

조립식 복합소재 데크를 이용한 아치가교 개발

Development of Temporary Arch Bridges by Using Snap-fit GFRP Composite Decks

조용상† 이성우* 홍기증**

Cho, Yong-Sang Lee, Sung-Woo Hong, Kee-Jeung

(논문접수일 : 2008년 6월 5일 ; 심사종료일 : 2008년 6월 18일)

요지

유리섬유강화 폴리에스터(GFRP) 복합소재는 가볍고 내구성이 뛰어나 강재, 콘크리트, 나무 등과 같은 기존의 구조 재료들을 대체할 수 있는 재료로 최근 각광 받고 있다. GFRP 복합소재 데크를 조립하여 아치가교를 만들면 짧은 시간에 시공이 가능하고 복합소재 데크의 재사용이 가능할 수 있다. 이 논문에서는 쉽게 조립할 수 있는 수직결구식 복합소재 데크를 활용한 아치가교 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 몇가지 가능한 아치가교의 유형을 제안하고 이를 유한요소해석을 통해 검증한다.

핵심용어 : 가교, 데크, 수직결구식, 스냅핏, 아치구조, 유리섬유, 복합소재, GFRP

Abstract

Glass-fiber reinforced polyester (GFRP) composite material is a promising alternative to existing construction materials such as steel, concrete and wood due to light weight and high durability of GFRP composite material. If a temporary arch bridge is built by GFRP composite deck, rapid construction of the bridge and reuse of the GFRP composite deck are possible. In this paper, we develop a type of temporary arch bridges that can be built by easy assembling of GFRP composite decks. For this purpose, several possible types of temporary arch bridges are suggested and verified by finite element analysis.

Keywords : temporary bridge, deck, snap-fit connection, arch structure, glass fiber, composite material, GFRP

1. 서론

재해 등으로 인한 교량의 유실 또는 붕괴 시, 교량의 복구를 위해서는 많은 시간과 인력 그리고 큰 비용이 소요된다. 또한 공사 기간 동안에 통행제한 및 구호물자 운송이 불가능하여 수해지역이 고립되는 큰 문제점이 있다. 이런 문제를 해결하기 위해, 가설교량을 신속히 시공하여 임시로 통행을 가능하게 함으로써 구호물자 운송 및 복구장비 등을 효율적으로 고립지역에 투입할 수 있는 새로운 개념의 가설교량을 개발할 필요가 있다. 건설공사기간 동안 공사용 장비나 차량이 현장으로 접근할 수 있도록 임시로 설치하는 가설교량을 시공할 때, 조립 및 해체가 용이하고 내구성 및 구조적 성능

이 우수한 착탈결구식 섬유강화 복합소재를 이용함으로써 가설교량의 가설 및 철거에 따르는 시간과 비용을 절감할 수 있다.

먼저, 지금까지 가교로 사용되어 오고 있는 하천횡단 가교 형식에 대해 조사하여, 기존 가교형식의 문제점을 살펴보고 록 한다. 트러스 구조 동바리 교각을 이용한 가설교량은 보

