

H/T 와 T/S 볼트 마찰이음의 피로거동 비교 · 검토

A Comparison Study for the Fatigue Behavior of H/T and T/S Bolt Friction Joint

전 제 상¹⁾ · 우 상 익²⁾
By JUN, Je Sang WOO, Sang Ik
이 성 행³⁾ · 정 경 섭⁴⁾
LEE, Seong Heang and JUNG, Kyoung Sup

ABSTRACT : H/T(High Tension) bolt is generally being used in joining the members of steel structure. It has some difficulties in management such as an adequate fastening force and a selection of proper instrument for fastening. T/S (Torque Shear Type High Tension) bolt which is more convenient and easier than H/T bolt in quality control has recently been developed.

T/S bolts are produced and widely used these days in domestic, but those have not a detail regulation for their own. Those are only being used according to the specification for the H/T bolts.

In this study, we tried to confirm the soundness of T/S bolts by the fatigue test of the modified specimens. First, we measured the reduction rate of the initial axial force with time at bolts. Second, we investigated the slip forces of bolts when the test specimen is loaded in tension. Third, we implemented the fatigue tests. During the test, we measured the variation of the axial forces of bolts under the cyclic loading.

Finally, we compared and analyzed the fatigue behavior of H/T and T/S bolt by S-N curve diagrams that are obtained in this study.

1. 서 론

최근들어 강재의 발달과 구조물의 장대화 등에 따라 강성이 좋은 강재를 이용한 강구조물들이 많

이 건설되고 있다. 강구조물은 콘크리트와 달리 부재와 부재간의 연결에 의해 이루어진다. 연결방법으로는 용접에 의한 방법과 고장력(이하 "H/T")볼트를 이용하는 방법이 있으며, 용접에

1) 충북대학교 대학원 석사과정
2), 3) 충북대학교 대학원 박사과정
4) 정회원 : 충북대학교 구조시스템공학과 교수

의한 연결법은 다시 공장용접과 현장용접으로 나눌수 있다. 전자는 용접 설비의 자동화와 작업 조건의 양호성 등에 의해 대체적으로 품질관리에 대한 신뢰성이 있으나, 후자의 경우는 용접 설비 및 기능공의 숙련도 그리고 현장의 열악한 작업조건 등에 따라 연결부의 품질관리에 대한 신뢰성이 떨어진다.

이러한 이유로 현장에서는 연결부의 품질관리가 보다 쉬운 H/T 볼트를 이용하고 있다. 그러나 고장력 볼트 또한 토크계수관리에 있어서 기능공의 숙련도와 현장의 작업 여건에 의존하는 실정이다. 이러한 문제들이 제기되면서, 보다 체결방법이 개선된 Torque Shear Type High Tension(이하 "T/S")볼트가 개발되어 활용되고 있다.

T/S 볼트는 Pintail부분이 체결시 볼트 조임력에 의해 전단파단이 일어날 때, 볼트에 도입되는 축력을 규격화시킨 제품으로 생산하기 때문에, T/S 볼트 전용 체결기구를 이용하면 보다 손쉽게 체결을 완료할 수 있다.

그러나 H/T 볼트의 사용에 관한 제반 규정들은 KS 및 도로교 시방서 등에 미흡하나마 규정되어 있으나, T/S 볼트에 관한 규정은 아직 정착되어 있지않다. 세계적으로도 일본강구조협회의 JSS II 09에 규정되어 있는 정도이며, 이를 그대로 인용한 한국강구조학회의 강구조편람에 있을 뿐이다. 따라서 현재 국내에서 사용되고 있는 T/S 볼트는 역학적 거동 및 시공조건이 H/T 볼트와 같다고 가정하여 사용되고 있는 현실이고 앞으로의 연구를 기대하고 있다.

따라서 본 연구에서는 H/T 볼트와 T/S 볼트 연결 시험편을 제작하여, 볼트의 축력 도입 후, 시간 경과에 따른 축력의 감소량과 피로시험을 통한 H/T볼트와 T/S 볼트 연결부의 피로 강도 등을 비교·검토함으로써, T/S 볼트에 대한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 또한 검증된 범용 구조 해석용 패키지(NISA II)를 이용하여 시험편의 정적해석을 실시함으로써 시험편에 발생하는 응력 분포를 실제로 파단된 시험편과 비교하여 검토하였다.

