

사장교 가이드 파이프 앵커 형식에서의 정착강관 설계절차

Design Process of Fixing Pipe in Guide Pipe-Anchor System for Cable-Stayed Bridge

홍성남¹⁾ 박선규²⁾ 박병건^{3)*}
Hong, Sung Nam Park, Sun Kyu Park, Byung Gun

Abstract

These days, many cable-stayed bridges were constructed in accordance with the trend in Korea. At the moment, construction technology of cable-stayed bridges has been remarkably developed but design technology still relies upon foreign technology very much. The cable anchor system that is one of key technologies of cable-stayed bridge brings powerful cable tension to produce local stress concentration and to disturb stress seriously, so for safety must be designed by a local detailed analysis is required. But without a clear design standard or design theory relying on F.E.M, and engineers don't understand theoretical basic mechanism of cable anchor system. As a result, engineers can be lose their judgement. Accordingly, this study examined theoretical design flow of fixing pipe in guide pipe-anchor system and additional considerations, in accordance with design standards at home and abroad to keep them in order and to suggest supplementary design flow.

Keywords : Cable-stayed bridge, Guide pipe-anchor system, Fixing pipe, Theoretical design process

1. 서론

최근 들어 사장교와 현수교 같은 장대교량의 건설이 전세계적으로 급격히 증가하고 있는 추세이다. 특히, 사장교는 1955년 근대 사장교의 효시인 Strömsund교를 시작으로 현재 수통대교(중국, 1088m)에 이르기까지 약 50년 정도의 짧은 기간에 비약적인 발전을 이루었다(한진중공업 등, 2003). 국내에서도 1980년대 진도대교를 시작으로 서해대교를 거쳐 인천대교(800m)까지 다수의 사장교가 공용, 시공 중에 있으며 현재 해외 장대교량 시장으로 진출을 꾀하고 있는 실정이다.

이러한 시점에서 국내 사장교의 전반적인 기술력을 살펴본다면 시공기술은 눈에 띄게 발전하였지만, 설계기술은 아직 국외 의존도가 높은 편이다. 최근 과거에 비해 국외 설계기술 의존도가 줄어든 것은 사실이지만 아직까지 핵심설계요소들은 많이 의존하고 있으며, 이는 이 분야에 대한 지속적인 연구 및 개발기간이 미흡하기도 했지만 국내수요가 매우 한정되어 있어서 기술개발의 필요성이 크지 않았기 때문이기도 하다(방명석 등, 1995).

사장교의 핵심설계요소들 중 케이블 정착부는 케이블과 거더의 구조상 접점에 있어 고정하중, 활하중 및 2차하중을 케이블을 통해 주탑에 전달한다. 또한 큰 케이블 장력으로 인하여 국부적인 응력집중 현상이 발생할 뿐만 아니라 응력교란이 심한부분이므로 안전성 확보를 위해서는 국부상세해석에 의한 설계와 정밀 검토가 요구된다. 일반적으로 케이블 정착부의 설계는 케이블 장력이 각 부재로 전해지는 힘의 전달경로를 고려한 이론적 설계에 의해 단면을 결정한 후 유한요소해석과 실험 등에 의해 응력을 조사하여 설계의 타당성을 확인하는 방법으로 이루어진다(한진중공업 등, 2003).

하지만 국내 케이블 정착부의 설계는 국부상세검토가 어렵고 복잡하다는 이유로 명확한 기준이나 이론적 과정 없이 대부분 유한요소해석 결과에만 의존하고 있다. 더욱이 엔지니어들은 모델링 방법이 다양해지고 복잡해짐에 따라 전문 업체에 외주를 주고 있는 실정이다. 그리하여 정착구조의 이론적 기본메커니즘 혹은 유한요소해석의 원리를 이해하지 못한 채 프로그램 결과에만 의존하게 되어 결국 엔지니어의 기본적 판단력이 흐려지는 부작용을

1) 정회원, 성균관대학교 과학기술연구소 선임연구원, 공학박사
2) 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수, 공학박사
3) 정회원, 삼성물산 주임, 공학석사

* Corresponding author : bbongc@hanmail.net 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

가져오고 있다.

본 연구에서는 케이블 정착구 중 가이드 파이프앵커 형식을 선정, 기존 이론적 설계흐름을 나타내고 정착강관의 초기 두께를 결정하는 식을 제안하며 국내외 설계기준을 통해 기존의 과정을 보완하였다. 또한, 주경간 240m, 유선형 강상판인 3경간 연속 강사장교를 대상교량으로 제안식을 통해 결정된 정착강관 초기 두께를 토대로 보완된 흐름을 따라 설계를 실시, 보완 설계의 간편성과 타당성을 입증하였다.

2. 가이드 파이프앵커 정착구조

가이드 파이프앵커 정착구조는 최근 주로 사용되는 형식으로서 정착강관을 외측웨브에 완전 용접하여 구조적 거동을 일체화시킨다. 그러므로 케이블 장력에 의해 발생하는 국부응력집중을 초기에 강거더의 구조부재로 원활하게 분산, 전달시킬 수 있으며 피로에 대한 저항성이 우수하다. 일체화로 인해 보강구조가 간단하고 경제적이며 노출부위의 최소화로 미관이 양호하다. 또한 댐퍼와 케이블 정착위치가 멀기 때문에 케이블 진동을 제어하는데 유리하다(공병승 등, 2006). 이러한 이유로 주경간 500m 이상의 장경간 사장교에도 적용할 수 있는 이점이 있으며 국내에서는 영흥대교, 신완도대교, 인천대교에 적용된 사례가 있다. 강거더 가이드 파이프앵커 정착구조의 개요도는 Fig. 1과 같다.