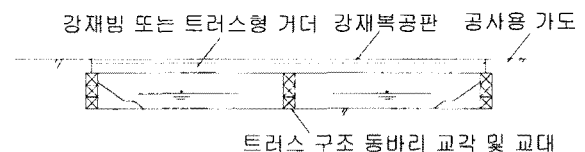


그림 1 트러스 구조 동바리 교각을 이용한 가설교량

† 책임저자, 학생회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정

Tel: 02-910-5056 ; Fax: 02-910-4939

E-mail: monaliyoung@naver.com

* 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수

** 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

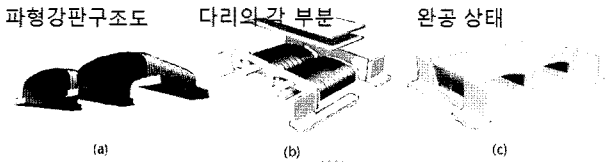


그림 2 파형강판을 이용한 가설교량

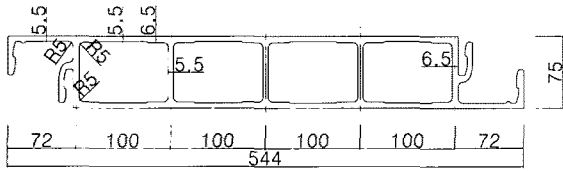


그림 3 복합소재 데크 단면도

동 그림 1과 같은 형태로 강제 트러스 구조의 등바리를 이용하여 교각과 교대를 구성하고, 거더는 H형 강제 빔 또는 트러스 형태로 한 후 바닥판은 강제 복합판을 이용하였다. 그러나 이러한 종래의 가교는 공사비가 고가이고, 가설공기가 길어지며, 사용 후 자재관리가 어렵고 보관 시에도 부식이 발생하여 재사용에 한계가 있었다. 한편, 그림 2와 같은 파형강판을 이용한 가교 형식은 시공기간을 단축함으로써 기존의 강제 트러스 구조 가교 형식의 문제점을 보완한다. 하지만 부식의 우려가 있고, 재사용이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 위에서 설명한 기존의 가교형식 보다 가설공기가 단축되며, 사용 후 보관과 재사용이 용이한 효과적인 가교의 개발을 위해 조립식 복합소재 아치구조를 이용하고자 한다.

경량, 고강도, 내부식 특성으로 인해 유리섬유 강화 복합소재는 최근 첨단 건설 재료로 주목받고 있다. 이러한 첨단 복합소재를 이용하여 아치구조를 만들면 가설교량을 포함한 여러 가지 토목구조물 용도에 이용될 수 있다. 특히 복합소재 아치구조를 조립식으로 만들면 제작비용이 저렴하고 운반과 조립이 매우 편리하게 되어 신속한 제작과 철거가 가능하다. 또한 유리섬유 강화 복합소재는 내부식성이 강하므로 어떠한 환경에서도 사용이 가능하고, 조립과 분리가 용이하여 철거 후 재사용이 가능할 것으로 기대된다.

그림 3에는 조립식 단면 복합소재 아치구조에 사용된 복합소재 데크의 단면 형상을 보여주고(이성우, 2004; 2006; 2007; 심영식, 2006; 조성환, 2006; Lee 등, 2007), 그림 4는 조립식 단면 복합소재 아치구조의 개념도를 보여주고 있다. 그림에서 보이듯이 직선형 복합소재 데크를 연결부에 의해 서로 연결하여 아치구조를 만든다. 본 연구에서는 이러한 개념에 근거하여 조립식 복합소재 아치구조를 개발하고자 하며, 이를 위해 몇가지 가능한 아치구조 형식을 유한요소해

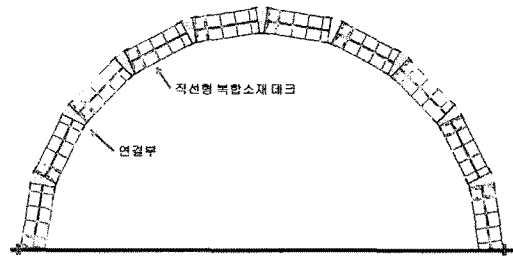


그림 4 조립식 복합소재 아치구조 개요도

석 프로그램인 COSMOSWorks를 이용, 해석하여 사용가능 여부를 검토한다.

2. 아치구조의 하중조건

아치구조에 작용하는 하중조건은 지중구조물의 기하학적인 형상과 재료특성, 지반공학적 특성에 따라 달라진다(강주명 2001). 일반적으로 고려하는 하중은 강판상부의 토피하중인 사하중, 차량하중에 의한 활하중(동적하중 포함), 지진하중 등이 있다. 지중구조물의 사하중은 구조물의 주변, 특히, 상부 흙의 무게에 의하여 발생한다. 아치구조의 자중은 상대적으로 작기 때문에 사하중에 포함시키지 않는다. 활하중은 주로 교통하중에 기인하나, 지중 구조물 준공 후 상부로 통행하는 차량의 특성을 개별적으로 고려하기는 불가능하다. 또한, 활하중은 지중구조물의 토피고에 따라 구조물에 미치는 정도가 달라진다.

