

대직경 고장력볼트 이음부의 안전성 및 경제성 평가

Estimation of Safety and Economical Efficiency of Large High Tension Bolted Joints

성 기 태*

경 갑 수**

이 승 용***

Sung, Ki-Tae

Kyung, Kab-Soo

Lee, Seung-Yong

Abstract

This study was conducted for the purpose of examining the safety and economical efficiency of large high tension bolted joints. The specimen using F10T-M30 large high strength bolts has been selected and static tensile test has been conducted to evaluate the slip characteristics. In addition, finite element analysis has been carried out to estimate the number of required bolts. As a result, the average slip coefficient of M30 high strength bolts exceeded 0.4 - the standard in highway bridge design specification - and has satisfied the slip strength, which is the same as that of M22 high strength bolts. In addition, if F13T-M22 high strength bolts were applied, the number of required bolts decreased by 21%, and if F10T-M30 high strength bolts were applied, the number of required bolts decreased by 46%, that leads to the conclusion that the economical efficiency in accordance with diametering of high strength bolts was now verified.

요 지

본 연구에서는 대직경 고장력볼트 이음부의 안전성 및 경제성을 검토할 목적으로 F10T-M30 대직경 고장력볼트를 사용한 시험편을 대상으로 정적 인장시험을 실시하여 미끄러짐 특성을 평가하였다. 또한 유한요소해석을 실시하고 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 소요볼트 개수를 산정하였다. 그 결과 M30 고장력볼트의 평균 미끄러짐 계수는 도로교설계기준의 기준인 0.4를 초과하며, M22 고장력볼트와 동등한 미끄러짐 성능을 확보하는 것으로 나타났다. 또한 고장력볼트의 강도등급 및 직경에 따른 경제성 분석을 실시한 결과, F13T-M22 고장력볼트를 기준으로 하여 F13T-M22 고장력볼트를 적용하면 소요볼트 개수가 21% 감소하며, F10T-M30 고장력볼트를 적용하면 46% 감소하는 것으로 나타나 고장력볼트의 대직경화에 따른 경제성을 확인할 수 있었다.

Keywords : high tension bolt, frictional joint, slip coefficient, large high tension bolt, economical efficiency

핵심 용어 : 고장력볼트, 마찰이음, 미끄러짐 계수, 대직경 고장력볼트, 경제성

* 정회원, 충주대학교 토목공학부 교수

** 정회원, 한국해양대학교 건설·환경공학부 부교수

*** 정회원, 충주대학교 토목공학부 부교수

E-mail : kyungks@hhu.ac.kr 051-410-4464

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

우리나라에서 고장력볼트에 대한 규정이 최초로 사용된 것은 1966년 강철도교설계표준시방서이며, 1972년 도로교표준시방서의 개정을 통해 리벳을 대신하여 강구조물의 현장이음 방식으로 본격적으로 사용되어 오고 있다. 일반적으로 고장력볼트 이음부의 내력에 영향을 미치는 요인으로는 이음 부재의 마찰면의 상태, 볼트의 도입축력 및 축력의 변화, 볼트의 크기 및 배치, 볼트의 크리프와 릴렉세이션, 부재 판 두께의 차이, 과대공이나 구멍간의 불일치 등이 있다. 이에 대해 최근에는 고장력볼트 마찰이음의 다양화에 대해서 실무적 관점에서부터 각종 실험적 연구(이승용 등, 2006a; 이승용 등, 2006b; 성택룡 등, 2007)가 실시되고 있으며, 이러한 연구결과가 시방기준의 개정에도 일부 반영되고 있는 실정이다.

