

고성능 강재의 사장교 적용성에 대한 연구

A Study for Applicability of High Performance Steel to Cable Stayed Bridge



곽 태 영¹⁾



곽 성 태²⁾

1. 개요
2. 고성능강재의 특징
3. 국내의 개발현황
4. 사장교 부재별 구조적 특징
5. 비교 및 분석

1. 개요

사장교와 현수교 같은 특수교량 건설은 토목 기술력의 향상과 더불어 건설재료의 발달이 함께 수반된 결과이다. 장기간화에 따른 가설 편의성 증대와 교량의 수명과 직결되는 내구성 확보와 유지관리에 대한 인식 향상은 고성능, 고기능, 고효율의 건설재료의 요구로 이어지고 있다. 특히 1000m급 사장교나 2000m급 현수교 등 초장대교 자중감소를 위한 신소재의 적용이 필수적인 요건이다.

세계적으로 특수교량의 고기능성 강재의 사용은 일반화되고 있으며, 1998년 4월에 개통된 明石海峡大橋는 세계 최장의 현수교로서, 주탑부

46,200ton, 보강형 89,300ton 등 총 320,000ton의 강재가 사용되었다. 이 중 주탑과 보강형에는 SM570급의 고강도 강재가 사용되었다.

현재 가설 중인 세계 6위 규모의 '제2인천대교'에서 TMCP 강재가 사용될 예정이다. 고부가가치 후판 2만 4000톤, 포스코가 개발한 교량 난간용 강재 3000톤을 비롯해 모두 5만여 톤의 강재가 사용되며, 이중 교량용 TMCP강 소요량은 3000톤에 이를 것으로 계획되었다.

미국, 일본 등 고성능 강재에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 실교량에 대한 적용이 점차 증가되고 있다. 국내에서도 고성능강재(HSB, High Performance Steel for Bridge)에 대한 연구가 2007년 양산을 목표로 진행되고 있다.

본 연구에서는 고성능강재의 특성을 분석하고,

1) 구조본부 과장(piazzolla@yooshin.co.kr)

2) 구조본부 과장(y12937@yooshin.co.kr)

국내외 연구진행 및 적용사례를 조사한다. 그리고 효율적으로 고성능 강재를 적용하기 위하여 사장교 구조적 특성을 분석한다.

이러한 분석결과를 바탕으로 ‘서해대교’를 기본 모델로 하여 실제 설계방법과 동일한 과정을 통하여 비교모델을 작성하고, 설계를 수행하고 이에 대한 결과를 비교하여 고성능 강재의 사장교 적용성을 분석한다.

2. 고성능 강재의 특징

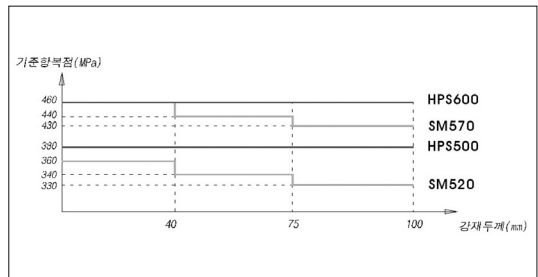
기존의 고강도 강재는 높은 강도를 갖지만 인성이 낮아 피로균열 및 취성파괴가 일어나기 쉽고, 제작시 성형 및 용접이 까다로워 시공성이 떨어지는 단점이 있었다. 이를 강재제작 기술로 보완하여 강도, 내구성, 제작 및 용접성을 개선시킨 새로운 재료가 고성능 강재이다.

2.1 고강도 및 일정항복강(High Strength & Constant Yield Point)

일반적으로 490MPa이상 980MPa 이하의 인장 강도를 갖는 용접구조용강을 지칭하지만, 최근

에는 인장강도 570MPa 이상의 강재를 뜻한다. 국내의 경우는 570MPa 급의 용접구조용 강재 SM570이 생산되고 있으나, 그 이상의 강재는 규정되어 있지 않다.

고강도강을 사용하면 높은 허용응력을 가질 수 있으므로, 판의 두께를 감소시킬 수 있으므로 자중을 감소시켜 전체적인 설계의 합리성을 증대시킬 수 있다. 또한 제작의 편의성을 증대되므로 안정된 제작 품질을 얻을 수 있다(그림 2.1).



〈그림 2.1〉 판 두께에 따른 항복강도 변화

일반강의 경우는 판의 두께가 증가되면, 항복강도가 감소하기 때문에 판의 두께가 40mm를 초과할 경우에는 감소된 허용응력을 적용하게 되어 있다. 하지만, HSB의 경우는 판의 두께가 40mm를 초과하더라도 동일한 항복강도를 유지할 수 있게 하여 허용응력의 손실이 없도록 성능을 개선하였다(표 2.1).

〈표 2.1〉 HSB의 인장강도 및 허용응력

강종	SM520			SM570			HSB500			HSB600		
강재두께	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100
인장강도(MPa)	520~650			570~730			500 이상			600 이상		
허용응력(MPa)	210	200	195	260	250	245	220	220	220	260	260	260

2.2 고인성 및 저예열강(Excellent Toughness & Low Preheating)

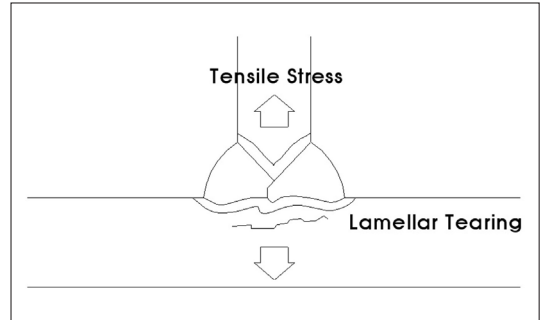
일반강의 경우 가공 및 조립에 관하여 제한이 많다. 냉간휨가공시 인성저하를 방지하기 위하여 15t 이상의 내측휨반경 제약이 있으며, 취성파괴를 지양하기 위하여 한냉지역의 사용이 제한되어 왔다.