정착강관이 강거더 위·아래로 노출된 부분에는 보강재를 용접하여 강거더로 응력이 원활하게 전달될 수 있도록 한다. 강거더의 상부플랜지보다 두꺼운 두께로 용접되는 Cover Plate는 정착강관에 의한 단면결손을 보강하는 역할을 한다(한국건설기술연구원, 1997). 정착강관과 일체화되는 외측웨브는 두께를 일반부에 비해 보강하여 응

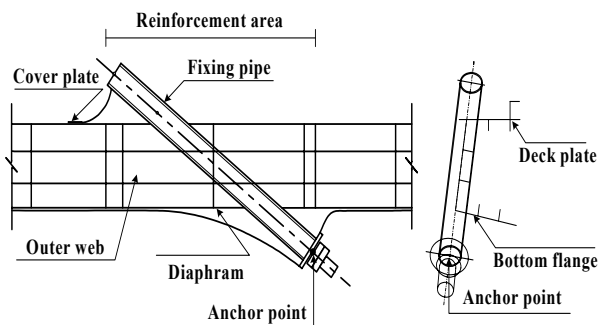


Fig. 1 Explanatory diagram of guide pipe-anchor system

력부담을 저감시키며 다이아프램 역시 응력이 고르게 분포되도록 하기위해 정착강관의 도심과 일치되도록 설치한다. 가이드 파이프앵커에 정착된 케이블 장력의 전달경로는 Anchor Point → Bearing Plate → 정착강관 → 외측웨브 → 하부플랜지, 다이아프램 → 지압판 → 상부플랜지 이며, 정착강관 부분을 상세하게 나타내면 Fig. 2와 같이 나타낸다.

3. 가이드 파이프앵커 정착강관 설계

3.1 기존 설계 방법

가이드 파이프앵커의 정착강관은 직접적인 케이블 장력을 일차적으로 부담하기 때문에 설계의 안정성에 따라 다른 구조 부재의 응력분포에도 중요한 영향을 미치게 된다.

정착강관은 케이블 장력에 의한 축방향의 압축력을 받는다. 따라서 정착강관 방향의 압축응력과 전단응력을 고려하여 설계하며 마지막에는 압축응력과 전단응력의 합성응력도 검토한다(한국전력공사 제1건설처, 1995).

이런 내용에 따라 국내 교량의 가이드 파이프앵커 정착강관의 설계에 적용된 방법과 흐름을 참고하여 기존의 이론적 설계과정을 정리하면 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

3.2 정착강관의 압축응력

3.2.1 케이블 장력에 의한 압축응력

Fig. 4는 케이블 장력 때문에 정착강관에 발생하는 압축 응력을 도식화하여 나타낸 것이다.