2.1 최소토피고

그림 5에 아치구조와 토피를 보여주고 있으며 토피고를 H로 나타내고 있다. 아치구조의 수평지름을 D_h 로 정의하고 수직지름을 D_v 로 정의하면, 아치구조 상부의 최소토피고를 캐나다 도로교시방서(Canadian Standards Association 2001)에 따라 아래 식 (1)에 나타난 세 식으로 구한 값 중 가장 큰 값으로 정한다. 일반적인 파형강판 아치구조의 경우 수평지름 D_h 이 수직지름 D_v 보다 크지만, 일반적인 복합소재 아치가교의 경우는 수평지름 D_h 과 수직지름 D_v 가 서로 유사하다. 이 시방서에 따르면 지간길이가 3.6m이하던 복합소재 아치가교의 경우 최소토피고는 0.6m가 된다.

$$0.6m, \frac{S}{6} \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^{1/2}, 0.4 \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, S는 아치의 지간길이를 나타낸다.

2.2 사하중

아치구조에서 임의의 아치면에 작용하는 수직사하중은 토 피로부터 그 아치면까지 작용하는 토체의 무게로 계산한다. 즉 수직하중은 수직토압 p_D 로 아래의 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$p_D = \gamma h \quad (2)$$

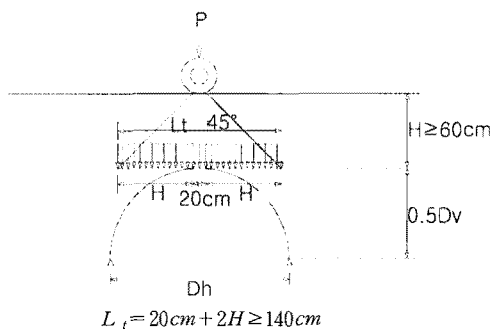
여기서, γ 는 뒷채움흙의 단위중량, h 는 지표면으로부터의 깊이를 나타낸다.

2.3 활하중

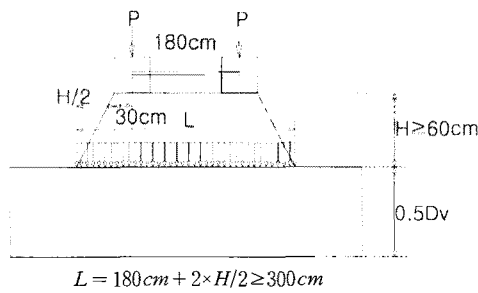
본 연구에서는 공사용 중차량이 통행 할 수 있는 아치가교를 개발하고자 하므로 도로교설계기준(건설교통부, 2005)의 DB24하중을 아치가교가 충분히 견딜 수 있도록 설계한다. 도로교설계기준에 따라 각 차륜의 접지면적을 $12500P/9(\text{mm}^2)$ 인 하나의 직사각형 면적으로 간주한다. 여기서 접지면의 폭과 길이의 비는 2.5:1로 하며, P는 차륜의 중량(kN)을 나타낸다.

충격계수 1.3을 DB24하중에 곱하여, 충격하중을 고려한 각 차륜의 활하중을 다음 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_L = 96\text{kN} \times 1.3 = 125\text{kN} \quad (3)$$



(a) 횡단면도



(b) 종단면도

그림 5 DB24 활하중의 확산분포

DB24 바퀴하중으로 인해 아치구조물 상부에 발생하는 수직분포하중을 그림 5에 나타내었다. 지름 3.6m이하인 아치구조물의 상부로부터 뒷채움흙 표면까지의 두께 H 는 식 (1)에 의해 60cm이상이어야 하며, 뒷채움흙 표면으로부터 전해져 내려가는 활하중은 아치구조의 횡단면에서는 1:1(그림 5a), 아치구조 종단면에서는 2:1(그림 5b)의 경사로 확산분포되는 것으로 가정한다(파형강판 핸드북). 그러므로 충격하중을 포함한 125kN의 수직바퀴하중은 140cm×300cm 이상의 면적으로 분포되어 아치상부에 전달된다. 본 연구에서는 안전한 설계를 위해 최소토피고 60cm에 의한 최소면적 140cm×300cm에 분포되는 등분포활하중 P_L 을 식 (4)에 의해 계산하여 해석에 적용하였다.

