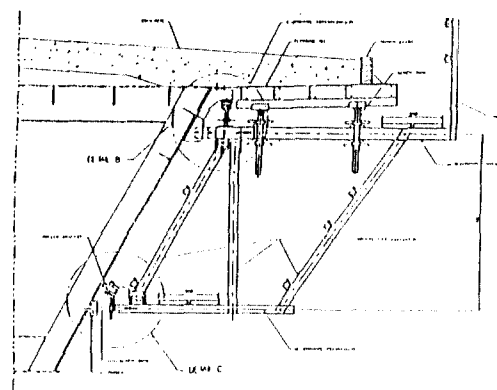


그림 1 강합성교의 단면도

표 1 목재동바리와 이동식 동바리의 비교

구분	목재 동바리	이동식 동바리
약도		
장점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 가공성이 우수하다. 2. 초기자재 투입비용이 적다 3. 취급이 용이하다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전용성이 높다(약100회이상) 2. 부재강성이 커서 정밀도 높은 단면 형성 가능하여 구조물의 품질을 높일 수 있다 3. 설치 해체가 용이하여 공기단축이 가능하다. 4. 비계작업이 필요없다. 5. 작업발판, 난간등의 안전시설을 별도로 설치할 필요가 없이 충분한 안전성을 확보할 수있다. 6. 인력 투입이 적다. 7. 유사 공사 및 타현장에 전용 가능
단점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 부재강성이 작아 부등침하의 위험이 있어 정도 높은 제품을 만들기 어렵다. 2. 전용성이 낮다(4-6회) 3. 자재 파손 및 손실이 크다. 4. 인력투입이 많다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 초기 자재투입비용이 많이 든다.
비고	<ol style="list-style-type: none"> 5. 고공작업으로 비계작업이 진행되어야 하고 안전사고의 위험성이 상존하고 있다. 6. 공사기간이 길어진다. 	

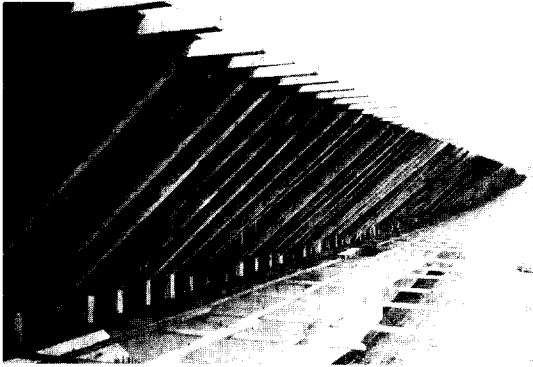


사진 1 재래식 목재 동바리

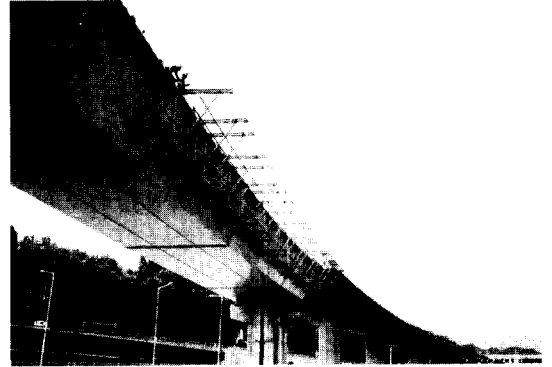
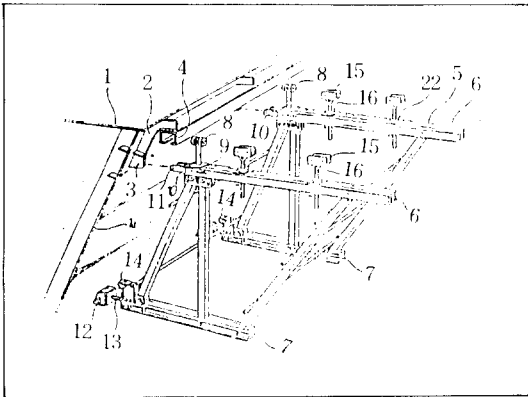
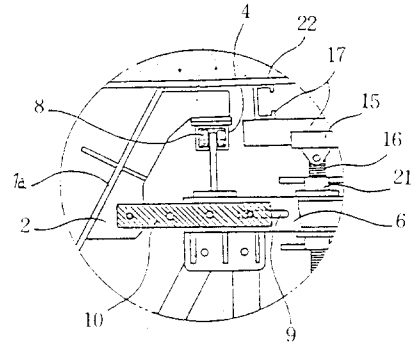