$$f_{p1} = P_{p1} \cdot \frac{T}{A_p} \quad (1)$$

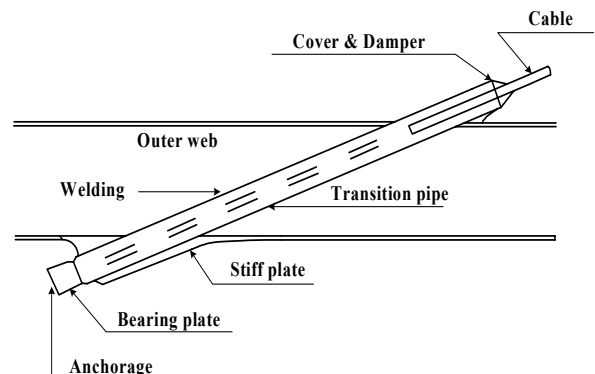


Fig. 2 Detail drawing of fixing pipe

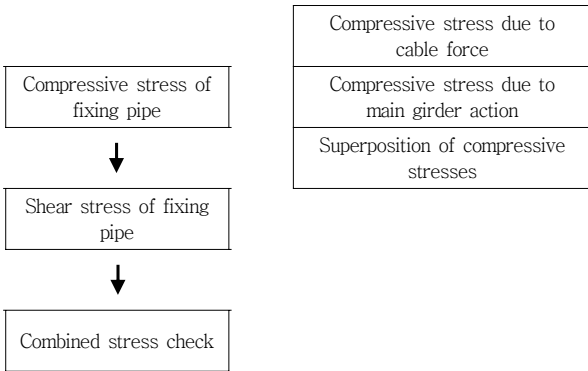


Fig. 3 Existing design of fixing pipe

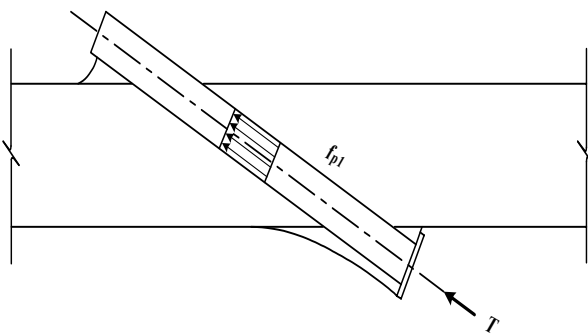


Fig. 4 Compressive stress due to cable tensile force

케이블 장력에 의한 정착강관 압축응력은 식 (1)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 P_{p1} 는 응력집중계수, T 는 설계 케이블 장력, A_p 는 정착강관의 단면적을 나타낸다. 케이블이 정착되는 정착강관 단부에서 발생하는 압축응력을 나타내었으며 케이블 장력 값을 정착강관의 단면적으로 나눈다. 응력집중계수는 엔지니어의 판단 또는 유한요소해석과 비교에 따라 기준 1.0에서부터 할증하여 적용할 수 있다(Inchoen, 2006). 또한 박병건(2010)은 유한요소해석 결과를 바탕으로 응력집중계수를 1.0으로 해도 무방한 것으로 나타내었다. 물론 설계 실무자는 안전성이라는 면과 경제성이라는 두 개의 아이템 고려하여 응력집중계수를 선택하여야 할 것이다.

3.2.2 주거더 작용에 의한 압축응력

Fig. 5는 주거더 작용 때문에 정착강관에 발생하는 압축 응력을 도식화하여 나타낸 것이다.

$$f_{p2} = P_{p2} \cdot f_w \cdot \cos^2\theta \cdot \frac{t_w}{t_p} \quad (2)$$

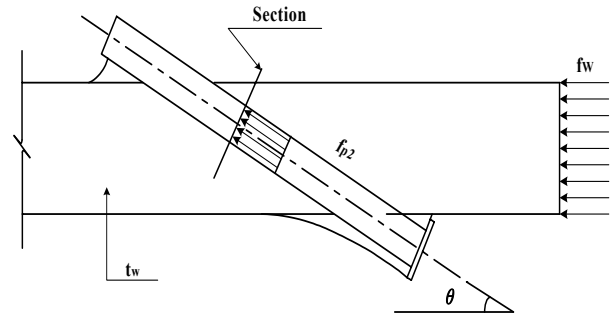


Fig. 5 Compressive stress due to main girder action

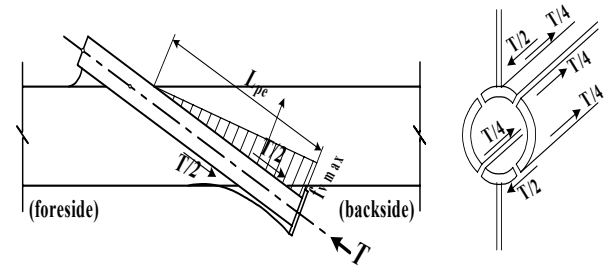


Fig. 6 Shear stress due to cable tensile force

주거더 작용에 의한 압축응력은 식 (2)를 이용해서 구할 수 있다. 여기서 P_{p2} 는 응력집중계수, f_w 는 주거더 작용에 의한 응력, θ 는 정착강관 각도, t_w 는 외측웹 두께, t_p 는 정착강관 두께를 나타낸다. 주거더 작용에 의한 응력을 통해 구한 수직응력도와 외측웹 두께의 곱은 주거더 작용에 의한 정착강관의 압축응력과 정착강관 두께와 같은 값을 가진다고 가정하고 f_{p2} 로 나타낸다. 응력집중계수는 엔지니어의 판단, 유한요소해석과 비교에 따라 기준 1.0에서부터 할증하여 적용할 수 있다(Inchoen, 2006).

3.2.3 압축응력의 겹쳐짐

$$f_p = f_{p1} + f_{p2} \leq f_a \quad (3)$$

압축응력의 겹쳐짐 검토는 식 (3)과 같다. 허용응력설계법을 기준으로 한 압축응력의 겹쳐짐 조사에서는 케이블 장력과 주거더 작용에 의한 응력의 합이 정착강관에 사용된 강재의 허용응력 값을 넘지 않도록 설계한다.

3.3 정착강관의 전단응력

Fig. 6은 케이블 인장력 때문에 정착강관에 발생하는

전단응력을 도식화하여 나타낸 것이다.

$$v_p = P \cdot \frac{T}{2 \cdot L_{pc} \cdot t_p} \leq v_a \quad (4)$$

정착강관의 전단응력은 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 P 는 응력집중계수, T 는 설계 케이블 장력, L_{pc} 는 강관 순수정착 길이 (배면측), t_p 는 정착강관 두께, v_a 는 허용전단응력을 나타낸다. 정착강관이 외측웹브와 용접되는 부분에 케이블 장력이 작용, 전달된다고 보고 각각에 대해 균등하게 인장력을 반으로 나누어 적용시킨다. 응력집중계수는 유한요소해석과 비교에 따라 기준 1.0에서부터 할증하여 적용할 수 있다(Inchoen, 2006).

3.4 압축응력과 전단응력의 합성응력

$$\left(\frac{f_p}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_p}{v_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (5)$$

합성응력 검토는 식 (5)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 f_a 는 강재의 허용응력, v_a 는 강재의 허용전단응력, f_p 는 정착강관의 압축응력, v_p 는 정착강관의 전단응력을 나타낸다. 용접이음부의 합성응력 검토 중 전단면 용입홈 용접 검토식을 기준으로 하였으며 합성응력계수가 1.2 이하가 되도록 규정하고 있다(도로교설계기준, 2005).