$$p_L = \frac{2P}{L \times L} = \frac{2 \times 125\text{kN}}{140\text{cm} \times 300\text{cm}} = 5.9\text{N/cm}^2 \quad (4)$$

2.4 수직총하중

앞에서 구한 수직등분포 사하중 p_D 와 수직등분포 활하중 p_L 을 더하여 수직등분포 총하중 p_V 를 다음 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$p_V = p_D + p_L \quad (5)$$

2.5 수평하중

수직토압과 수직 분포활하중에 주동토압계수를 곱하여, 그림 6에 보인 아치구조의 측면에 작용하는 수평토압 p_H 를 다음 식 (6)과 같이 구할 수 있다(심장섭 등, 1998).

$$p_H = K_a (\gamma h + p_L) \quad (6)$$

여기서, K_a 는 주동토압계수, h 는 지표면으로부터의 깊이

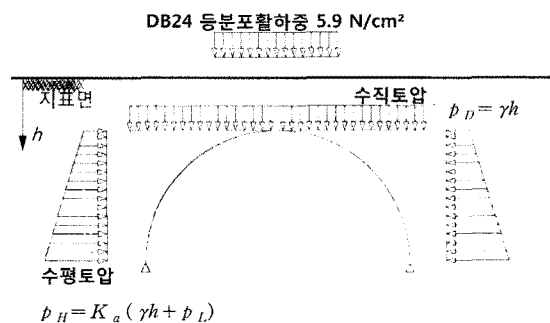


그림 6 아치에 작용하는 하중

를 나타낸다.

DB24차륜활하중의 분포폭이 구조물의 폭보다 작을 경우 파형강판 지중압거의 설계와 시공(심장섭 등, 1998)에서는 일본 지반공학회의 파형강판 암거 매뉴얼을 따라 활하중에 의한 토압은 고려하지 않도록 제시되어 있다. 즉, 다음 식 (7)로 수평토압을 계산할 수 있다.

$$p_H = K_a \gamma h \quad (7)$$

그림 6은 아치구조에 작용하는 사하중, 활하중, 수평하중을 나타낸 모식도이다.

3. 복층구조 복합소재 데크의 약축방향 결합에 의한 아치구조

그림 7은 복층구조 복합소재 데크의 약축방향 결합에 의한 아치구조에 사용되는 복합소재 데크와 강제연결부를 보여주고 있다. 복합소재 데크의 양단에 있는 스냅핏 연결부를 절단하여 그림 7a의 복합소재 데크를 제작한다. 이를 강제연결부(그림 7b)에 그림 8과 같이 화살표 방향(약축방향)으로 복층구

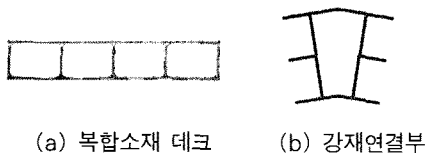


그림 7 약축방향 아치구조 부속

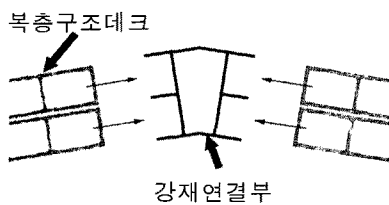


그림 8 약축방향결합 상세도



그림 9 완성된 복층구조 약축방향결합 아치구조

표 1 ESAComp 적층해석 결과에 의한 복합소재 데크 물성치

항목	탄성계수(MPa)		전단탄성계수(MPa)	포아송비	두께(mm)
	E _x	E _y			
75mm단면	26580	9250	2930	0.278	5.5

표 2 유한요소해석에 사용한 강제연결부의 물성치

항목	탄성계수(MPa)	전단탄성계수(MPa)	포아송비	항복응력(MPa)
강제연결부	210000	79000	0.28	245

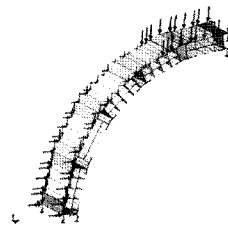


그림 10 유한요소 모델

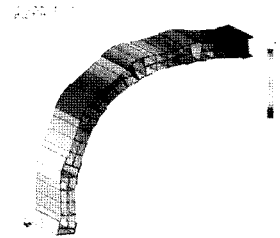


그림 11 수직 처짐 분포

조 데크를 연결하여 그림 9와 같은 아치구조를 만든다.