최근 국내에는 연육교·연도교와 해협 횡단교의 건설이 다수 추진 중에 있어서 사장교, 현수교 등의 장경간 교량의 건설이 증가하고 있다(장동일 등, 2001). 또한 최근의 강교량은 거더수의 소수화, 부재의 간략화·통일화 등과 같이 합리화를 고려한 구조형식의 채택이 증가하고 있다. 이러한 장경간 교량 및 합리화 교량의 건설에 있어서는 부재의 대형화가 필수적이어서 후판 강재의 적용이 늘어가고 있다(경갑수 등, 2003). 판두께 50mm 이상의 후판 강재의 현장이음시 M22 고장력볼트를 사용하면 볼트 개수가 증가하고, 이음판의 중량이 증가하는 문제점이 발생하기 때문에 현장용접이 적용되나, 현장용접의 경우에도 용접결함의 발생가능성이 커진다. 따라서 이러한 개소에 M30과 같은 대직경 고장력볼트를 적용하면 기존의 M22 고장력볼트에 비하여 볼트열수 및 연결판 중량의 측면에서 합리적으로 볼트연결의 효율성을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 측면에서 최근에 실시된 F13T 및 대직경 고장력볼트를 적용한 마찰이음부에 대한 적용성 검증 연구(성택룡 등, 2007) 결과를 토대로 2008년에 도로교설계기준에 반영되기에 이르렀다. 또한 KS B 1010(한국표준협회, 2004) “마찰접합용 고장력 6각 볼트·6각 너트·평외서의 세트”의 기준에는 이미 M30 고장력볼트까지 기준이 제정되어 있다. 한편 南邦明 등(2006)은 일반 플레이트거더교, 박스 거더, 소수거더 및 폭이 좁은 박스거더교와 같은 다양한 교량형식을 대상으로 대직경 고장력볼트의 적용성을 검토한 결과, 극후판을 사용하는 소수거더교 및 폭이 좁은 박스거더교의 경우가 볼트개수와 연결판 중량의 저감효과를 나타내어 설계측면에서의 대직경 고장력볼트의 적용성이 높은 교량형식임을 확인하였다. 또한 이들 교량을 대상으로 제작성 등을 포함한 경제성 검토 결과, 소수거더교가 가장 경쟁력이 있는 교량형식임을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 대직경 고장력볼트 마찰이음부의 안전성 및 경제성을 검토할 목적으로 F10T-M30 대직경 고장력볼트를 사용한 시험편을 대상으로 정적 인장시험을 실시하여 미끄러짐 특성을 평가하였다. 또한 기존 설계된 7경간 연속 2거더교를 대상교량으로 선정하여 유한요소해석을 실시하고 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 소요볼트 개수를 산정하여 대직경 고장력볼트의 적용에 따른 경제성 분석을 실시하였다.

2. 시험

2.1 재료

본 연구에서 사용된 시험편의 모재와 이음판은 모두 SM490B 강재이며, 화학성분 및 역학적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 모재 및 이음판의 화학성분 및 역학적 성질

강재종류	화학성분 (%)					역학적성질			
	C	Si	Mn	P	S	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	탄성계수(MPa)	신장률(%)
SM490B	0.16	0.38	1.23	0.012	0.009	368	530	205275	23.0

Table 2 시험편 제원

시험편 종류	볼트 종류	단면적		제 원 (mm)							
		총단면적 (mm ²)	순단면적 (mm ²)	구멍직경 d	모재두께 t ₁	이음판 두께 t ₂	폭 W	연단거리 e	피치 p	공극	
Type A	일반볼트	M22×90	1,600	1,120	24	20	15	80	40	75	10
	대형볼트	M30×110	2,000	1,520	33	20	15	100	50	80	10
Type B	일반볼트	M22×140	4,000	2,800	24	50	25	80	40	75	10
	대형볼트	M30×160	5,000	3,350	33	50	25	100	50	80	10

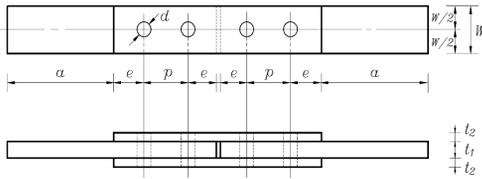


Fig. 1 시험편의 형상

2.2 시험편 형상 및 치수

본 연구에서 사용된 시험편은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 기존의 고장력볼트 마찰이음의 표준시험편의 형상(日本土木學會, 2006)을 적용하였으며, 각 시험편 종류별 제원을 Table 2에 나타내었다.