4. 가이드 파이프앵커 정착강관 설계 보완

앞에서 언급한 기존 설계과정만으로는 정착강관의 안전성을 확보하기에는 미흡하므로, 추가적으로 보완해야 할 사항들이라고 판단되는 항목들에 대하여 국내외 설계 기준의 규정을 참조하여 제시하였다.

4.1 정착강관 단면설정

4.1.1 정착강관 외경제한

$$D = D' \cdot \cos\theta \leq \frac{1}{2} \cdot h \cdot \cos\theta \quad (6)$$

정착강관 각도와 외측웹브 높이를 고려하여 식 (6)과

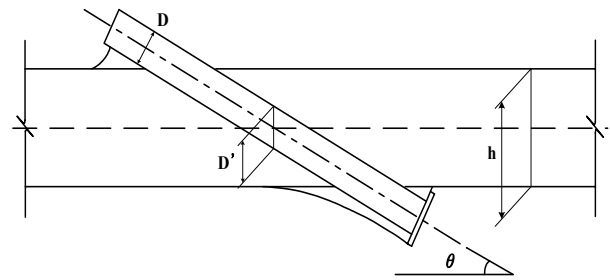


Fig. 7 Outer diameter limit of fixing pipe

같이 나타내며, 여기서 D 는 정착강관 외경, D' 는 외측웹브 관입량, h 는 외측웹브 높이, θ 는 각도를 나타낸다 (Fig. 7 참조). 정착강관의 외경제한은 케이블 장력의 원활한 응력분포를 위해 요구되는 사항이다. D' 는 정착강관이 관통하여 용접되는 외측웹브 단면손실을 최대한으로 제한하기 위해서 외측웹브 높이의 1/2이하로 한다(한국건설기술연구원, 1997). 이것은 용접으로 인한 단면손실 때문에 발생할 수 있는 구조물을 결함을 미리 방지하고 한 것이다.

4.1.2 정착강관 최소내경

정착강관의 최소내경을 결정할 때 케이블 Strand 개수에 따른 단면의 크기뿐만 아니라 활하중에 의한 진동흡수장치(Damper)등의 여유 폭을 고려하여야 한다. 정착강관 내경의 크기는 케이블 전문 제작회사에서 적용하는 크기를 기준으로 참고하는 것이 일반적이며 아직까지는 국내 기술력 부족으로 국외 회사의 제품을 많이 쓰고 있는 실정이다. Table 1에서는 국내 사장교 케이블 제품의 제작에 가장 많이 참여한 Freyssinet사에서 정하고 있는 케이블 정착구조의 내경 기준에 대하여 나타내었다.

4.1.3 정착강관 두께결정 기준

정착강관의 두께에 대해 사장교의 가이드 파이프앵커 형식 설계기준 지침에서는 다음과 같이 언급하고 있다(한국건설기술연구원, 1997).

- 용접 구조물에서는 용접에 의한 구속응력, 용접 변형 등의 영향을 작게 억제하기 위해서 가능한 한 얇은 판 구성이 좋다. 정착강관에 있어서도 같은 단면적이면 직경이 크고 두께가 얇은 쪽이 단면 성능상 좋다. 또한 원심력 주강관의 품질에 있어서도 강관 직경이 크고 두께가 얇은 쪽이 좋으며 이때 제조 가능 범위는 Ø300mm (t=9mm)에서 Ø1200mm (t=65mm)의

Table 1 Inner diameter standards of cable anchor system (mm)

Max Strand	Formwork Tube			
	Inner diameter of fixed end	Thickness of fixed end	Inner diameter of live end	Thickness of live end
12	177.8	6.3	219.1	6.3
19	219.1	6.3	244.5	6.3
27	244.5	6.3	298.5	8
31	244.5	6.3	298.5	8
37	273	6.3	323.9	8
48	323.9	8	368	8
55	323.9	8	368	8
61	355.6	8.8	406.4	8.8
75	368	8.8	445	10
91	419	10	482.6	11
109	431.8	10	530	12.5
127	457.2	10	558.8	12.5
169	530	12.5	635	12.5

범위이다.

- 강관과 정착격벽과의 용접은 전단력이 크게 작용하는 중요한 부위로서 강관두께는 용접상 정착격벽의 판 두께보다 얇게 해서는 안 된다.

4.1.4 정착강관 두께결정 제안식

현재 공용중인 국내 강사장교에 적용된 가이드 파이프 앵커 형식들의 정착강관 두께를 비교해 보면 Table 2와 같다.

하지만 정착강관의 설계에서 중요한 초기 값이라고 할 수 있는 두께를 결정하는 기준은 없는 실정이며 과거의 시공사례를 참고하거나 또는 유한요소해석 결과 값을 이용하여 시산법으로 결정하는 것이 일반적이다.