또한 고강도 강재(570MPa이상)는 강재 제작시 강도를 높이기 위하여 합금원소를 첨가하고 별도의 열처리 과정을 거쳐야 하고, 구조물 제작시 용접부에 결함을 예방하기 위하여 용접전 열처리를 시행하여야만 했다. 이에 따라 제조원가의 상승과 공사비의 상승 및 시공시 혼란이 가중되었다.

HSB는 냉간 휨가공시 내측휨 반경이 7t 이상 필요하므로 제약조건이 감소하며, 한냉지역에도 적용이 가능하다. 또한 기존의 고강도 강재의 경우 최소 예열온도가 100℃ 이상으로 시공상 제약이 많았으나, 용접균열감수성지수 조정을 통해 예열온도를 대폭 낮출 수 있다.

2.3 대입열대응 및 내라멜라테어링강 (Large Heat-input Welding & Lamellar-tearing Resistance)

일반강의 경우 용접입열량이 과대해지면 용접 비드 부근의 인성이 저하하고 조질이 흐트러져 강도가 저하될 염려가 있기 때문에 최대입열량 등에 제한이 있다. HSB의 경우는 대입열용접을 실시하더라도 적절한 용접품질을 얻을 수 있도록 개선하였다.



〈그림 2.2〉 라멜라테어링 개념도

또한, 현수교 또는 사장교의 주탑 같이 구조적, 기능적 및 미적 관심으로부터 관두께 방향으로 높은 인장응력을 받도록 용접된 부재들이 많이 적용되고 있다. 이러한 부재들은 용접 후 〈그림 2.2〉와 같이 라멜라테어링의 위험이 발생한다. HSB는 K35 동등 이상의 품질을 보증하므로 구조물의 내구성 향상에 큰 도움이 된다.

3. 국내외 개발현황

3.1 미국 현황

고성능강재의 개발은 1992년 미국의 FHWA(Federal Highway Administration), AISI (American Iron and Steel Institute) 및 U.S. Navy에 의하여 시작되었다. 여러 가지 재료 개발 및 기술검토를 거쳐 1997년 HPS 70W가 ASTM에 규격화 되었으며, HPS50W 및 HPS70W는 상용화 되었고, HPS100은 개발중에 있다. 현재 미국 내에는 150여 개의 HPS를 적용한 교량이 개통되었고, 100여 개 이상의 교량이 설계 중이다.

HPS50W, HPS70W는 인성을 향상시키고 저온에서도 연성이 유지되도록 하고, 피로에 대해서도 우수한 저항성을 나타낸다. 각각의 재료의 물성치는 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications(2004)에 포함되어 있으며, <표 3.1> 피로에 대한 규정도 적용할 수 있도록 실험을 통한 검증을 완료하였다.

<표 3.1> HPS 재료성질 (미국)

구 분	HPS 50W	HPS 70W
항복 강도(MPa)	345	485
인장강도(MPa)	485.	(586-760)

현재 미국 내에서 전체적으로 HPS를 사용한 교량의 건설은 증가하고 있다. 1997년 12월 Bebraska의 Snyder에서 처음 개통한 이후로 전체적으로 150개 이상의 교량에서 HPS가 적용되었다. 이는 현재 설계나 제작 또는 완공된 경우를 포함한 수치이다. 증가 추세에 있다. 뉴욕 도로관리국에서는 Berkshire Thruway교(그림 3.1)와 같은 단순교에 HPS-70W를 사용하였고, I-90, Exit 54 interchange의 경우는 2경간 연속교량을 보강재 및 연결재를 포함한 전부재에 걸쳐 HPS-70W를 사용하였다.

도로관리국은 HPS-70W를 기존 일반강재(conventional steels)에 대한 획기적인 대안으로 고려하고 있다. 항복강도의 40% 향상은 교량의 연장을 늘리고, 형고를 저감시켜 선형이나 접속도로의 변경 없이 형하 여유고를 향상시킬 수 있다고 예상하고 있다. 현재 HPS 적용한 교량으로 한 스펀의 길이가 81m인 단경간 교량이 건설될 계획되고 있다. 또한, 인성과 내후성의 향상은 교량의 내구성 증진에 큰 영향을 미치므로 추후 많은 교량에

적용될 것으로 예측된다.

미국의 HPS의 특징은 일본의 고성능 강재 BHS500, BHS700과 달리 내후성을 강재를 기본으로 하여 교량의 사용성 증진에 주안점을 두고 있다.