Fig. 1 및 Table 2에서와 같이 시험편은 최소연단 거리 40mm, 볼트 중심간 거리(피치) 75mm로 하여 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2005)을 만족하도록 제작하였다. 그리고 볼트 구멍의 직경은 M22 고장력볼트의 볼트 공칭직경 22mm에 2mm의 여유를 두어 24mm로 하였다(표준공은 24.5mm로 규정되어 있으나 시험편 제작시 볼트구멍 천공작업의 편리성을 위하여 24mm로 하였음).

한편 시험편의 미끄러짐 하중과 모재의 항복강도의 상관관계를 파악하기 위하여 Table 3에 모재의 순단면 항복강도 N_{SL} 에 대한 미끄러짐 강도 N_{FTn} 의 비인 β 값을 정리하여 나타내었다. 이와 같이 시험편을 항복선형 및 미끄러짐 선형으로 분류한 것은 실제 시공에서는 연결부재가 다양한 판두께 및 폭을 갖기 때문에 연결부재 특성에 따라 거동에 차이가 발생할 가능성이 있기 때문에 이러한 점을 고려하기 위한 것이다. 기존 연구(西村 등, 2001)에 의하면 $\beta \geq 1$ 인 이음에서는 미끄러짐 내력이 20% 정도 저하하는

Table 3 모재의 항복강도와 미끄러짐 강도의 관계

시험편 종류	Type A	Type B
강종	SM490B	SM490B
항복강도 f_y (MPa)	320	320
판두께 t_b (mm)	20	50
폭 W (mm)	80 100	80 100
볼트구멍 직경 d (mm)	24.0 33.0	24.0 33.0
순단면적 A_n (cm ²)	11.2 15.2	28.0 33.5
설계 도입축력(M22) N (kN)	200 379	200 379
미끄러짐강도($\mu=0.4$) N_{SL} (kN)*	328 606.4	328 606.4
모재순단면 항복강도 N_{FTn} (kN)**	358.4 486.4	896 1072
$\beta = N_{SL}/N_{FTn}$	0.92 1.25	0.37 0.57

주) * $N_{SL} = \mu \times m \times N$ ($m=4$)

** $N_{FTn} = F_y \times A_n$

것으로 보고되어 있다. 본 연구에서는 시험편 Type A에서 M30 고장력볼트 시험편이 항복선형 시험편이다.

한편 고장력볼트의 체결은 토크제어법을 적용하였으며, 예비체결과 본체결로 나누어 예비체결에서는 도입축력의 60%를 체결하고, 본체결에서 표준도입축력까지 체결하였다. 도입축력은 M22 고장력볼트의 경우 도로교표준시방서(한국도로교통협회, 2005)상의 설계볼트축력인 200kN에 10% 할증한 220kN으로 하였으며, M30 고장력볼트의 경우 일본의 上部構造建設基準(本州四國連絡橋公団, 1989)의 설계볼트축력인 379kN에 10% 할증한 417kN으로 하였다.

2.3 시험방법

미끄러짐 하중의 측정을 위한 정적 인장시험은

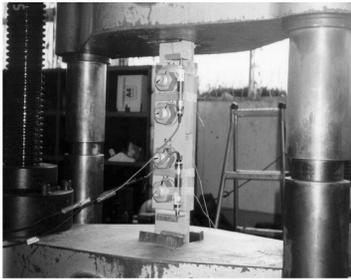


Fig. 2 인장시험 전경

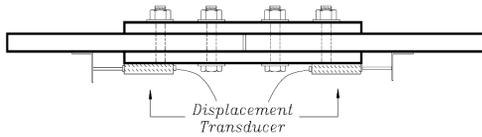


Fig. 3 변위변환기 부착 위치

Fig. 2와 같이 1,000kN 용량의 유압식 만능시험기 (일본 Shimadzu사)를 사용하였다. 인장시험시에는 Fig. 3과 같이 시험편에 2개의 변위변환기를 부착하여 모재와 이음판의 상대변위를 측정하였으며, 이로부터 미끄러짐 발생시의 하중을 구하고 미끄러짐 계수를 평가하였다.