지금까지의 설계과정을 통해 정착강관의 초기 두께를 결정할 수 있는 식을 제안하였다. 우선 정착강관 압축응력의 겹쳐짐 검토 식 (3)에 포함되는 항목들을 정리하여 나열하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $P_{p1,2}$ 는 응력집중계수, T 는 설계 케이블 장력, A_p 는 정착강관 단면적, f_w 는 주거더 작용에 의한 응력, θ 는 정착강관 각도, t_w 는 외측웹브 두께, t_p 는 정착강관 두께를 나타낸다.

$$P_{p1} \cdot \frac{T}{A_p} + P_{p2} \cdot f_w \cdot \cos^2\theta \cdot \frac{t_w}{t_p} \leq f_a \quad (7)$$

허용응력설계법을 기준으로 하였으며 f_a 는 강재의 허

Table 2 Design of fixing pipe thickness in domestic

Target bridge	Yeongheung	Wando	Incheon
Thickness of fixing pipe (mm)	30, 32	30, 32, 34	26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 44

용응력이다. 초기 정착강관의 두께를 결정하는 단계이기 때문에 응력집중계수들은 모두 1.0으로 가정한다. 정착강관 단면적 A_p 를 식 (6)을 통한 외경제한 범위 내에서 케이블 제작회사에서 규정하는 내경을 참고하여 D_i 와 두께 t_p 의 항목으로 나타내면 식 (8)과 같으며, 정착강관의 외경은 $D_o = (D_i + 2t_p)$ 로 본다.

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2) = t_p \cdot (t_p + D_i) \cdot \pi \quad (8)$$

식 (7)에서 t_p 를 제외한 항목들은 이전의 설계과정을 통해 결정된 값이므로 t_p 를 미지수로 보고 정리하여 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_p^2 + (D_i - \frac{A}{210})t_p - \frac{0.4T + A \cdot D_i}{210} \geq 0 \quad (9)$$

가설시의 주케이블 및 행어의 허용응력을 고려하기 위해 케이블 인장력에 증가계수 1.25를 곱한 값을 반영하였다(도로교설계기준, 2005). 또한, 최근 케이블 정착구조에 많이 제작되는 SM520의 허용응력을 기준으로 하였으며, 같은 항목들을 치환($A = f_w \cdot \cos^2\theta \cdot t_w$)하여 t_p 에 대한 이차부등식으로 간략화 하였다. 양수 해 값을 가이드 파이프앵커 정착강관의 초기 두께 t_p 로 제안한다.

4.2 정착강관 축의 직각방향 하중

정착강관 축의 직각방향하중 작용도는 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다.

여기서 L 은 정착강관 상부 노출길이, A_1 은 하중 작용점, A_2 는 정착강관과 상부플랜지 교차점, $P_{lateral}$ 은 축의 직각방향하중을 나타낸다. 정착강관의 상단 끝 부분에 작용하는 하중으로 인하여 케이블의 진동을 야기하는데 교량구조의 변형으로 생기는 하중, 시공하중으로 인한 케이블 새그의 변화, 풍하중 혹은 교통하중, 온도변화 차이로 발생하는 하중이 있으며 케이블 자체의 진동으로도 하

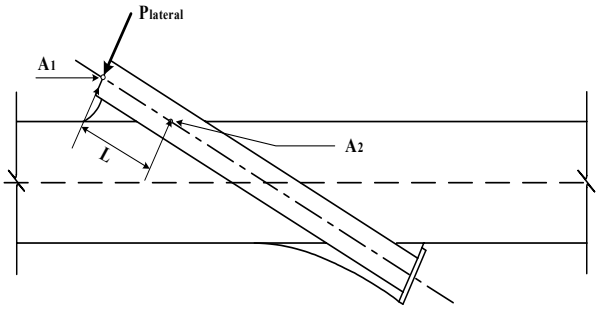


Fig. 8 Lateral load to the axis of fixing pipe

중이 발생한다(CEB-FIP, 2005).

이러한 하중으로 발생하는 케이블 진동각의 편차를 $\alpha = \pm 1.4^\circ (\pm 25 \text{ mrad})$ 이내로 유지하는 것이 합리적이라고 제안하고 있으며 케이블 장력의 2.5%를 작용하중으로 보고 정착강관에 대하여 설계를 실시한다(PTI, 2005). 이에 따른 전단응력과 휨응력에 대한 검토 식은 (10), (11)과 같이 나타낼 수 있다.

- 축의 직각방향 하중에 의한 전단응력

$$v_{lateral} = \frac{P_{lateral}}{A_p} \leq v_a \quad (10)$$

여기서 $P_{lateral}$ 은 정착강관 축의 직각방향하중, A_p 는 정착강관 단면적, v_a 는 허용전단응력을 나타낸다.

- 축의 직각방향 하중에 의한 휨응력

$$\sigma_{lateral} = \frac{M_{lateral}}{I_{x,p}} \cdot y \leq \sigma_a \quad (11)$$

여기서 $M_{lateral}$ 는 정착강관 축의 직각방향모멘트(= $P_{lateral} \cdot L$), $I_{x,p}$ 는 정착강관 단면이차모멘트, y 는 정착강관 외측반경, σ_a 는 허용휨응력을 나타낸다.

4.3 냉간굽힘허용치

평판을 이용하여 원형강관을 제작하게 되면 곡률 도입 시 강재에 잔류응력이 발생하게 된다. 곡률 도입 시 발생하는 잔류응력피해를 최소화하기 위하여 강관 내측반경이 강관두께의 5배 이상이 되도록 식 (12)와 같이 규정

하고 있다(일본도로교시방서, 2002). 여기서 r_{inner} 는 정착강관 내측반경, t_p 는 정착강관 두께를 나타낸다.

$$\frac{r_{inner}}{t_p} \geq 5 \quad (12)$$

4.4 가이드 파이프앵커 정착강관 보완설계과정

기존 설계과정에 추가적으로 고려해야 할 사항들을 국내외 설계기준을 참고하여 Fig. 9와 같이 정리하였다.