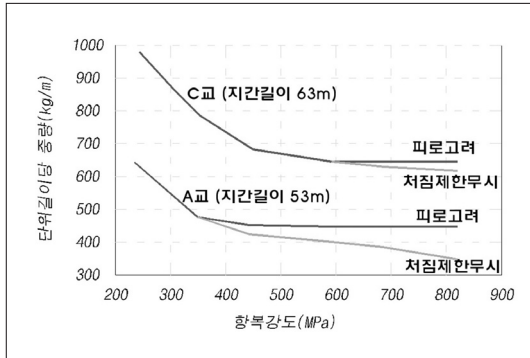
<그림 3.1> Berkshire Thruway in New York

3.2 일본 현황

일본의 고성능 강재는 항복강도 500MPa 및 700MPa의 2종류로 각각 BHS500, BHS700으로 규정하고 있다. 여기에 내후성능을 추가한 강재는 BHS500W, BHS700W으로 하였다. BHS500은 수십미터 지간의 중소교량을 대상으로한 강재로서, 일반적인 도로교에서 60m 급 소수주형교를 대상으로 시험적인 설계를 수행한 결과 500MPa의 항복점이면 충분한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 예상되었다.

교량제작의 측면에서 예열은 제작 비용에 큰 영향을 미치므로 BHS500은 정제도 및 TMCP화에 의해 낮은 Pcm화 및 낮은 Ceq화를 달성하여 예열생략을 목표로 하고 있으며, BHS700은 예열온도를 50°C 이상으로 하고 있다. 냉간가공 및 냉간 가공은 반경대 강재두께의 비를 7이상으로 목표하고 있다. 이는 강재내 질소가 대폭적으로 감소된 것

과 관계가 있다. 또한 교량 각종 이음부에 대한 용접검토에 의하면 강재에 대해 10kJ/mm를 보증할 수 있으면 대입열용접에 대한 대응이 가능한 것으로 밝혀졌으므로 용접금속 인성값에 대해서도 주의 를 기울이고 있다.



〈그림 3.2〉 항복강도와 강재중량 관계

최근 일본 내에서는 유지관리를 최소화 하기 위하여 무도장 교량 시공이 지속적으로 증가하고 있다. 그러므로 BHS강재에서는 JIS에서 규정된

SMA정도의 내후성을 갖는 강재를 별도로 고려하고 있다.

BHS500에 대해서는 합금원소를 첨가하는 것에 의해 내후성을 부여하나, BHS700은 강도를 발현시키기 위해서 내후성에 필요한 합금원소를 다량 포함하고 있으므로 그대로 일반적인 내후성 강재의 성능을 갖게 된다.

明石대교에서 사용된 예열저감형 HT780을 기초로 BHS700은 설계가 진행중이며 BHS500에서 실시한 각종 특성검토 등의 응용 기술에 대해서는 검토가 진행중에 있다.

3.3 국내 특수강재 개발현황

고성능 강재 대한 설계기준의 수립이 완료되었다. 도로교 설계기준을 기본으로 하여 고성능 강재 (HSB500, HSB600)에 대한 설계기준을 수록한다.

〈표 3.2〉 판두께에 따른 기준항복점 및 인장강도

강종	SM520			SM570			HSB500			HSB600		
강재두께	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100	≤40	40< ≤75	75< ≤100
기준항복점(MPa)	360	340	330	460	440	430	380	380	380	460	460	460
인장강도(MPa)	520~650			570~730			500 이상			600 이상		

구조용 강재는 허용 축방향인장응력 및 허용휨인장응력은 〈표 3.3〉에 표시된 값으로 한다.

HSB500의 경우는 SM520 강재와 비교할 경우 40mm 이하의 부재에 HSB500을 적용할 경우

〈표 3.3〉 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력 (MPa)

부재두께	SM520	SM570	HSB500	HSB600
t ≤ 40	210	260	220	260
40 < t ≤ 75	200	250		
75 < t ≤ 100	195	245		

5% 정도의 허용응력 향상효과가 있으며 40mm 이상의 강재 적용시 10% 정도 허용응력이 높아진다.

HSB600의 경우는 40mm 이하의 부재에서는

SM570과 동일한 허용응력 성능을 확보하고 있으나, 40mm 이상의 부재에서는 5% 정도의 허용응력이 향상된다. 허용전단응력도 동일한 향상효과를 나타낸다<표 3.4>.

<표 3.4> 허용전단응력 (MPa)

부재두께	SM520	SM570	HSB500	HSB600
$t \leq 40$	120	150	130	150
$40 < t \leq 75$	115	145		
$75 < t \leq 100$	110	140		

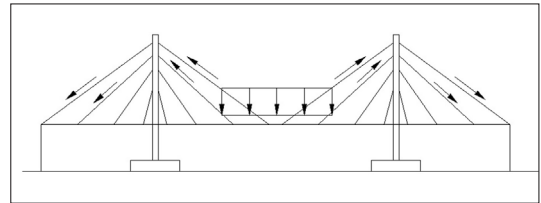
4. 사장교 부재별 구조적 특징

4.1 보강형

사장교의 보강형은 활하중이 중앙경간에 재하되면 보강형이 휨강성이 작으므로 최상단케이블(앵커케이블)을 따라서 측경간의 지점으로 힘이 전달되고, 케이블의 측방향 강성에 의해 주탑정부의 변위가 구속되어 강성을 확보하게 되며 앵커케이블의 강성이 교량 전체의 강성에 크게 기여하고 있다.

이러한 구조적인 거동을 Back-Stay 효과라 하며, 이 효과에 의하여 단부 케이블에 의하여 교량 단부에 부반력이 발생하기도 한다.

사장교의 중앙경간의 경우는 Back-Stay 효과에 의하여 활하중에 의하여 발생하는 단면력이 제한된다. 측경간에 활하중 재하시 케이블을 통하여 중앙경간으로 힘이 전달되지만 교축방향의 변위 제어 상대적으로 적어 Back-Stay효과가 상대적으로 작다. 따라서 활하중에 의하여 상대적으로 큰 단면력이 발생한다.