3. 결과분석 및 고찰

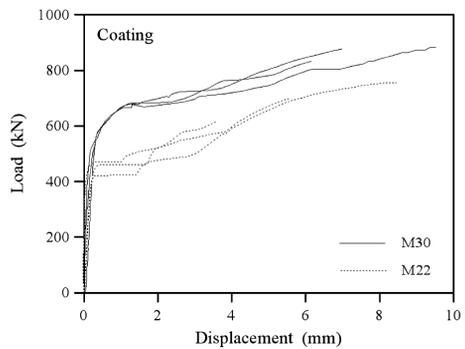
3.1 미끄러짐 특성

국내의 도로교설계기준에서는 고장력볼트의 호칭 치수를 M20, M22 및 M24로 규정하여 최대 볼트 공칭직경을 24mm로 제한하여 오다가, 2008년 도로교설계기준의 일부 개정에 의하여 M30 대직경 고장력볼트에 대한 규정이 추가되었다. 한편 Table 4에서와 같이 일본의 각종 규격 및 설계기준에서는 고장력볼트의 호칭치수를 M12~M36의 범위로 하여 최대 볼트 공칭직경을 36mm로 규정하고 있다. 이로부터 장대교량 및 소수 거더교 등의 후판 강재를 사용한 구조물에 대직경 고장력볼트를 채용함으로써 설계 및 시공의 합리화를 도모하고 있다.

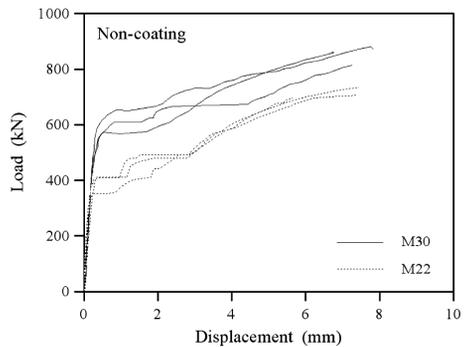
일반볼트인 M22와 대직경 고장력볼트인 M30을 사용한 고장력볼트 이음부에 대해 정적 인장시험을

Table 4 일본의 고장력볼트 호칭치수 (日本土木學會, 2006)

고장력볼트 종류	강도			볼트 호칭치수	규격·및 설계기준
	볼트	너트	와셔		
고장력 육각볼트	F8T			M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30	JIS B 1186
	F10T	F10	F35	M27, M30, M36	本州四國 連絡橋公団
T/S 고장력볼트	S10T	F10	F35	M20, M22, M24	日本道路協會
				M16, M20, M22, M24	日本鋼構造協會
용융 아연도금 고장력볼트	F8T	F10	F35	M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30	JIS B 1186



(a) 방청처리



(b) 무처리

Fig. 4 볼트 크기에 따른 하중 - 변위 곡선 비교

실시하여 얻어진 하중 - 변위 곡선을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)는 고장력볼트의 부식방지를 위하여 고장력볼트에 아연말 화성피막을 처리한 방청볼트를 사용한 경우이고, Fig. 4(b)는 방청처리를 실시하지 않은 무처리볼트를 사용한 경우이다.

Fig. 4(a)와 (b)에서 대부분의 시험편이 일정하중까지는 변위가 선형으로 증가하고, 일정하중을 넘어서면서 수회의 미소 미끄러짐이 발생한 후 미끄러짐이 발생함을 알 수 있다. 미끄러짐이 발생하면 모재와 볼트축이 지압상태에 이르고, 상당한 하중을 지압저항한 후에 모재의 항복에 의해 파단이 일어났다. M22 고장력볼트의 경우 방청처리와 무처리 모두 미끄러짐 하중이 명확하게 나타남을 알 수 있으며, 반면에 M30 고장력볼트의 경우에는 미끄러짐 하중이 명확히 나타나지 않고 미소 미끄러짐이 수회 발생하면서 지압상태에 이르는 것을 알 수 있다. 또한 방청처리한 경우와 무처리한 경우 모두 미끄러짐 하중은 M30 고장력볼트가 시험편의 단면적 증가 등의 영향으로 M22 고장력볼트 보다 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