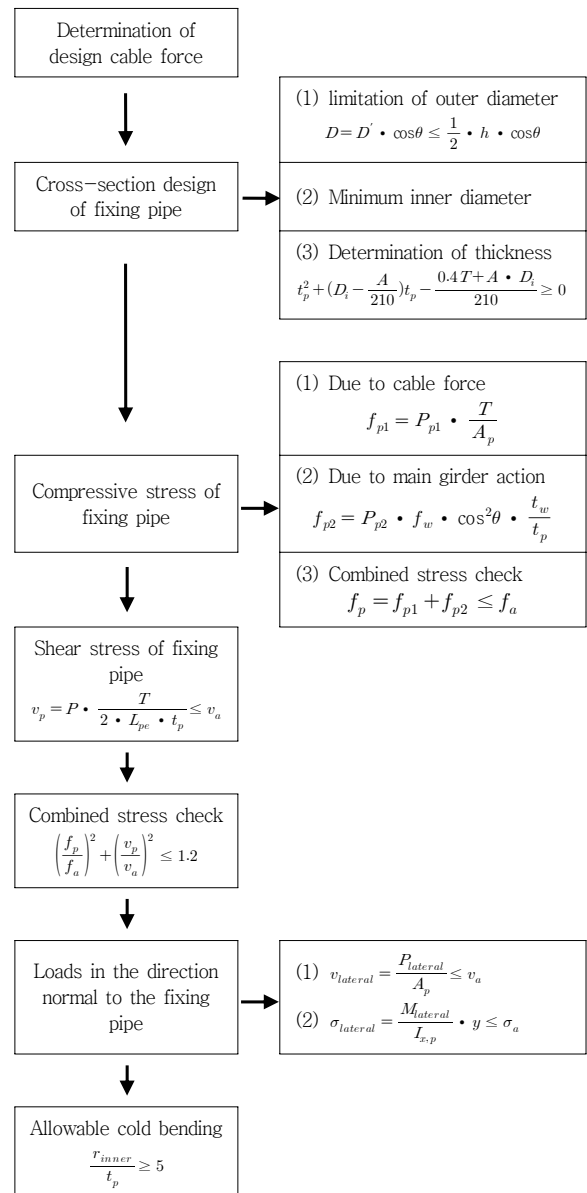


Fig. 9 Complement design process of fixing pipe

5. 가이드 파이프앵커 정착강관 설계 적용

5.1 대상교량 개요

대상교량은 2개의 다이아몬드형 강재 주탑을 갖는 3경간 연속 강사장교로 구성되어 있으며 순수국내기술로 설계된 최초의 강사장교이다. 대상교량의 주요제원은 Table 3과 같으며 종단면도는 Fig. 10에 나타내었다.

5.2 가이드 파이프앵커 정착강관 제원 및 선정

케이블 형식은 MS타입을 적용하였다. 배치간격은 경관성을 고려하고 102ton으로 강거더 세그먼트 중량을 유지하기 위해 12m간격으로 일정하게 하였다. 정착구조는 C1~C16를 기준으로 대칭이며 정착구조의 위치, 케이블 장력의 크기, 사용 강선 수에 따라 총 5개를 적용대상으로 선정하였다. 정착강관의 주요제원은 Table 4와 같다.

5.3 정착강관 단면설정

보완 설계과정을 토대로 적용하였으며 주요제원들은 기존 값과 동일하게 하였다. 식 (6)을 통한 외경제한과 최소내경, 제안식에 들어갈 항목들을 Table 5에 나타내었다.

식 (9)의 제안식을 통하여 Table 5의 값들을 대입, 정착강관 초기두께를 값을 얻을 수 있었다. 시공성을 고려

Table 3 Major specifications of the target bridge

Bridge type	3 span continuous steel cable-stayed bridge
Span, width	460m (110m+240m+110m), 17.6m
Steel girder	Trapezoidal 3cell steel deck
Pylon	Diamond-shaped steel pylon (77.4m)
Cable	2-plane array (total 64ea), Semi-Harp Type
Design method	Allowable stress method(DB-24, DL-24)

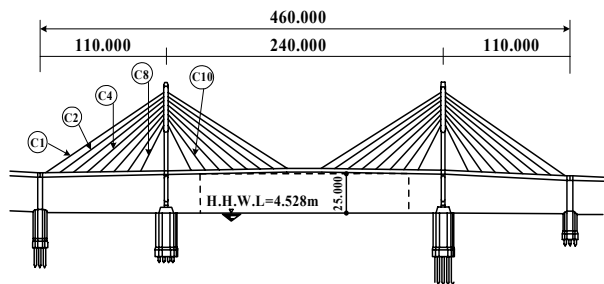


Fig. 10 Longitudinal cross-section of the bridge

하여 결정된 정착강관의 단면설정요소들은 Table 6과 같이 나타낼 수 있다.

5.4 정착강관 보완설계절차 검토

제안식을 통해 결정된 설계요소들을 토대로 이후의 정착강관 보완설계에 적용하여 정착강관의 압축응력, 전단응력, 합성응력 및 축의 직각방향하중, 냉간굽힘허용치의 결과 값을 Table 7과 같이 산출하였다. 설계결과 각 항목에서 제시하고 있는 기준치를 모두 만족하였다.