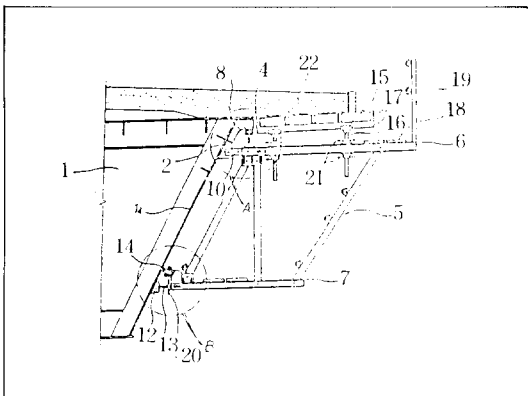
사진 2 이동식 강재 동바리



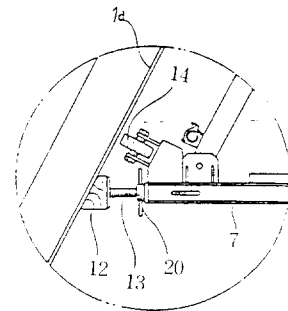
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2 이동식 강재동바리의 상세도

고공작업 횡수를 줄여 안전사고를 예방할 수 있으며, 조립된 강재 동바리의 지지점에는 이동이 용이하게 Rail 및 Roller를 설치하였고, 단면의 변화에도 적용이 가능하도록 거푸집과 접하는 채널바에는 2개의 잭을 설치하여 한지로 처리하여 상대적인 높이 차로써 어떠한 변단면에서도 적용이 가능하도록 하였다. 특히, 곡선교에서는 더욱 유용하게 설계되어 있다. 이동식 강재동바리와 재래식 목재동바리의 장, 단점은 (표 1)과 같다.

3. 시공방법

개략적인 시공순서는 먼저 강교상부 플랜지 끝단에 레일과 트러스를 매달기 위한 볼트구멍을 뚫는다. 다음에 레일을 차례로 매단후 지상조립된 트러스를 레일에 끼운후 트러스 상단에 부착된 슬랩 거푸집을 screw jack으로 조정하여 정위치에 setting 시키면 모든 조립이 끝난다. 이동은 screw jack을 내린후 winch를 이용하여, 레일을 따라 다음 경간으로 이동시킨다. 상세 시공 순서는 다음과 같다.

3.1 조립

(1) 레일설치

상판(1) 양단에 체결공(3)이 형성된 브라켓(2)과 레일(4)을 설치한다.

(2) 강재 동바리 몸체(5) 조립

- ① 상프레임(6)의 일단에 레일에 끼워지는 롤러(8)와 장공(9)에 편설되어 출입되는 고정바(10) 설치
- ② 삼지편(15)이 편설된 한쌍의 잭(16) 설치, 삼지편(15)에는 채널바(17) 체결
- ③ 하프레임(7)의 일단에 받침목(12)이 부착된 잭(13)과 가이드 롤러(14) 설치

(3) 작업대 및 안전 장치 설치

비개용 발판(18) 및 포스트바와 사이프로 난간(19) 설치

3.2 이동 및 설치

- (1) 가이드롤러(8)를 레일(4)에 끼운다
- (2) 받침목(12)은 잭(13)으로 이동시키며, 가이드롤러(14)가 측벽(1a)에 접지한다.
- (3) 윈치 등을 사용하여 동바리 몸체(5)를 적당한 위치까지 이동 (이동시 동바리 몸체는 두 가이드롤러(14)(8)을 지지점으로 함)
- (4) 상부프레임(6)의 장공(9)에 편설되어 있는 고정바(10)를 뽑아내어, 브라켓(2)의 체결공(3)과 고정바(10)의 삼입공(11)을 일치시켜 핀, 볼트 등으로 체결 고정
- (5) 하프레임(7)에 설치된 잭(13)을 돌려 받침목(12)을 하프레임으로부터 점차 인출하여 받침목(12)이 측벽(1a)에 밀착, 이때 가이드롤러(14)는 측벽(1a)로부터 이탈 (고정시 동바리몸체는 롤러(8), 받침목(12) 브라켓(2)의 체결공(3)을 지지점으로 함)
- (6) 상프레임(6)의 잭(16)으로 채널바(17)의 높이 조절 (두 잭의 높이 변화로 경사진 콘크리트 슬라브의 타설도 가능)