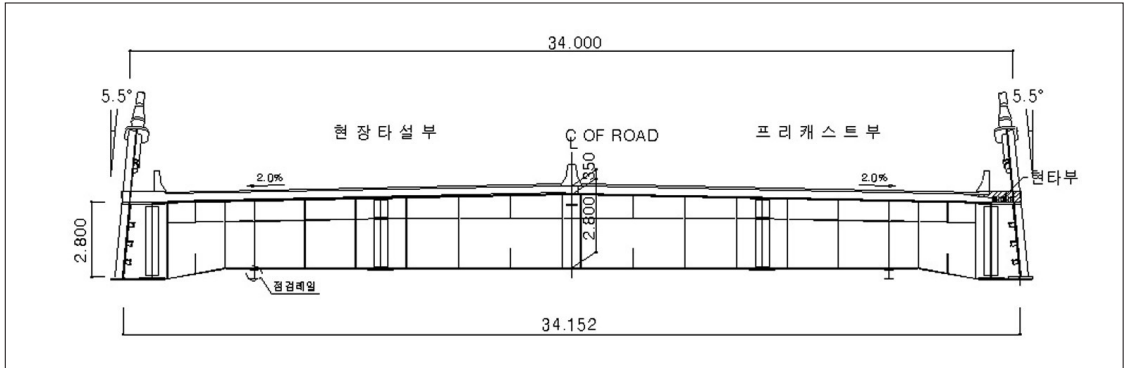


<그림 4.1> Back-Stay 효과

또한 케이블의 압축력에 의하여 주탑을 중심으로 높은 앞축력이 도입된다. 따라서 사장교 보강형의 재질은 경제성과 중앙경간에 따라 결정되는 것이 보편적이다.

콘크리트 보강형은 주로 200~300m의 비교적 적은 단면력이 생기는 중소규모의 사장교에서 효율적이며 400m 이상의 중급 사장교 및 초장대 사장교의 경우는 자중을 감소시키는 것이 효과적 이므로 합성형 또는 강상판의 보강형이 채택되고 있다.

중간규모의 중앙경간 500m급 사장교에 유리한 보강형의 형태인 Edge Girder 형식의 합성형 보강형인 경우 상하부 플랜지에 40mm 이상의 후판이 사용되는 경우가 많다.



〈그림 4.2〉 합성형 보강형 단면도

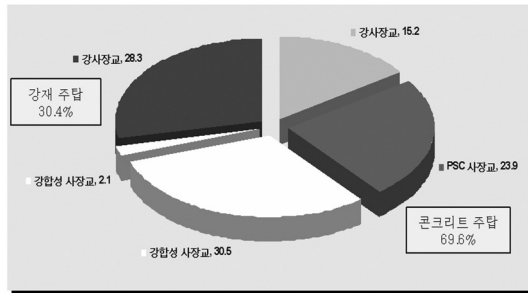
4.2 주탑

일반적으로 자중이 증가되고 단면이 커질수록 주탑에 큰 단면력이 발생하여 주탑단면이 증가되고 주탑기초의 규모도 과다해지므로 전체공사비를 증가시키는 요인이 된다. 케이블 교량에서 기초 공사비가 큰 부분을 차지하고 있기 때문에 기본계획 단계부터 면밀한 검토가 요구된다.

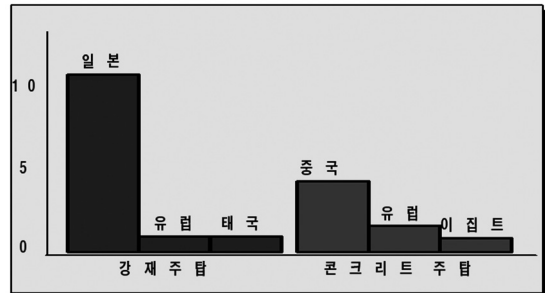
최근 국내에서 설계되는 사장교는 콘크리트 주탑이 다수를 차지하고 있다. 대부분은 경제적인 이유에 의하여 선택되는 경우가 많다. 일반적으로 콘크리트 주탑이 강재 주탑보다 저렴하다는 이유이다. 그러나, 사장교 주탑 재질의 선택은 경제성 뿐만 아니라 복합적인 여건을 고려해야 한다.

일반적으로 콘크리트 주탑이 국가별 사장교 주탑의 재질 현황을 보면 일본에서는 강재주탑이 월등히 많이 차지하고 중국이나 유럽에서는 콘크리트 주탑의 채택이 많다. 일본의 경우는 국가 정책적으로 강재의 사용을 장려한 이유도 있지만, 중국이나 유럽은 내륙에 시공되어 대블럭 시공이 어렵거나, 지진에 대하여 안전한 지역의 교량이 가설되어 주탑의 자중이 하부규모에 큰 영향을 미치지 않는 콘크리트 주탑의 채택이 다수를 차지하고 있다.

주탑은 케이블로부터 전달된 하중을 기초로 전달하는 역할을 하므로 하단부에 가장 큰 압축력과 전단력 그리고 모멘트가 발생된다. 따라서 강재주탑은 하단부에 높은 강성이 필요하므로 일반적으로 40mm 이상의 후판이 요구된다.