5.5 정착강관 기존설계와 보완설계 비교

5.5.1 정착강관 두께

정착강관의 두께를 합리적으로 결정하는 것이 초기 설

Table 4 Major specifications of the fixing pipe

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10
Design force (ton)	580(506)	506	274	274	232
Degree (Deg)	26.22	27.83	32.42	56.87	45.42
Inner diameter (mm)	464	464	370	370	322
Inner diameter (mm)	400	400	310	310	262
Thickness (mm)	32	32	30	30	30
Length (mm)	4537.5	4276.9	3686.6	2296.9	2951.5

Table 5 Determining the initial thickness of the fixing pipe

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10
Design force (ton)	4961.50	4961.50	2687.57	2687.57	2273.93
Outer web stress (MPa)	18.42	61.05	97.06	69.38	75.23
Degree of fixing pipe (Deg)	26.2	27.83	32.42	56.87	45.42
Thickness of outer web (mm)	14	14	14	12	12
Diameter limit of fixing pipe (mm)	636.8	637.8	599.2	388.0	498.2
Standard inner diameter at live end (mm)	368	368	298.5	298.5	298.5
Allowable stress (MPa)	210	210	210	210	210

Table 6 Major specifications of fixing pipe due to the suggestion

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10
Inner diameter (mm)	418.0	422.0	340.5	334.5	330.5
Outer diameter (mm)	368.0	368.0	298.5	298.5	298.5
Thickness (mm)	25	27	21	18	16

Table 7 Results of fixing pipe design due to the suggestion

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10	limit
Compressive stress due to cable force	160.74	148.08	127.50	150.16	143.84	-
Compressive stress due to main girder action	8.30	24.76	46.11	13.82	27.80	-
Superpositon of compressive stress	169.04	172.84	173.61	163.98	171.64	210
Shear stress of fixing pipe	24.40	23.94	18.85	34.31	29.21	120
Combined stress check	0.6893	0.7172	0.7081	0.6915	0.7273	1.2
Load in the direction normal to the fixing pipe (shear)	5.02	4.63	3.98	4.69	4.50	120
Load in the direction normal to the fixing pipe (bending)	78.36	67.96	62.23	45.76	49.50	210
Allowable cold bending	7.36	6.81	7.11	8.29	9.33	5

Table 8 Comparison thickness of the fixing pipe

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10
Target bridge (mm)	32	32	30	30	30
Proposed method (mm)	25	27	21	18	16
Reduction ratio (%)	22	16	30	40	47

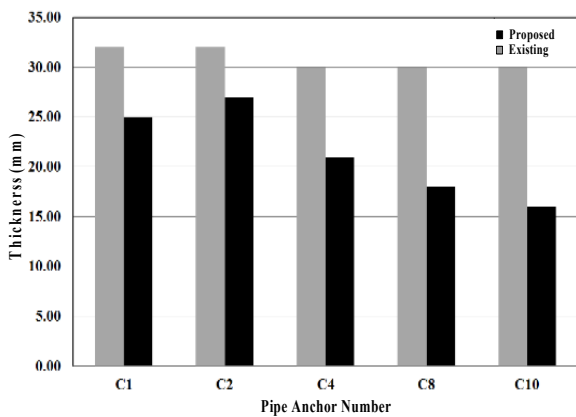


Fig. 11 Comparison thickness of the fixing pipe

계에서 가장 중요한 요소이며 이후의 설계과정에서도 지속적으로 영향을 미치게 된다. 대상교량의 기존 정착강관 두께는 32mm, 30mm로 제작되었다. 제안식을 통하여 16mm부터 27mm까지 두께를 결정하였으며 기존설계보다 최대 47%까지 두께를 감소시킬 수 있었다. 이를 통해 제작 난이도 및 강재량, 나아가서는 공사비를 절감할 수 있는 요인이 된다. Table 8과 Fig. 11에 관련내용을 나타내었다.

Table 9 Comparison composite stress review of the fixing pipe

Cable No.	C 1	C 2	C 4	C 8	C 10
Existing composite stress factor	0.5865	0.7267	0.5113	0.3689	0.3784
composite stress factor through proposed method	0.6893	0.7172	0.7081	0.6915	0.7273
limit of composite stress factor	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Increase ratio (%)	17	-1	38	87	92

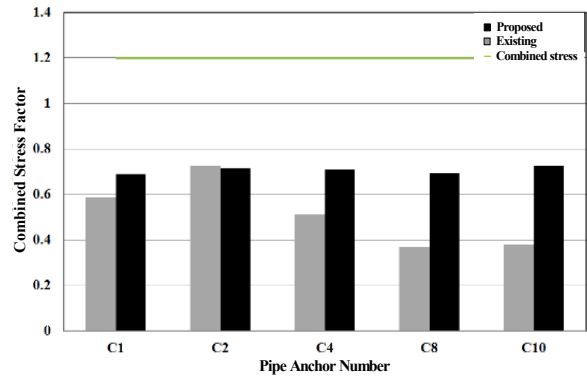


Fig. 12 Comparison composite stress review of the fixing pipe

5.5.2 정착강관 합성응력

기존 정착강관의 합성응력검토 결과 C8에서 최소 0.3689, C2에서 최대 0.7267의 값이 산출되었다. 제안 두께를 통한 검토에서는 C1에서 최소 0.6893, C10에서 최대 0.7273의 값이 나오므로써 기존보다 최대 92%까지 합성응력계수가 증가하였다.