4. 공법의 특성

4.1 공기

종래의 목재 동바리는 비계작업 기간을 제외하고도 1회 150M 작업기준으로 볼 때 종래 공법으로 33일이 걸리나 개선후 17일로 공기가 단축되었다. (표 2).

표 2 동바리 설치기간 비교표

종래의 목재 동바리 설치기간	개선된 강재 동바리 설치기간
브라켓 자체 제작, 보수 ...3일	상판에 구멍 절공(先作業) ...1일
동바리 설치 ...10일	레일 설치(先作業) ...3일
상부슬라브 거푸집 조립 ...5일	
철근 매단 ...2일	설치, 해체, 이동 ...6일
콘크리트 타설 ...1일	철근 매단 ...3일
콘크리트 양생 ...7일	콘크리트 타설 ...1일
동바리 해체, 이동 ...5일	콘크리트 양생 ...7일
계 33일	계 17일

동바리 설치시 비계작업 기간 제외 비계작업이 필요없다

* 50 M/SPAN X 3 SPAN = 150M 1회 작업 기준

4.2 원가

초기자재 투입비용은 증가하지만 장대교량에서는 사용회수가 증가되어 20회 이상의 전용이 가능하면 상당한 원가절감이 기대된다. 정릉천변 도시고속도로현장의 시공실적을 기준으로 산정한 바에 의하면 종래 대비 약 14%의 원가절감이 가능하다고 보여지며 투입자재의 타현장 전용을 고려하면 더 많은 절감이 기대된다.

1) 공사비 산정예

가. 이동식 강재 동바리 공사비

표 3 강교 총연장 및 시공 현황

구 분	총 연 장	94. 3. 31현재시공
MBR1	362 M x 2 lane = 724 m	-
MBR2	108 m	-
Ramp A-line	834 m	834 m
Ramp B-line	707 m	457 m
계	2,373 m	1,291 m

① 거푸집 자재비

100 M : 73,000,000원

50 M : 36,500,000원

150 M : 109,500,000원

사용회수 총연장 2373 M 전부 사용하고
잔존가 10%추정

사용회수 : 2373 M / 150 M = 16 회

(109,500,000x0.9) / 16회 = 6,160,000원
/ 150M

② 조립설치 및 이동설치비

(1) 조립설치비

조립비(최초) : 6명 / 일 x 5일 =

30명 x 50,000원 / 명 = 1,500,000원

설치비(최초) : 4명 / 일 x 6일 =

24명 x 50,000원 / 명 = 1,200,000원

장비비(Crane) : 1대 / 일 x 6일 =

6대 x 300,000원 / 대 = 1,800,000원

계 4,500,000원

최초설치후 5회 이동설치로 가정할
때 1회당 조립설치비는 4,500,000원
/ 5회 = 900,000원 / 회

(2) 이동설치비

천 공 : 340 공 x 1000원 =
340,000원

레 일 설 치 : 4명 / 일 x 3일 =
12명 x 50,000원 = 600,000원

해체, 이동, 설치 : 8명 / 일 x 6일 =
48명 x 50,000원 = 2,400,000원

기 푸 집 정 리 : 4명 / 일 x 2일 =
8명 x 50,000원 = 400,000원

3,740,000원

③ 총 공사비(150M)

재료비 : 6,160,000원

설치비 : 900,000원

3,740,000원

계 : 10,800,000원

나. 목재 동바리 공사비

① 150M당 수량

거푸집(3회) :

2.892 M² / M x 150M = 434 M²

동바리 :