한편 Fig. 4에 나타난 하중-변위 곡선으로부터 볼트 크기에 따른 미끄러짐 하중 및 미끄러짐 계수를 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5로부터 모재 두께 20mm인 경우의 평균 미끄러짐 하중을 비교하면 무처리볼트의 경우 M22

는 399kN, M30은 621kN으로 M30 고장력볼트의 미끄러짐 하중이 약 56% 증가하며, 방청볼트의 경우에는 M22는 461kN, M30은 696kN으로 M30 고장력볼트의 미끄러짐 하중이 약 51% 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 후판 강재의 모재 두께 50mm인 시험편에 대해서도 M30 고장력볼트는 M22 고장력볼트에 비해 무처리와 방청처리 볼트 모두 미끄러짐 하중이 각각 59% 및 54% 증가하는 것을 알 수 있다. 이로부터 M30 고장력볼트는 M22 고장력볼트에 비해 볼트 1개당 허용 미끄러짐 내력이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

한편 Table 5로부터 모재 두께 20mm인 경우의 M22 고장력볼트 시험편의 평균 미끄러짐 계수는 무처리한 경우 0.44, 방청처리한 경우 0.50이며, M30 고장력볼트 시험편(Type A: $\beta \geq 1$)은 무처리한 경우 0.41, 방청처리한 경우 0.46으로 항복선형시험편 특성으로 다른 시험편에 비하여 미끄러짐계수가 약간 저하하는 경향을 나타내고 있다. 또한 모재 두께 50mm인 경우에도 M30 고장력볼트 시험편의 미끄러짐 계수는 무처리와 방청처리 볼트 모두 각각 0.44 및 0.48로 나타나, M30 고장력볼트는 도로교설계기준의 기준인 0.4를 초과하는 미끄러짐 계수를 확보하는 것을 확인할 수 있다. 또한 M30 대직경 고장력볼트에 대한 기존 연구(성택룡 등, 2007)에 의하면 본 연구와 유사한 2열 시험편의 평균 미끄러짐 계수는 모재 두께 70mm인 경우 0.56, 모재 두께 80mm인 경우 0.54로 모두 도로교설계기준의 기준인 0.4를 초과하는 것으로 보고하고 있다. 따라서 M30 대직경 고장력볼트를 사용한 마찰이음의 미끄러짐 성능은 M22 고장력볼트와 대등한 것을 확인할 수 있다.

Table 5 볼트 크기에 따른 미끄러짐 하중 및 미끄러짐 계수

볼트 종류	볼트 처리	시험편 구분	모재 두께 (mm)	미끄러짐 하중 (kN)	평균미끄러짐하중 (kN)	미끄러짐 계수	평균미끄러짐계수		
M22	무처리	Type A	20	360	399	0.40	0.44		
				417		0.46			
				420		0.46			
	방청처리	Type B	50	415	415	0.46	0.46		
				Type A		20		470	0.52
								480	0.53
434	0.48								
M30	무처리	Type A	20	612	621	0.40	0.41		
				660		0.44			
				590		0.39			
	방청처리	Type B	50	660	660	0.44	0.44		
				Type A		20		707	0.47
								690	0.46
690	0.46								
방청처리	Type B	50	730	730	0.48	0.48			

3.2 경제성 분석

대직경 고장력볼트 적용에 따른 경제성 분석을 위하여 본 연구에서는 기존 설계된 7경간 연속 2거더교를 대상교량으로 선정하여 검토를 실시하였다(한국도로공사, 2000). 대상교량의 거더는 SM570 TMCP 강재, 가로보는 SM490 강재, 바닥판은 횡방향 프레스트레스를 도입한 설계기준강도 40MPa의 PSC

Table 6 대상교량 제원

교량 길이	7@50=350m
교량 폭	11.825m(2차로)
교량등급	1등급
설계 활하중	DB-24 및 DL-24
사용 재료	주거터 : SM570 TMCP 가로보 : SM490 바닥판 : $f_{ck}=40\text{MPa}$