그림 9와 같이 조립된 지름 3m 아치구조에 대한 유한요소모형을 구성하여 범용 유한요소해석 프로그램인 COSMOS Works를 이용하여 해석한다. 그림 10은 유한요소해석 모델의 하중 및 경계조건을 보여준다. 모델의 하단부는 고정단으로, 상부 중앙은 대칭조건에 의해 수직변위만 발생하도록 하고 이외의 변위는 구속한다. 복합소재 데크 부분에는 쉘요소를, 연결부는 데크와 접촉이 발생하므로 이를 적절히 모사하기 위해 솔리드요소를 사용한다. 표 1과 2는 각각 유한요소해석 시 사용된 복합소재 데크와 강제연결부(SM20C)의 물성치를 보여주고 있다.

해석결과, 그림 11에 보인바와 같이 하중재하 시 166mm의 상당히 큰 수직처짐이 발생하였다. 이는 데크의 약축방향 강성이 수직처짐 변형에 충분히 저항하지 못함을 보여준다. 이를 개선하기위해 데크강축방향으로 결합하여 강성을 증가시키도록 설계 및 해석한다.

4. 복층구조 복합소재 데크의 강축방향 결합에 의한 아치구조

앞에서 복합소재 데크의 약축방향 연결에 의해 조립된 아치구조는 DB24하중 하에서 상당히 큰 수직처짐이 발생함을 확인하였다. 이는 약축방향으로 연결된 복합소재 데크의 작은 휨강성 때문이므로, 이를 개선하기 위해 복합소재 데크를 강축방향으로 연결하여 수직처짐에 대한 강성을 향상시키도록 한다. 앞 장에서와 같이, 그림 12a와 같은 복합소재 데크

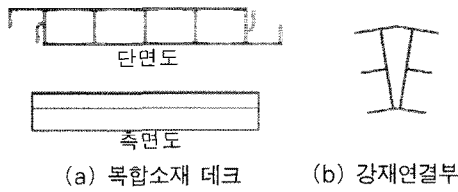


그림 12 강축방향 아치구조 부속

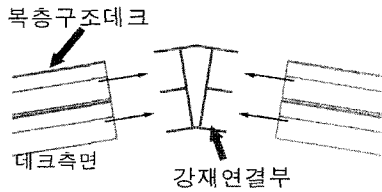


그림 13 강축방향결합 상세도

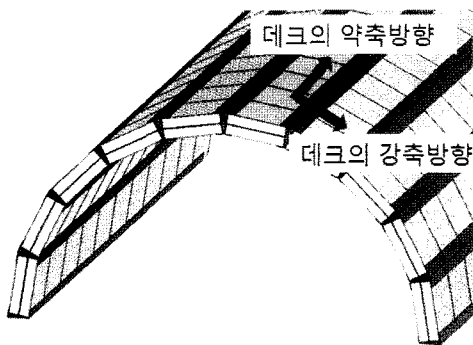


그림 14 완성된 복층구조 강축방향결합 아치구조

를 만들고 그림 12b와 같은 강재연결부를 제작한다. 제작된 복합소재 데크를 복층구조 형태로 만들어 그림 13과 같이 강재연결부와 강축방향으로 연결함으로써 그림 14와 같은 아치구조를 조립 및 제작한다. 반면 데크의 약축방향 연결에서는 데크의 스냅핏 연결부를 이용하여 데크 간 결합한다.

이렇게 완성된 아치구조에 대한 유한요소모델을 앞 장과 마찬가지로 방법으로 구성하였다. 해석 결과를 검증하기 위해 복합소재 데크의 너비를 바꾸어가며 해석을 수행하였다. 즉, 복합소재 데크의 1중공 부분만을 모델링 했을 때와 5중공, 10중공을 모델링했을 때의 해석 결과들을 비교하여 해석결과와 타당성을 검토하였다.