2. 피로시험

2.1 시험편 제작

시험편 제작에 사용된 볼트의 종류는 H/T 와 T/S 볼트로 모두 F10T의 M16을 사용하였으며, 강재의 크기는 국민대학교(M20)와 한양대학교(M22)에서의 실험과 보조를 맞추기 위해 폭 80mm에 두께 9mm로 하였고, 양측의 이음판도 모재와 같은 규격의 강재를 사용 하였다. 볼트 구멍은 볼트의 직경에서 1.5mm의 여유를 더하여 17.5mm로 하였다. 시험편의 전체적인 형상 및 치수는 Fig. 2.1과 같다.

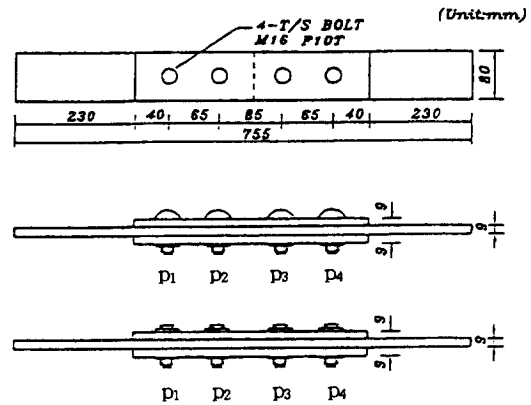


그림 2.1 시험편의 형상과 치수

시험편은 총 22개가 제작되었으며, 마찰접합 방법을 이용하여 체결하였다. H/T 및 T/S 볼트 연결 시험편에 적용한 하중 및 전단면, 순단면 그리고 최대 공칭응력 등은 Table 2.1과 같다.

2.2 시험방법

시험편 제작시 H/T 볼트의 거동 상태를 측정하기 위하여 Fig. 2.2과 같이 볼트의 측면에 변형을 게이지를 정착시키고, 게이지선은 볼트를 체결하는데 장애를 주지 않도록 볼트 머리 부분으로 구멍을 뚫어서 게이지선을 빼어내었다. 시험편 체결과 동시에 게이지선을 데이터로거(Data Log-

ger)에 연결하여 볼트 체결시 도입되는 초기축력 상태를 측정하였으며, 체결 완료 후의 시간 경과에 따른 볼트 축력의 감소 상태를 일정 시간마다 측정하여 축력 도입 이후 축력의 감소가 충분히 발생되었다고 예상되는 120시간 동안 축력의 감소 상태를 측정하였다.

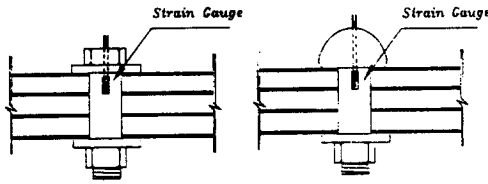


그림 2.1 시험편의 세부 사항

표 2.1 시험편의 세부 사항

Type of Spec.	Spec.	P _{max} (ton)	Stress ratio	Gross section area (mm ²)	σ_{max} (MPa)	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_y}$	Net section area (mm ²)	σ'_{max} (MPa)
H/T Bolt	HTB1	20	0.1	720	277.8	0.88	580	344.8
	HTB2	17.6			244.4	0.78		303.4
	HTB3	16			222.2	0.71		275.9
	HTB4	16			222.2	0.71		275.9
	HTB5	14.4			200.0	0.64		248.3
	HTB6	14.4			200.0	0.64		248.3
	HTB7	12.8			177.8	0.57		220.7
	HTB8	12.8			177.8	0.57		220.7
	HTB9	10.8			150.0	0.48		186.2
H/T Bolt	TSB1	17.6	0.1	720	244.4	0.78	580	303.4
	TSB2	16			222.2	0.71		275.9
	TSB3	16			222.2	0.71		275.9
	TSB4	14.4			200.0	0.64		248.3
	TSB5	14.4			200.0	0.64		248.3
	TSB6	14.4			200.0	0.64		248.3
	TSB7	12.8			177.8	0.57		220.7
	TSB8	12.8			177.8	0.57		220.7
	TSB9	12.8			177.8	0.57		220.7
	TSB10	10.8			150.0	0.48		186.2

피로시험은 전기 유압식 피로시험기를 이용하여 하중 반복주기를 20Hz로 실시하였다. 시험편 체결후 Fig. 2.1과 같이 p1, p2, p3 및 p4로 게이지 번호를 부여하되 시험편 장착시 p1이 윗쪽으로 가도록 하였다.