모두 합성응력계수 기준치 값을 만족하였지만 기존설계에서는 C2 정착구조를 제외하고는 평균 0.4613의 값으로 허용치의 38%정도의 수치를 보였다. 이는 설계에 대한 신뢰성이 부족하여 강재의 성능을 충분히 활용하지 못하고 과다설계를 하였다고 볼 수 있다. 제안설계의 합성응력계수는 평균 0.7067의 값으로 허용치인 1.2의 59%에 달하는 수치를 나타내어 기존보다 강재 성능을 충분히 활용, 합리적인 설계를 하였다. Fig. 12와 Table 9에서 이와 관련된 내용을 나타내었다.

6. 결론

본 연구에서는 사장교 정착구조 가이드 파이프앵커 형식 중 케이블 장력을 직접적으로 받는 정착강관의 이론적 설계에 대하여 살펴보았다. 정착강관의 두께 결정식을 제안하고 설계과정을 추가보완, 국내의 기존교량 설계와 비

교하였다. 이러한 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 정착강관의 설계에서 추가적으로 고려해야 할 사항들이라고 판단되는 내용들을 국내외 설계기준에 따라 정리, 보완 설계흐름을 제시하였다.
- (2) 제안식에 의해 결정된 초기 두께를 토대로 보완 설계흐름에 적용, 검토결과 모두 허용치 이내의 값을 만족하였다. 기존 설계와 비교결과 정착강관의 두께는 최대 47% 감소하였으며 합성응력계수는 최대 92% 증가하였다.
- (3) 가이드 파이프앵커 형식 정착강관의 두께 제안식 및 보완 설계를 통하여 과거 설계 사례나 유한요소해석에 의존하지 않고 엔지니어가 간편하고 합리적으로 안전성을 판단하여 초기 설계가 가능하도록 하였다.
- (4) 추후 유한요소해석과의 비교검토를 통하여 이론적 설계와 유한요소해석의 상호보완을 통한 정착구조 설계의 타당성을 확인하는 절차가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 교량설계핵심기술연구단, 도로교설계기준해설, 2008.
2. 공병승, 박지호, 한정진, "사장교의 케이블 정착구에 관한 구

- 조해석 연구", 한국강구조학회 학술발표논문집, 2006, pp.638-642.
3. 공병승, 홍남식, "해상 사장교의 Pipe형 케이블 정착구에 관한 구조해석", 한국해양공학회지, 19권, 5호, 2005, pp.34-42.
4. 박지호, 사장교의 보강형 케이블 정착구 형식별 응력해석 연구, 동서대학교 대학원 석사학위논문, 2007.
5. 방명석, 박영환, 김영진, 안일상, 박종섭, 장대교량의 설계 및 시공에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1995.
6. 윤성우, Pipe Anchor 형식의 사장교 보강형 케이블 정착구의 피로강도 수치해석 연구, 동서대학교 대학원 석사학위논문, 2005.
7. 일본도로협회, 도로교시방서·동해설(II.강교편), 2002.
8. 한국건설기술연구원, 사장교의 파이프 앵커형식 설계기준 지침, 1997.
9. 한국전력공사 제1건설처, 영흥도 화력발전소 진입도로 및 교량(2개소) 설계기술 용역 구조 및 수리계산서(I), 1995.
10. 한진중공업, 유신코퍼레이션, 한국종합기술개발공사, 강사장교-기술과 변천, 도서출판과학기술, 2003.
11. 한진중공업, 유신코퍼레이션, 한국종합기술개발공사, 사장교의 기본계획 설계법, 도서출판과학기술, 2003.
12. Incheon Bridge Project, Design Package No. 16 Cable-Stayed Bridge, 2006.
13. PTI, Recommendations for stay cable design, testing and installation, 5th Edition, 2007.
14. CEB-FIP, Acceptance of stay cable systems using prestressing steels, 2005.

(접수일자 : 2011년 4월 27일)

(수정일자 : 2011년 5월 30일)

(심사완료일자 : 2011년 6월 7일)

요 지

최근 들어 인천대교 등 다수의 사장교가 공용 또는 시공 중에 있으며 이러한 시점에서 국내 사장교의 기술력을 살펴본다면 시공기술은 눈에 띄게 발전하였지만 설계기술은 아직 국외 의존도가 매우 높은 실정이다. 사장교 핵심설계요소들 중 케이블 정착구조는 강력한 케이블 장력의 작용으로 국부적인 응력집중현상이 발생하므로 안전성 확보를 위해서는 반드시 국부상세해석에 의한 설계가 요구된다. 하지만 명확한 설계기준이나 이론적 설계 없이 유한요소해석에만 의존하여 설계하는 실정이며 정착구조의 이론적 기본메커니즘을 이해하지 못한 채 유한요소해석 결과에만 의존, 엔지니어의 판단력이 흐려지는 부작용을 가져오고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 케이블 정착구조 가이드 파이프앵커 형식 중 정착강관의 기존 이론적인 설계절차를 나타내고 추가적으로 고려해야 할 사항들을 국내외 설계기준에 따라 정리하고 보완 설계절차를 제시하였다.

핵심 용어 : 사장교, 가이드 파이프앵커 정착구조, 정착강관, 설계절차