현재 가교에 대한 처짐기준은 없는 상태이므로 유한요소해석결과에 도로교 설계기준에서 판형 캔틸레버보에 대해 제안된 처짐기준(지간/300)을 복합소재 아치구조에 적용하여 지름/300의 처짐기준을 정하고, 이를 기준으로 처짐 사용성을 평가한다. 표 3에서 나타나듯이, 각 중공별 유한요소 해석결과와 최대처짐은 서로 유사하나 모두 처짐기준을 만족하지 못한다. 표 4에는 각 해석에서 계산된 복합소재 데크의 최대 휨응력과 휨응력강도(270MPa)를 비교하여 계산한 안전율을

표 3 복층구조 강축방향 결합된 지름 3m 아치구조의 처짐 사용성

항 목	최대처짐(mm)	처짐기준/최대처짐	처짐기준
1중공단면	15.51	0.64	10mm ($\frac{D}{300}$)
5중공단면	12.79	0.78	
10중공단면	12.94	0.77	

표 4 복층구조 강축방향 결합된 지름 3m 아치구조의 최대휨응력

항 목	최대휨응력	안전율
1중공단면	274.8MPa	0.98
5중공단면	233.9MPa	1.15
10중공단면	229.5MPa	1.17

표 5 복층구조 강축방향 결합된 지름 2m 아치구조의 최대처짐

항 목	최대처짐(mm)	처짐기준/최대처짐	처짐기준
1중공단면	2.711	2.46	6.67mm ($\frac{D}{300}$)
5중공단면	2.644	2.52	
10중공단면	2.032	3.28	

표 6 복층구조 강축방향 결합된 지름 2m 아치구조의 최대휨응력

항 목	최대휨응력	안전율
1중공단면	47.94MPa	5.6
5중공단면	98.22MPa	2.74
10중공단면	74.12MPa	3.64

보여준다. 각 중공별 유한요소 해석결과에서 구한 최대휨응력은 서로 유사하며 안전율은 1에 가깝게 계산되었다. 결과적으로, 3m 아치구조는 처짐기준을 만족하지 못하고 안전율도 1에 근접하여 충분한 안전을 보장하지 못하므로 이를 개선하기 위해 지름을 2m로 감소시켜 설계 및 해석한다.

지름 2m를 갖는 강축방향 결합된 복층 아치구조는 표 5와 6에서 나타나듯이, 각 중공별 유한요소해석 결과에서 최대처짐 및 최대휨응력이 기준에 모두 만족함을 보인다.

유한요소해석 결과, 지름 3m 아치구조는 응력에 대한 안전율이 거의 1에 가깝게 구해졌으며 처짐기준을 만족하지 못하였으나, 지름 2m의 아치구조는 응력에 대한 안전기준뿐만 아니라 처짐기준 모두를 만족했다. 그러므로 이러한 결과를 바탕으로, 지름 2m의 아치구조는 충분히 가교로서의 역할을 할 수 있을 것으로 추정할 수 있다.

5. 단층구조 복합소재 데크의 강축방향 볼트결합에 의한 조립식 아치구조

현재는 복합소재 데크 분야가 개발단계에 있는 상태이므로 그 가격이 다른 건설재료에 비해 저렴하지 않지만, 앞으로 그 사용이 증가함에 따라 경제성이 향상될 것으로 기대된다. 복합소재 아치구조 가교의 경제성을 향상시키기 위해, 복층