피로시험에 앞서 피로시험시 적용되는 최대 하중에서의 변위상태를 측정하기 위하여 정적인 상태에서 최대하중을 인장력으로 2~4회 반복재하하여 하중변화에 따른 시험편 변형과 볼트의 축변형을 관계를 조사하였다.

3. 시험 결과 분석

3.1 볼트 축력의 감소

Fig. 3.1과 3.2는 시험편을 체결한 이후 120시간까지의 축력 감소상태를 나타내는 실험데이터 중에서 HTB6과 TSB5에 대한 측정 결과이다.

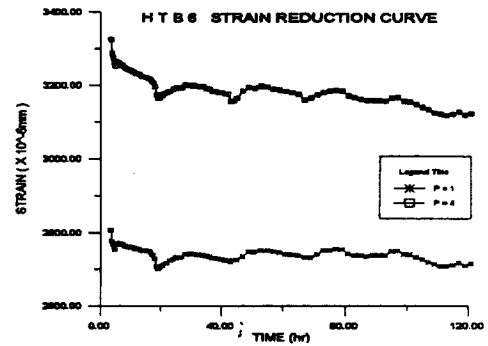


그림 3.1 H/T 볼트의 축력 감소

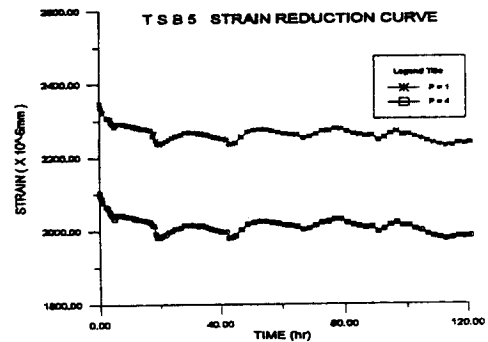


그림 3.2 T/S 볼트의 축력 감소

그림에서 나타나는 반복적인 굴곡현상은 변형을 측정시 낮과 밤의 온도차에 의해 발생된 것으로 판단된다. 같은 시간에 측정된 서로 다른 게이

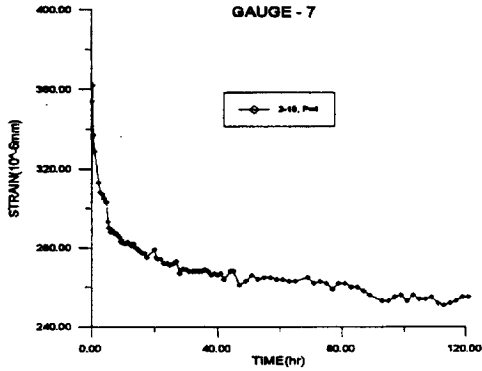


그림 3.3 Gauge-7과 4의 온도보정

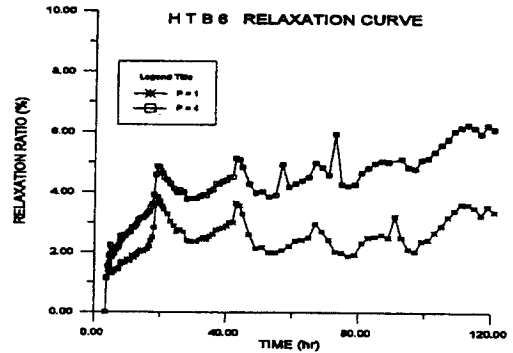


그림 3.5 H / T 볼트의 이완율(relaxation ratio)