Table 7 대상교량 단면제원(단위 : mm)

구분	위치	폭	두께	높이	사용 재료	허용응력 (MPa)
거터	상부 플랜지	900	①	28	SM 570	260
			②	32		
			③	40		
			④	48		
			⑤	48		
	하부 플랜지	900	①	28		
			②	36		
			③	44		
			④	52		
			⑤	66		
복부	-	20	2800			
가로보	상부플랜지	40	12	900	SM 490	190
	복부	-	12			
	하부플랜지	40	12			
바닥판	두께 350~550		콘크리트 설계기준강도 40			

주) ①~⑤는 Fig. 6의 단면변화에 따른 구간을 나타냄

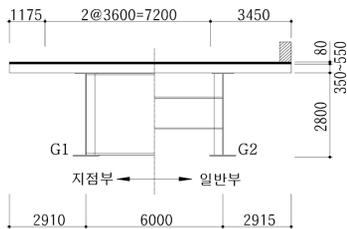


Fig. 5 대상교량 단면도(단위 : mm)

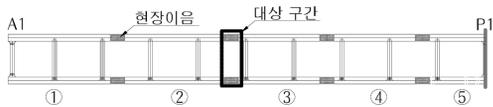


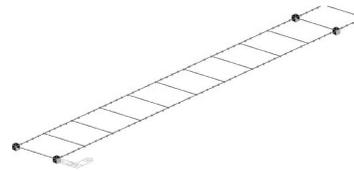
Fig. 6 대상교량 단면변화

바닥판을 사용하였다. Table 6 및 Table 7에 대상 교량의 일반제원 및 단면제원, Fig. 5 및 Fig. 6에 대상교량의 단면도 및 단면변화 위치를 나타내었다.

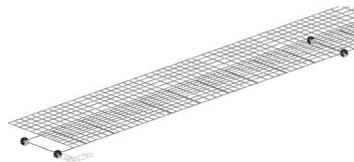
대상교량의 지점부 가로보는 중복식이며, 중간가로 보는 일반적인 I형 단면을 사용하였다. 바닥판은 거터 2(이하 G2로 표기)쪽의 캔틸레버부의 길이가 더 긴 것은 난간 및 차량 방호 울타리의 설치에 의한 것이다. 그러나 바닥판 캔틸레버부의 차이가 매우 작아 거의 대칭형상을 이루고 있다.

고장력볼트에 의한 경제성 분석을 위해 적용된 교량의 대상구간에 대한 구조해석을 실시하여 대상구간에서의 단면력을 산정하였다. 구조해석은 범용구조해석 프로그램인 MIDAS 2006을 사용하였다. 대상교량의 구조해석 모델 형상을 Fig. 7에 나타내었다. 합성 전 모델은 Fig. 7(a)와 같이 거터를 범요소로 모델링하였고, 합성 후 모델은 Fig. 7(b)와 같이 거터는 범요소, 바닥판을 4절점 쉘요소로 모델링하였다.

구조해석에서 각 지점부의 구속 조건은 Fig. 8과 같이 실제 교량의 구속조건과 동일하게 하였으며, 각각의 Case에 대하여 동일한 조건에서 구조해석을 수행하였다. 여기서, X방향은 교축방향, Y방향은 교축 직각방향, Z방향은 연직방향을 나타낸다. 또한 Fix는 X, Y, Z방향에 대해 모두 구속, Y free는 X, Z방향에 대한 구속, XY free는 Z방향에 대해 구속, X free는 Y, Z방향에 대한 구속을 의미한다.