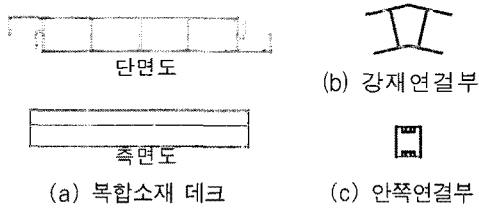


그림 15 강축방향 볼트결합 아치구조 부속

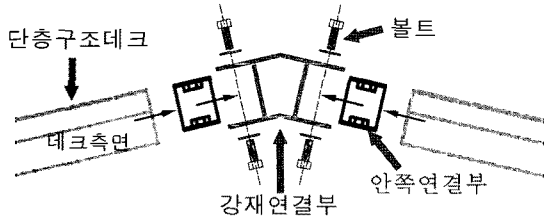


그림 16 강축방향 볼트결합 상세도

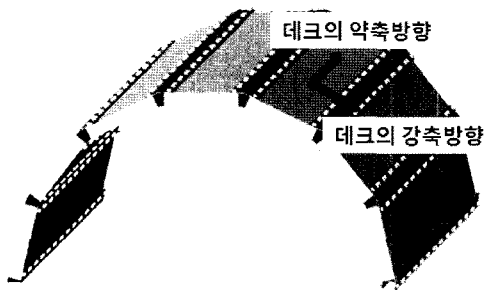


그림 17 완성된 단층구조 강축방향 볼트결합 아치구조

구조보다는 단층구조로 사용하면 복합소재 데크의 재료비를 상당히 절감할 수 있다. 단층구조의 데크를 사용하게 되면 전체적인 강성이 감소되어 큰 처짐이 발생할 수 있으므로, 이를 보완하기 위해 복합소재 데크와 강제연결부를 볼트로 연결하여 데크와 강제연결부 사이의 연결강성을 증가시키도록 설계 및 해석한다.

먼저, 그림 15a와 같은 복합소재 데크를 만들고, 그림 15b와 같은 강제연결부와 그림 15c와 같은 안쪽연결부(너트가 용접되어 있어 볼트 연결에 사용)를 제작한다. 단층의 복합소재 데크 안쪽에 안쪽연결부를 삽입한 상태에서 그림 16과 같이 강제연결부와 강축방향으로 연결하고 볼트 체결함으로써 그림 17과 같은 아치구조를 조립 및 제작한다. 데크의 약축방향으로는 데크의 스냅핏 연결부를 이용하여 데크 간 결합한다.

4중공 복합소재 데크를 볼트로 연결하여 조립한 아치구조를 만들기 위해 각 연결부의 제작도면을 완성하였고, 이를 그림 18과 19에 나타내었다. 그림 18은 너트가 용접되어 있는 안쪽연결부의 도면을 보여주며 그림 19는 지름 10mm

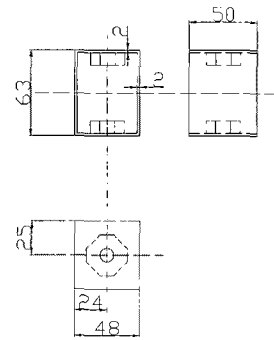


그림 18 안쪽연결부의 도면

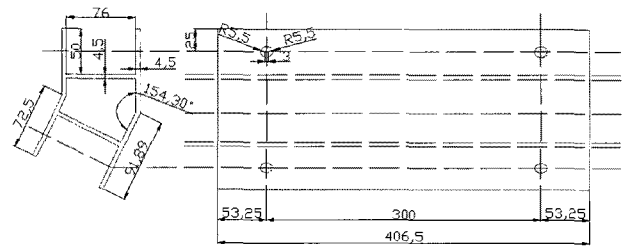


그림 19 강제연결부 도면

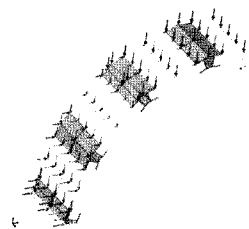


그림 20 단층구조 볼트결합 모델

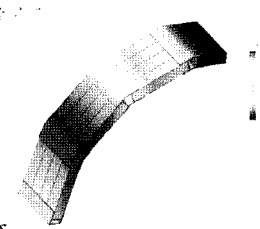


그림 21 처짐 분포

표 7 단층구조 볼트결합 유한요소모델의 최대처짐과 최대응력

항 목	도압+DB24	처짐기준 또는 강도	처짐기준/최대처짐 또는 안전율
최대처짐	3.165mm	6.67mm (D/300)	2.11
최대휨응력 (복합소재 데크)	104.8MPa	270MPa	2.58
최대응력 (강제연결부)	207.5MPa	245MPa	1.18

볼트와 복합소재 데크와 연결하기 위한 볼트구멍을 가진 강제연결부를 보여준다.

유한요소해석을 위해 4중공의 복합소재 데크들로 조립된 아치구조를 모델링하였으며, 복합소재 데크와 강제연결부는 지름 10mm 볼트 4개(상부판 2개, 하부판 2개)와 지름 20mm 워셔에 의해 연결한 것으로 가정하였다. 복합소재 데크와 강제연결부가 볼트로 체결된 부분(지름 20mm 워셔 접촉면)은 서로 일체거동을 하도록 모델링하였고 나머지 조건

들은 앞 장의 모델들과 같은 조건으로 하였다.