〈그림 4.3〉 재질별 주탑 분포



〈그림 4.4〉 국가별 현황

4.3 기타부재

사장교는 보강형, 케이블 및 주탑 등 각각의 구조요소 자체에도 큰 하중이 발생하므로 이를 연결하는 부재에 단면력이 집중된다. 케이블 정착부와 같은 구조요소에는 <그림 3.9>와 같이 국부적인 응력집중 현상이 발생되어 40mm 이상의 후판이 요구된다.

특히 사장교에서는 케이블 연결부는 구조적으로도 매우 중요한 부재이다. 따라서 정밀한 검토와 우수한 강재의 적용이 필요하다.

여기에 HPS를 사용하면 집중하중의 영향을 넓게 분포시켜 구조적 성능을 개선할 수 있다.

케이블 정착부와 같이 집중하중을 받는 부재에 허용응력이 높은 고성능 강재를 사용하여 강재의 두께를 감소시키면 발생 응력 상승하지만, 보강재가 부담하는 응력도 상대적으로 함께 응력 집중도를 감소시켜 부재의 구조적 성능을 향상시킬 수 있다.

5. 비교 및 분석

5.1 비교 개요

본 연구에서는 국내외의 사장교 프로젝트에 적용성이 높은 중급규모의 합성형 사장교인 서해대교를 기본모델 정한다. 기 시공된 서해대교 주탑의 재질은 콘크리트이므로 고성능 강재의 적용 효과를 분석하기 위하여 콘크리트 주탑을 강재주탑으로 변경하여 일반강재가 사용된 비교모델 1과 고성능강재(HSB)가 사용된 비교모델 2를 작성하고 비교한다.

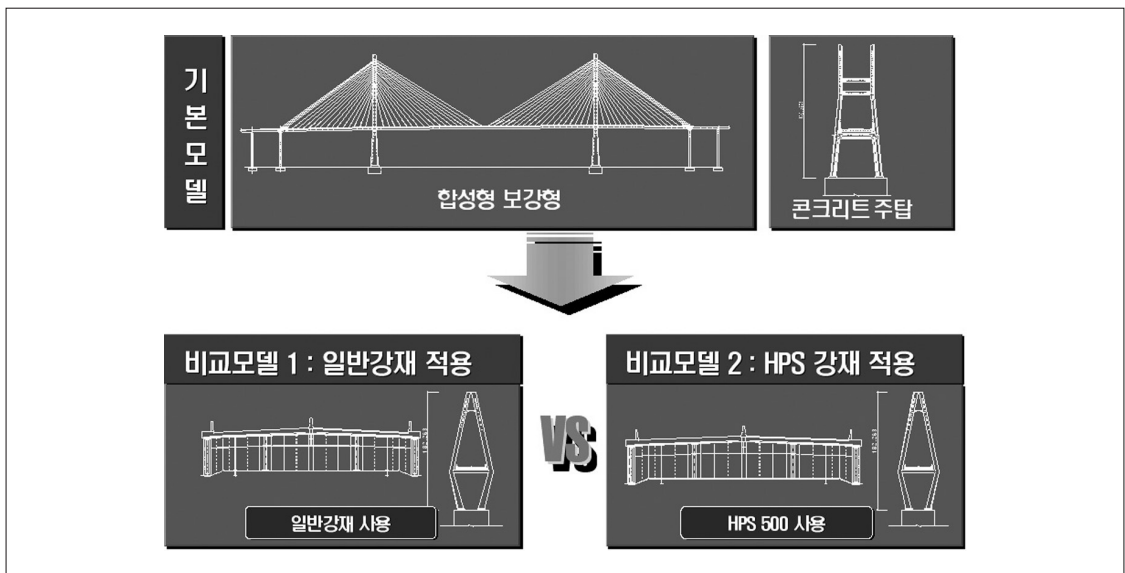
비교모델 1 : 일반 사장교

(일반강재 보강형 + 일반강재 주탑)

비교모델 2 : HSB사장교

(HSB 보강형 + HSB 주탑)

케이블의 경간배치는 기존의 서해대교와 동일하



<그림. 5.1> 기본모델 VS 비교모델 1, 2

〈표 5.1〉 단면제원

Seg	일반강재(SM520)				
	t1	B1	web t	t2	B2
1	50	500	26	60	920
2	50	500	22	50	860
3	50	1300	26	50	860
4	50	500	22	50	860

Seg	고성능강재 (HSB500)				
	t1	B1	web t	t2	B2
1	48	480	24	58	860
2	48	460	20	48	800
3	48	1260	24	48	800
4	48	460	24	48	800

게 한다. 그러나, 주탑의 형상변화로 인하여 횡방향으로 케이블의 각도가 경사지게 되므로 보강형과 가로보의 형상을 변경하였다. 케이블의 각도와 정착부는 평행이 되게 되어야 하므로, 합성형 사장교의 특성을 최대한 유지하면서 효율적인 단면을 위하여 거더를 경사지게 배치하였다.

본 비교설계는 SM520를 사용한 사장교와 SM520 강재에 상응하는 HSB500이 적용된 독립적인 강재주탑 합성형 사장교를 RM2004으로 모델링을 하고 이를 바탕으로 각부재들을 비교하였다. 서로 다른 강재가 적용된 두 교량을 비교하기 위하여 기본적으로 다음과 같은 응력수준을 기준으로 한다.

$$\frac{f_c(SM520 \text{ 적용시 발생응력})}{f_{ca}(SM520 \text{ 적용시 허용응력})} = \frac{f_c(HSB500 \text{ 적용시 발생응력})}{f_{ca}(HSB500 \text{ 적용시 허용응력})}$$

보강형의 주형과 주탑의 경우 휨과 압축을 동시에 받는 부재이므로 설계기준상에 허용응력검토와

안전검토를 동시에 수행하도록 되어 있으므로, 각 기 검토방법에 따른 안전율을 동일하게 유지하도록 단면을 변경하여 구조모델을 구성하고 해석한다.