1.893 공M³ x 150M = 284 공M³

작업대(비 계) :

150 M² x 5개소 = 750 M²(30M 마다 1개
소)

② 총 공사비(150M)

거푸집 :

434 M² x 12,594 원 / M² = 5,465,796원

동바리 :

284 공M³ x 11,476 원 / M³ = 3,259,184
원

작업대 :

750 M² x 5,036 원 / M² = 3,777,000원

계 12,501,980원

다. 공사비 비교

원가절감율 :

(12,501,980 - 10,800,000) / 12,501,980 =

13.6%

4.3 안전성

비계작업이 없어지고 이동식 동바리에 작업발판 및 난간등이 부착되어 고공작업에서도 충분한 안전성을 확보하도록 설계 및 시공을 하였다. 각 현상마다의 여건에따라서 부재의 설계는 달라져야 하겠지만 당현상에서의 구조계산예를 보면 다음과 같다.

2) 정릉천변도시고속도로에서의 이동식동바리 구조계산 예

가. 하중조건

① 작업하중

$$W = (250 \text{ Kg/m}^2) \times (2.4 \text{ m}) \\ = 600 \text{ Kg/m} (0.6 \text{ T/m})$$

강재동바리 몸체의 두 Truss 간의 거리 : 2.4 m

② 사하중

콘크리트 자중 : 2.55 t/m³

(1) 콘크리트 단부에서의 단위길이에 대한 하중

$$Wc1 = (2.55 \text{ t/m}^3) \times (2.4 \text{ m}) \times \\ (0.2 \text{ m}) = 1.224 \text{ t/m}$$

(2) 상부 플랜지 단부에서의 단위길이에 대한 하중

$$Wc2 = (2.55 \text{ t/m}^3) \times (2.4 \text{ m}) \times \\ (0.786 \text{ m}) = 4.810 \text{ t/m}$$

나. 허용응력도(사용 강재 : SS41, 보정 계수 : 0.9)

① 허용 휨응력

인상연 : 1400 Kg/cm²

압축연 : $\frac{\ell}{b} \leq 4.5 : 1400 \text{ Kg/cm}^2$

$$4.5 < \frac{\ell}{b} \leq 30 : 1400 - 24$$

$$\left(\frac{\ell}{b} - 4.5\right) \text{ Kg/cm}^2$$

② 허용 압축 응력

$$\frac{\ell}{r} \leq 20 : 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$20 < \frac{\ell}{r} \leq 93 : 1400 - 8.4$$

$$\left(\frac{\ell}{r} - 20\right) \text{ Kg/cm}^2$$

$$93 < \frac{\ell}{r} : \frac{12,000,000}{6700 + \left(\frac{\ell}{r}\right)^2} \\ \text{Kg/cm}^2$$

③ 허용전단응력 : 800Kg/cm²

다. 사용자재

① 상현재 : □100 x 50 x 5 x 7.5(2개사용)

$$W = 9.36 \text{ Kg/m},$$

$$A = 11.92 \text{ cm}^2, I_x = 189 \text{ Cm}^4,$$

$$Z_x = 37.8 \text{ Cm}^3$$

② 하현재 : □75 x 40 x 5 x 7.5(2개사용)

$$W = 6.92 \text{ Kg/m},$$

$$A = 8.818 \text{ cm}^2, I_x = 73.9 \text{ Cm}^4,$$

$$Z_x = 20.2 \text{ Cm}^3$$

③ 수직재 : □75 x 75 x 3.2

$$W = 7.01 \text{ Kg/m},$$

$$A = 8.927 \text{ cm}^2, I_x = 75.5 \text{ Cm}^4,$$

$$Z_x = 20.01 \text{ Cm}^3$$

라. 부재응력검토

① 상현재(Element #3)