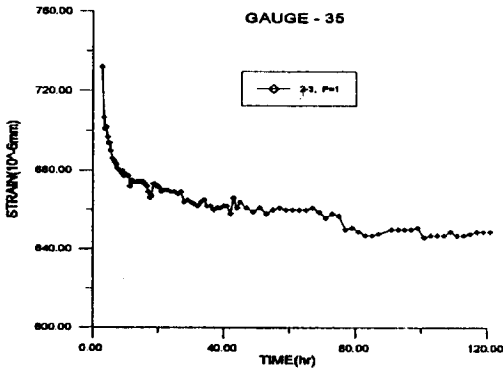


그림 3.4 Gauge-35와 4의 온도보정

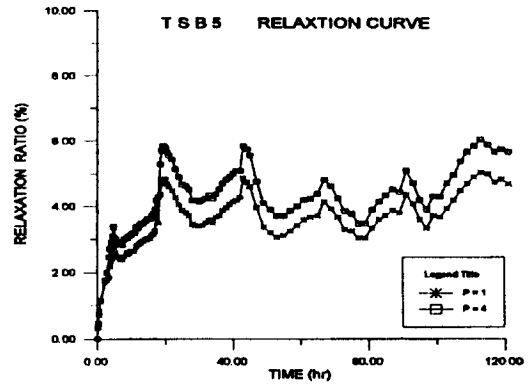


그림 3.6 T / S 볼트의 이완율(relaxation ratio)

지들로부터 측정값의 차를 보인 것이 Fig. 3.3 과 3.4이다.

물론 Fig. 3.3 과 3.4의 경우, 두 개의 볼트 게이지에서 발생되는 축력의 변화가 서로 복합된 결과로서 게이지 단독으로 나타난 축력의 변화는 아니지만, 온도의 영향은 없어진 상태로써 최초 12시간 정도에 이미 70~80% 정도의 축력 감소가 완료되고 있음을 알 수 있다(그림3.3 및 3.4 참조).

Fig. 3.5와 3.6은 H/T 및 T/S볼트 축력의 감소량을 백분율로 환산하여 표시한 것(이완율)으로써, 각 볼트 마다 초기에 도입된 축력의 이완율이 1일 동안에 급격히 감소한 후, 서서히 감소량이 줄어들고 있는 모습으로, 감소량의 크기는 다양한 양상을 나타내고 있지만, 실험된 시험편의 모든

볼트에 있어서 최대 감소량은 10%를 초과하지 않는 것을 데이터 분석 결과 확인 하였다.

따라서, 시방서에서 볼트 체결시 체결력에 10%를 더하여 체결하라는 규정이 타당하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.5와 3.6은 HTB6과 TSB5 시험편의 초기 축력 도입 직후부터 120시간이 경과되는 동안의 이완(relaxation) 상태를 나타내고 있다.

3.2 하중 재하에 의한 시험편의 변위

피로시험에 앞서 피로시험시 적용되는 최대 하중하에서의 변위상태를 측정하기 위하여 정적인 상태에서 최대하중을 인장력으로 2~4회 반복재하하였다($P_0 \rightarrow P_{max} \rightarrow P_0$). 최대하중이 $P_{max} = 14$.

4ton인 경우에 대한 HTB6과 TSB6 시험편의 변위곡선은 Fig.3.7, 3.8과 같다.

하중 재하에 따른 시험편의 변위값들을 Table 3.1에 나타내고 있다. Table 3.1를 살펴보면 H/T 볼트 연결 시험편과 T/S 볼트 연결 시험편의 잔류변위값이 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

특히, 1회 하중재하시에는 두 종의 시험편에서 0.3~0.5mm의 큰 잔류변위를 보이고 있으나, 2회 하중재하시에는 0.00~0.03mm의 작은 변위로 연결이 안정됨을 보이고 있다.