5.2 보강형 비교

보강형의 주형 단면은 휨과 압축을 동시에 받는 부재이다. 케이블 장력과 외력에 의하여 높은 압축력 휨모멘트가 크게 발생된다.

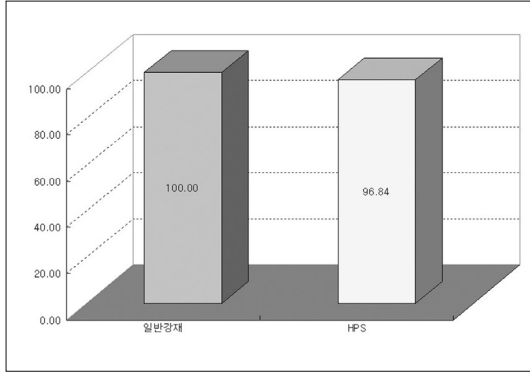
고성능 강재는 일반 강재보다 높은 허용응력을 갖고 있으므로, 일반 강재를 사용했을 경우보다 단면을 감소시킬 수 있다. 응력안전율(발생응력/허용응력) 비율을 일정하게 단면을 감소시킨다.

〈표 5.2〉 보강형 주거더 최대발생응력 / 허용응력 (%)

구 분	SM520	HSB500	비 고
최대 허용응력수준	88.21	89.11	
평균 허용응력수준	53.08	52.66	
최대 안정성 수준	96.71	96.94	
평균 안정성 수준	61.54	60.76	

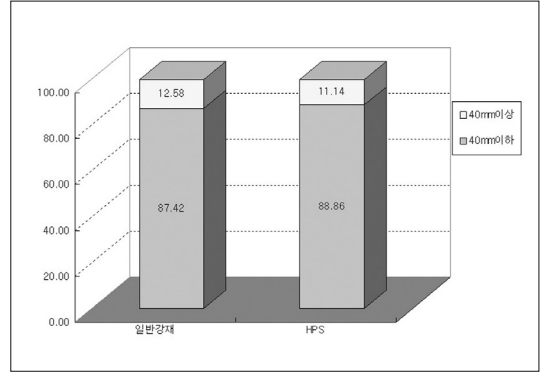
사장교 보강형에 고성능 강재를 적용할 경우 강재량은 약 3.1% 감소효과가 있다.

이는 보강형의 주거더는 후판의 사용량이 높다. 주거더보다 많은 강재량을 차지하고 있으며 가로보



〈그림 5.3〉 보강형 강재량 변화율

에서 후판 사용량이 낮으며 Splice 등의 최소두께로 강재량이 산정되는 부부재가 많은 부분을 차지하므로 고성능 강재를 적용의 효과가 다른 구조부재에 비하여 다소 낮은편이다.



〈그림 5.4〉 보강형 후판 사용량 변화율

5.3 주탑 비교

주탑은 케이블을 통하여 전달되는 하중에 의하여 발생하는 하중이 주탑에 연직력과 수평력으로 작용되므로 주탑의 하단면에서 가장 큰 압축력과 휨모멘트가 발생된다.

따라서 높은 휨모멘트와 압축력이 발생되므로 40mm 이상의 후판이 적용이 필수적이며, 고성능 강재 적용시 강재 감소량이 상대적으로 높다.

〈표 5.3〉 주탑 단면 비교

단면적	SM520	HSB500	비율 (%)
탑기부	1.49	1.31	87.7
중간부	0.79	0.72	90.4
탑정부	1.32	1.32	94.0

일반강재 주탑과 고성능강재 주탑의 안전율을

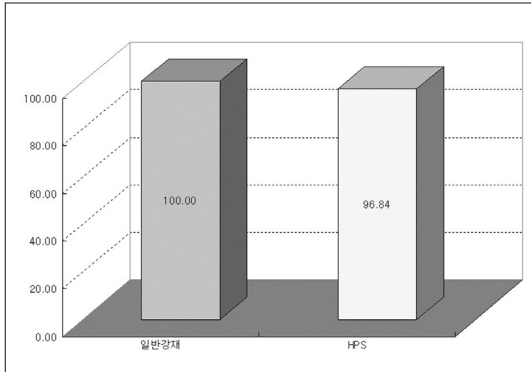
동일하게 유지하기 위하여 발생응력 대비 허용응력 및 안정성 수준을 유사하도록 단면을 설정하였다.

〈표 5.4〉 주탑 응력수준 비교

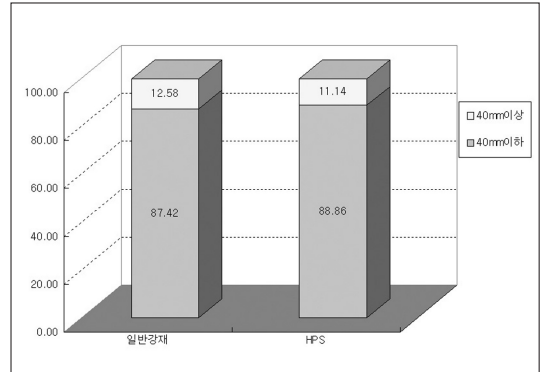
구분	힘응력검토		안정검토	
	HSB500	SM520	HSB500	SM520
탑기부	0.78	0.77	0.89	0.89
가로보	0.71	0.70	0.88	0.89

강재주탑은 높은 강성이 요구되므로 40mm 이상의 후판의 사용량이 매우 높다.