그림 20은 유한요소 해석모델의 하중 및 경계조건을 보여 주며 그림 21은 유한요소 해석모델을 이용해 계산한 처짐 분포를 보여준다. 최대처짐 및 최대휨모멘트를 처짐기준 및 종방향 응력강도와 비교하여 표 7에 보여준다. 여기서 앞에서 사용된 처짐기준(지름/300)을 아치구조에 적용하고 이를 기준으로 사용성을 평가한다. 표에서 나타나듯이, 유한요소 해석 결과에서 구한 최대처짐은 처짐기준을 충분히 만족하며, 복합소재 데크는 2.58의 안전율을 보이고 강재연결부는 1.18의 안전율을 가진다. 결과적으로, 단층구조 복합소재 데크를 강축방향으로 볼트에 의해 연결한 지름 2m 아치구조는 사용성과 안전성을 모두 만족하며 가교로서 충분한 구조성능을 가짐을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 여러 가지 형태의 조립식 복합소재 아치구조를 설계 및 해석하여 가설교량으로서의 가능성을 검증하였다. 즉, 복층구조 복합소재 데크의 약축방향 결합에 의한 아치구조, 복층구조 복합소재 데크의 강축방향 결합에 의한 아치구조, 단층구조 복합소재 데크의 강축방향 볼트결합에 의한 아치구조의 3가지 형식에 대하여 설계 및 해석하였다.

이들 형식 중에서 약축방향 결합을 이용한 아치구조는 유한요소해석상 상당히 큰 처짐이 발생하여 사용성을 만족시키지 못하였다. 나머지 두 가지 형식(데크의 강축방향결합)에서는 지름 2m를 갖는 아치구조가 해석상 사용성과 안전성을 모두 만족하였다. 이 두가지 형식 중 단층구조 복합소재 데크를 사용하는 형식이 아치가교 제작의 경제성이 높으므로 단층구조 복합소재 데크의 강축방향 볼트결합에 의한 아치구조 형식을 채택하는 것이 합리적이다. 따라서 차후에 단층구조 복합소재 데크의 강축방향 볼트결합에 의한 아치구조 형식에 대한 성능시험을 통해 가설교량으로써 충분한 성능을 갖는지를 검증할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 GS건설(주)의 지원에 의하여 수행된 과제 내용의 일부를 정리한 것입니다. 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 강주명 등 (2001) 지중강판 구조물 실용화 연구보고서, 서울대학교, p.374.
- 건설교통부 제정 도로교설계기준 (2005) 사단법인 한국도로교통협회, p.510.
- 이성우 (2004) 신속시공·경량·고내구성 복합소재 교량 바닥판 산업화 연구보고서, 건설교통부, p.345.
- 이성우, 김병석, 조남훈 (2006) 인발성형 중공단면 복합소재 교량바닥판의 구조적 특성 분석, 대한토목학회 논문집 26(1A) pp.35~43.
- 이성우 (2007) 유전개발용 리그메트 및 교량바닥판용 착탈조립식 경량 복합소재 데크 개발, 건설교통부 연구보고서, p.180.
- 심장섭 등 (1998) 파형강판 지중암거의 설계와 시공, BR-D-98-005, 포항산업과학연구원 철강엔지니어링센터, p.156.
- 심영식 (2006) 수직결합식 복합소재 데크의 연결부 거동 연구, 국민대학교 석사논문, p.77.
- 조성환 (2006) 보도교용 조립식 복합소재 데크 패널의 거동특성 연구, 국민대학교 석사논문, p.100.
- 파형강판 HANDBOOK, 평산에스아이(주).
- 日本地盤共學會 (1997) 波形鋼板 巖居 manual.
- Canadian Standards Association (2001) CAN/CSA-S6-00 : Canadian Highway Bridge Design Code, Rexdale, Ontario.
- Lee, S. W., Hong K. J. (2007) Experiencing More Composite-Deck Bridge and Developing Innovative Profile of Snap-Fit Connections, Proceedings of COBRAE Conference.