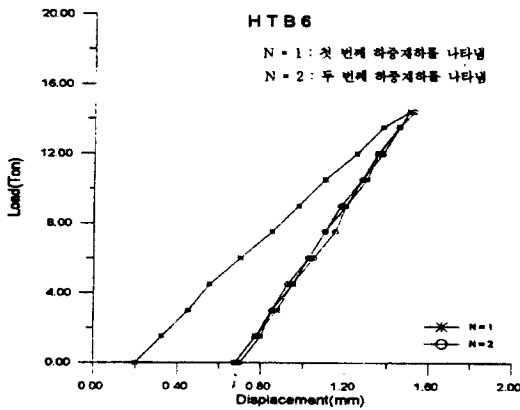


그림 3.7 HTB6 시험편의 잔류변위량

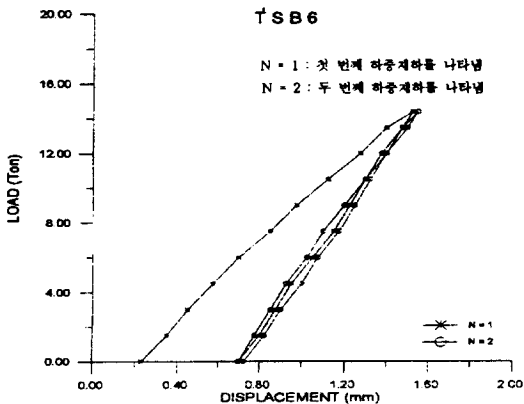


그림 3.8 TSB6 시험편의 잔류변위량

표 3.1 정하중 재하에 따른 시험편의 변위

Type of Spec.	Spec.	P _{max} (ton)	N=1 Displacement (mm)			N=2 Displacement (mm)					
			I.D.	M.D.	R.D.	I.D.	M.D.	R.D.			
H/T bolt	HTB3	16	0.2	1.63	0.75	0.55	0.75	1.65	0.75	0.00	
	HTB4	16	0.2	1.70	0.65	0.45	0.65	1.68	0.68	0.03	
	HTB6	14.4	0.2	1.50	0.68	0.48	0.68	1.53	0.70	0.02	
	HTB7	12.8	0.15	1.08	0.45	0.30	0.45	1.10	0.48	0.03	
	HTB8	12.8	0.33	1.23	0.60	0.27	0.60	1.48	0.60	0.00	
	HTB9	10.8	0.15	1.05	0.45	0.30	0.45	1.08	0.50	0.05	
	T/S bolt	TSB3	16	0.3	1.58	0.63	0.33	0.63	1.58	0.63	0.00
		TSB4	14.4	0.2	1.45	0.65	0.45	0.65	1.48	0.65	0.00
		TSB5	14.4	0.33	1.33	0.53	0.20	0.53	1.35	0.55	0.02
TSB6		14.4	0.23	1.53	0.70	0.47	0.70	1.55	0.73	0.03	
TSB7		12.8	0.28	1.20	0.58	0.30	0.58	1.20	0.60	0.02	
TSB8		12.8	0.25	1.15	0.55	0.30	0.55	1.20	0.58	0.03	
TSB9		12.8	0.18	1.10	0.45	0.27	0.45	1.10	0.48	0.03	
TSB10		10.8	0.3	1.20	0.60	0.30	0.60	1.20	0.60	0.00	

- * I.D. : Initial Displacement
- * M.D. : Max Displacement
- * R.D. : Residual Displacement
- * N : Number of Loading cycle

3.3 시험편의 구조해석

본 연구에서 사용된 T/S 볼트 연결 시험편을 범용 구조해석용 프로그램을 이용하여 해석하기 위해 Fig. 3.9와 같이 시험편의 대칭성을 이용하여 1/4만을 모델링하여 해석을 수행하였다.

구조해석은 각각의 볼트 축력과 인장응력에서 마찰계수를 수정하며, 미끄러짐이 발생하지 않을 때까지 여러차례 반복 수행하였다.