(a) 합성 전 모델



(b) 합성 후 모델

Fig. 7 구조해석 모델 형상

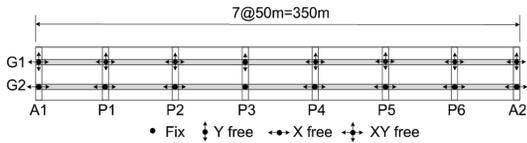


Fig. 8 대상교량 구속조건

Table 8 대상교량 하중조건

하중명	하중 종류
합성전 하중	거더 및 가로보 자중
	바닥판 자중
합성후 하중	포장
	DL-24

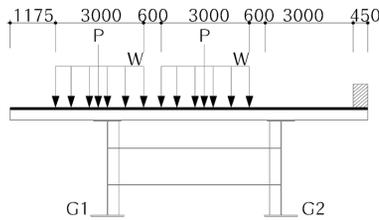


Fig. 9 대상경간 중앙부 G1 거더 검토시 DL-24 하중재하 조건

하중재하는 Table 8과 같이 합성전은 바닥판, 거더 및 가로보의 자중을 재하하였고, 합성후는 포장 하중 및 활하중으로 DL하중에 대해 검토하였다. 여기서 DL하중을 재하한 것은 DB하중과 DL하중에 대한 해석결과 DL하중에서 더 큰 응력이 발생하고 있으므로 도로교설계기준에 따라 더 불리한 응력이 발생하는 DL하중에 대해서 검토하였다. 여기서, W는 12.7kN/m이고, P는 108kN이다.

대상교량의 격자해석에 의해 얻어진 대상구간에서의 구조해석 결과를 Table 9에 나타내었다. 여기서 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 경제성 분석은 Fig. 6에 나타낸 대상구간에 대하여 실시하였다.

볼트의 강도등급 및 직경에 따른 1볼트 1마찰면당의 마찰이음용 고장력볼트의 허용력을 Table 10에 나타내었다.

Table 9의 구조해석 결과와 Table 10의 허용력을 사용하여 대상구간 단면에 대해 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 대상단면에서의 소요볼트 개수를 산정하였다. 소요볼트 개수는 도로교설계기준의 볼트

Table 9 대상구간의 구조해석 결과

구분	합성전 모멘트 (kN·m)	합성후 모멘트 (kN·m)	활하중 모멘트 (kN·m)	전단력 (kN)	축력 (kN)
단면력	147.45	12.68	34.23	10.00	36.34

Table 10 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 마찰이음용 고장력 볼트의 허용력(단위 : kN)

볼트 호칭	볼트 등급	
	F10T	F13T
M20	39	50
M22	48	63
M24	56	73
M27	73	-
M30	89	-

주) 현재 F13T는 M27 및 M30에 대한 기준이 없음.

설계 기준에 따라 계산하였다. 구조해석에 의해 얻어진 단면력에 대해 응력을 산출하고 소요 볼트개수 N_{req} 를 식 (1)에 의해 산출하였다. 이로부터 얻어진 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 대상구간에서의 소요볼트 개수를 Table 11에 나타내었다.

$$N_{req} = \frac{A_u \times f_a}{\rho_a} \quad (1)$$

여기서, A_u 는 유효단면적, f_a 는 이음부에서의 응력, ρ_a 는 볼트의 허용력이다.

Table 11에 나타낸 대상구간 단면의 볼트강도 및 직경에 따른 소요볼트 개수를 F10T-M22를 기준으로 환산한 비를 Fig. 10에 나타내었다.

소요볼트 개수는 동일 직경인 M22의 경우 F13T 고장력볼트 적용시 21% 감소하며, M30의 F10T의 경우 46% 감소하는 것으로 나타나 고장력볼트의 대 직경화에 따른 경제성을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 경향은 소수거더교에서의 대구경볼트 적용에 따른 경제성 검토의 결과에서 기존에 보고(南邦明 등, 2006)된 47%와 유사한 결과를 나타내고 있어 연구 결과의 타당성을 검증할 수 있었다. 기존 연구와 본 연구 결과에 차이가 있는 것은 외국과의 설계하중 차이 등에 따른 구조형식 등의 영향에 의한 것으로 판단된다.