그러므로 고성능 강재의 적용으로써 강재량 감소 효과가 높다. 일반강재(SM520)를 고성능 강재(HPS500)로 대체할 경우 10.3%의 강재 감소효과가 발생한다.



〈그림 5.5〉 주탑 강재량 변화



〈그림 5.6〉 주탑 후판 변화

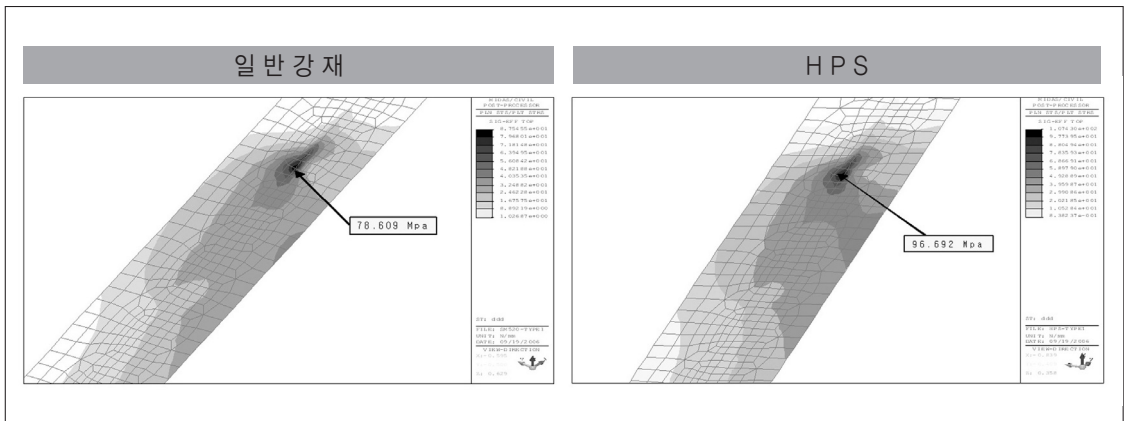
5.4 정착부 비교

를 정착구에 적용하는 경우 일반강재에 비하여 허용응력이 높으므로 강재의 두께를 감소시킬수 있다. 집중하중을 받는 주부재에 단면을 감소시키면 응력의 분포를 확대시켜 응력집중현상을 감소시킬수 있다.

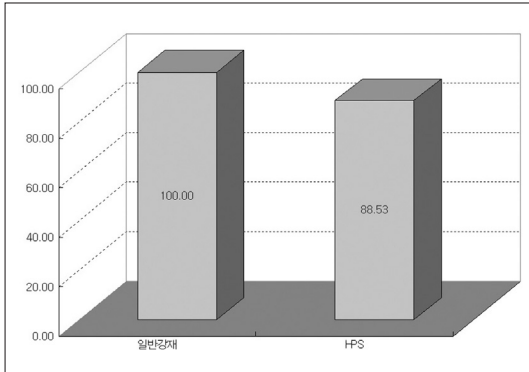
주부재의 단면이 감소되면 발생하는 응력이 높아진다. 이와 함께 응력분포가 확대되므로 보강재에서 발생하는 응력도 함께 증가된다. 그러나 〈그림

5.9)와 같이 보강재는 하중이 직접 재하되는 부재가 아니므로 발생응력이 주부재에 비하여 상대적으로 매우 낮다. 따라서 주부재의 단면 감소로 보강부재와의 응력 배분이 확대되고, 구조적 기능 향상이 발생된다.

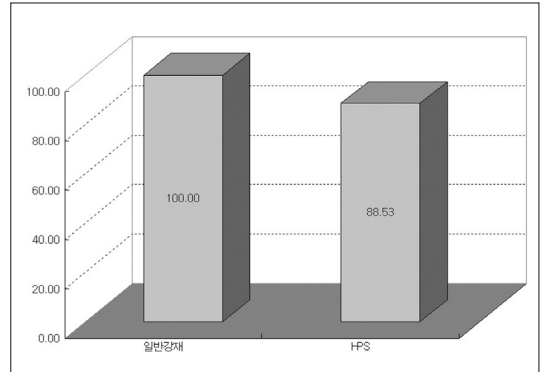
정착구는 케이블에 의하여 높은 집중하중이 발생하는 부재이므로 40mm 이상의 후판이 필요하다. 고성능강재를 적용하면 보강재와의 응력배분이 향상되어 구조적인 성능이 개선되므로 강재 감소 효과가 11.47%로 다소 높게 나타난다.