(1) 허용 응력

- 휨 압축응력

$$l/b = 168 / (2 \times 10) = 16.8$$

$$\sigma_{ba} = 0.9 \times (1400 - 24(16.8 - 4.5))$$

$$= 994.32 \text{ Kg/cm}^2$$

- 전단 응력

$$\tau_a = 0.9 \times 800 = 720 \text{ Kg/cm}^2$$

(2) 응력 검토

$$M_{max} = 69265.29 \text{ Kg-Cm},$$

$$S_{max} = 2579.93 \text{ Kg}$$

$$\sigma_b = M_{max} / Z_x = 69265.29 /$$

$$(2 \times 37.8) = 916.21 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{cm}^2 < \sigma_{ba} = 994.32 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau = S_{max} / A_{web} = 2579.93 /$$

$$(2 \times 10 \times 0.5) = 257.99 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{cm}^2 < \tau_a = 720 \text{ Kg/cm}^2$$

② 수직재(Element #4, Element #5)

(1) 허용 응력

- 압축응력

$$l/r = 192.4 / 2.91 = 66.12$$

$$\sigma_{ca} = 0.9(1400 - 13(66.12 - 20))$$

$$= 911.33 \text{ Kg/cm}^2$$

- 휨 압축응력

$$l/b = 140 / 5 = 28$$

$$\sigma_{ba} = 0.9 \times (1400 - 24(28 - 4.5)) = 752.4 \text{ Kg / cm}^2$$

(2) 응력 검토

$$P_{max} : = 1808.15 \text{ Kg (Element 4)}$$

$$\sigma_c : = P_{max} / A = 1808.15 / 8.927 = 202.55 \text{ Kg / cm}^2 < \sigma_{ca} = 911.33 \text{ Kg / cm}^2$$

$$M_{max} : = 7482.09 \text{ Kg - Cm (Element 5)}$$

$$\sigma_b : = M_{max} / Z_x = 7482.09 / 20.1 = 372.24 \text{ Kg / cm}^2 < \sigma_{ba} = 752.4 \text{ Kg / cm}^2$$

③ 하현재 (Element #8)

(1) 허용 응력

- 휨 압축응력

$$l/b = 78 / (2 \times 4) = 9.75$$

$$\sigma_{ba} = 0.9 \times (1400 - 24(9.75 - 4.5)) = 1146.6 \text{ Kg / cm}^2$$

- 전단 응력

$$\tau_a = 0.9 \times 800 = 720 \text{ Kg / cm}^2$$

- 압축응력

$$l/r = 78 / (1.4142 \times 1.19) = 46.35$$

$$\sigma_{ca} = 0.9(1400 - 8.4(46.35 - 20)) = 1060.8 \text{ Kg / cm}^2$$

(2) 응력 검토

$$M_{max} : = 37208.71 \text{ Kg - Cm,}$$

$$S_{max} = 458 \text{ Kg,}$$

$$P_{max} = 1353.98 \text{ Kg}$$

$$\sigma_b : = M_{max} / Z_x = 37208.71 / (2 \times 20.2) = 925.61 \text{ Kg / cm}^2 < \sigma_{ba} = 1146.6 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\tau : = S_{max} / A_{web} = 458.000 / (2 \times 7.5 \times 0.5) = 61.07 \text{ Kg / cm}^2 < \tau_a = 720 \text{ Kg / cm}^2$$

5. 마치는 글

강합성 교량의 단부슬랩용 고정식 목재동바리를 이동식 강재동바리로 전환함에 따라 고공작업에서 작업자의 안전성을 충분히 확보할 수 있었다. 또한 강재동바리의 변형이 극히 미세하여 구조물의 정밀도를 향상시킬 수 있었으며, 설치 및 해체작업의 신속성으로 인하여 공기를 단축시킬 수 있었다. 특히, 연장이 긴 교량에서는 반복 사용횟수가 늘어남에 따라 원가절감도 이룩할 수 있는 등의 장점이 충분히 발휘되었다.

이제 U.R 협상이 끝나고 건설시장의 개방이 눈앞에 다가오고 있다. 지금이라도 늦지 않았으므로 선진국의 우수한 건설회사와의 경쟁에 뒤지지 않기 위해서는 하루빨리 건설기술인 개인의 실력을 향상시키는 물론, 건설회사마다의 독자적인 기술개발에 총력을 기울여야 할 것이다. 특히, 건설현장에서의 신기술은 멀리 떨어져 있는 것이 아니라 부문에서 보여주는 예와 같이 현장 주변에서 쉽게 찾을 수 있는 것이라 생각된다. 