Table 11 볼트의 강도등급 및 직경에 따른 대상단면에서의 소요볼트개수(단위 : EA)

볼트 등급	볼트 호칭		M22	M30
	구분			
F10T	상부플랜지		50	30
	복부		140	76
	하부플랜지		80	40
	합 계		270	146
F13T	상부플랜지		40	-
	복부		112	
	하부플랜지		60	
	합 계		212	

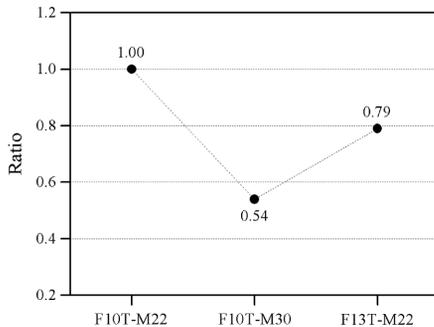


Fig. 10 F10T-M22에 대한 소요볼트 개수비

4. 결론

대직경 고장력볼트 이음부의 안전성 및 경제성 검토를 목적으로 M30 대직경 고장력볼트를 적용한 시험편을 대상으로 정적 인장시험을 실시하여 미끄러짐 특성을 파악하고, 대직경 고장력볼트의 경제성 분석을 실시하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) M30 대직경 고장력볼트를 사용한 경우 미끄러짐 하중은 M22 고장력볼트를 사용한 경우와 비교하여 모재 두께 20mm인 경우에는 무처리와 방청처리 볼트 모두 각각 56% 및 51% 증가하며, 모재 두께 50mm인 경우에도 각각 59% 및 54% 증가하는 것을 알 수 있었다. 이로부터 M30 고장력볼트는 M22 고장력볼트에 비해 볼트 1개당 허용 미끄러짐 내력이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다

(2) M30 고장력볼트의 평균 미끄러짐 계수는 도

로교설계기준의 기준인 0.4를 초과하며, M22 고장력볼트와 동등한 미끄러짐 성능을 확보하는 것으로 나타나 최근 강구조물의 대형화 및 합리화 추세를 감안하면 M30 대직경 고장력볼트는 충분한 사용성 및 안전성을 확보하는 것으로 판단된다.

(3) 고장력볼트의 강도등급 및 직경에 따른 경제성 분석을 실시한 결과, F10T-M22 고장력볼트를 기준으로 하여 F13T-M22 고장력볼트를 적용하면 소요볼트 개수가 21% 감소하며, F10T-M30 고장력볼트를 적용하면 46% 감소하는 것으로 나타나 고장력볼트의 대직경화에 따른 경제성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 경갑수, 최장렬, 권순철, “강교량의 합리화 방향”, 한국강구조학회지, 제 15권 1호, 2003, pp.9-17.
2. 성택룡 윤태양, 고현무, “극후판을 적용한 마찰이음의 미끄러짐계수 및 그 영향 인자에 대한 평가”, 대한토목학회논문집, 제 27권, 제 5A호, 2007, pp.725-733.
3. 이승용, 경갑수, “고장력볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제 26권, 제 3A호, 2006, pp.513-521.
4. 이승용, 최준혁, 김성훈, 박철우, “볼트의 크기 및 판 두께의 차이에 따른 고장력볼트 이음부의 역학적 거동에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제 26권, 제 1A호, 2006, pp.67-74.
5. 장동일, 경갑수, “한국의 장대교량 건설”, 한국강구조학회지, 제 13권 3호, 2001, pp.132-140.
6. 한국도로공사, H교 구조계산서, 2000, S기술단.
7. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2005.
8. 한국도로교통협회, 도로교표준시방서, 2005.
9. 한국표준협회, KS B 1010 마찰접합용 고장력 6각 볼트·6각 너트·평와서의 세트, 2004.
10. 日本土木學會, 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.
11. 本州四國連絡橋公団, 上部構造建設基準, 1989.

-
12. 南邦明, 森猛, 堀川秀信, “50mm 厚鋼板を用いた太徑ボルト(M36)のすべり耐力試験”, 日本土木學會論文集A, Vol. 62, No. 2, 2006, pp.267-278.
 13. 西村善男, 秋山寿行, 亀井義典, “高力ボルト摩擦接合継手に関する研究動向”, 日本土木學會論文集, No.675/I-55, 2001, pp.1-14.

(접수일자 : 2009년 6월 22일)
(심사완료일자 : 2009년 9월 2일)