〈그림 5.7〉 정착구 보강재 응력비교



〈그림 5.8〉 정착구 보강재 강재량 비교



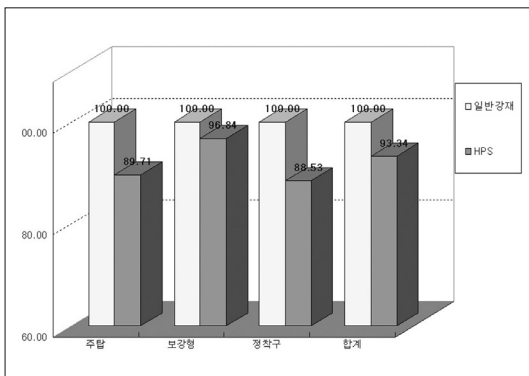
〈그림 5.9〉 정착구 보강재 후판 사용량 비교

5.5 전체 교량 비교

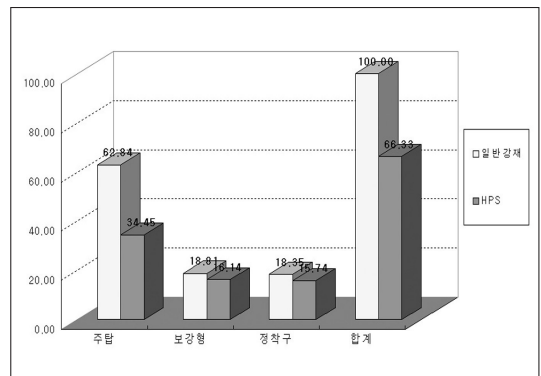
5.5.1 강재량 비교

고성능강재(HSB500)를 적용하는 경우 일반강

재(SM520)에 비하여 6.65%의 강재 절감 효과가 발생된다. 주탑과 정착구와 같이 40mm 이상의 후판 사용량이 높은 부재는 절감효과가 다소 높으며 보강재의 경우는 상대적으로 강재 절감효과가 낮은 편이다.



〈그림 5.10〉 부재별 강재량 변화율



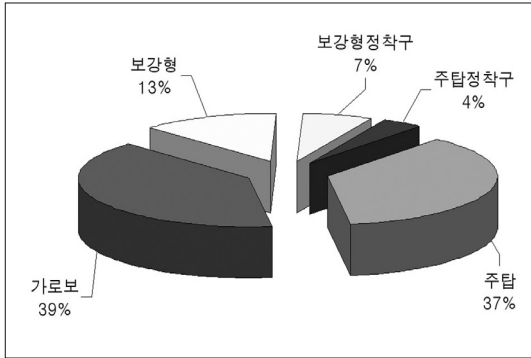
〈그림 5.11〉 부재별 후판 사용량 변화율

5.5.2 자중 비교

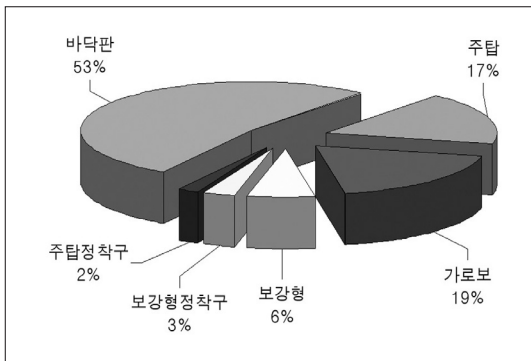
고성능 강재는 일반강재에 비하여 허용응력이 높으므로 강재 사용량을 절감할 수 있다. 강재량의 감소는 전체 교량 구조물의 자중 감소에 영향을 미친다. 일반강재 대비 고성능 강재 사장교는 강재량이

약 6.7% 감소된다.

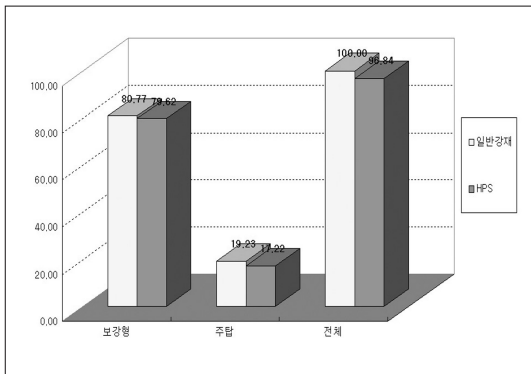
합성형 사장교에서는 바닥판의 자중이 큰 부분을 차지하므로 자중 감소효과는 약 4%이다. 자중의 감소는 하부구조의 규모 및 전체적인 공사비를 절감시키므로 파급효과는 크다고 할 수 있다.



〈그림 5.12〉 부재별 강재량 비율



〈그림 5.13〉 부재별 자중 분포



〈그림 5.14〉 부재별 자중변화

5.6 결과분석

- (1) 일반강재의 강재량을 100% 하였을 경우 동일한 조건을 적용하고 동일한 안전율을 유지할 때 고성능 강재를 적용하면 약 93%의 강재가 사용되어 약 7% 정도의 강재 사용 절감효과가 나타난다.
- (2) 감소되는 강재량은 구조부재에 따라 다소 다르게 나타난다. 40mm 이상 후판의 사용량이 많은 주탑의 경우는 강재가 약 10% 감소되었으며, 보강형의 경우는 약 3% 감소된다. 후판 사용율이 높은 주탑이 보강형보다 강재 사용량 절감효과가 높다.
- (3) 후판 사용율 정착구의 경우 약 12%의 강재 감소효과가 나타나는 것과 더불어 국부응력의 집중 현상을 감소시키는 강재배치의 효율성과 구조적기능을 향상시키는 효과가 나타난다.
- (4) 고성능 강재가 사용된 사장교의 바닥판 콘크리트를 포함한 전체 교량의 자중은 일반강재 사장교 대비 97%로서 약 3%의 자중감소효과가 발생된다. 이는 기초 규모의 감소를 감소시켜 전체 공사비를 감소시킬 수 있다.