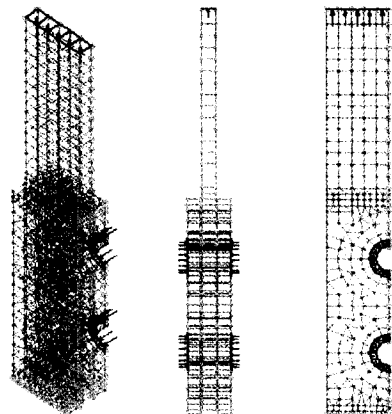


그림 3.9 시험편의 모델형상과 경계조건

Fig. 3. 10은 해당 축력과 응력에서 미끄러짐이 발생하지 않는 위치를 나타낸 것으로, 응력이 22kgf/mm²일때는 점차 감소하는 형태를 보이고 있으며, 18kgf/mm²일때는 규칙성을 보이지 않고 축력이 10ton 일때와 13ton에서 어떤 불안정한 요인으로 현저한 값의 변화를 보이고 있다. 그러나 모든 시험에 적용된 마찰계수는 0.4 이상의 값으로, 시방서상의 기준을 만족하고 있다.

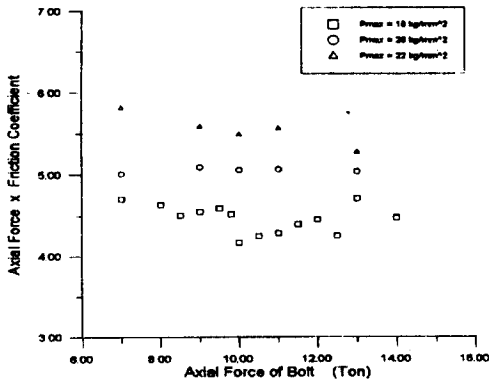
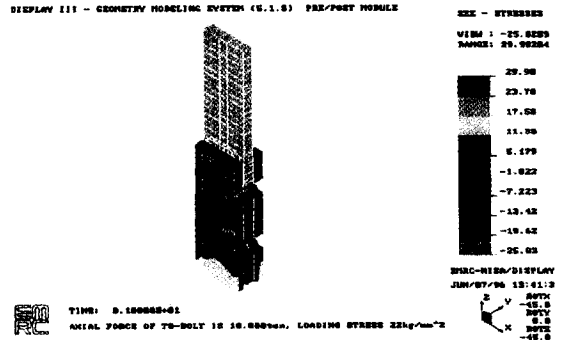


그림 3.10 볼트축력과 마찰계수와의 상관도

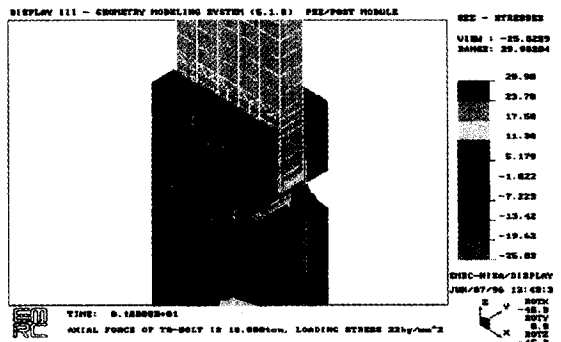
Fig. 3.11은 볼트의 축력이 10ton일때 시험편 축방향 인장력에 의해 발생하는 모재의 총단면적에 대한 수직응력(이하 간단히 “응력”이라한다)이 22kgf/mm²일 때 z 축방향으로 발생하는 수직응력분포(이하 “응력분포”)를 나타내고 있다.

Fig. 3.11에 따르면 이음판 보다는 모재에 훨씬 큰 응력이 발생되며, 볼트 구멍 주위로 볼트의 축력에 의해 압축응력이 작용하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3.11 b)는 Fig. 3.11 a)의 볼트구멍 주위를 확대한 것이다.

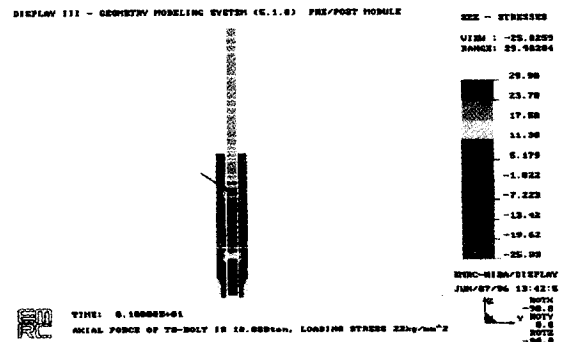
시험편 모재의 볼트구멍 주위에 빨간색을 띠는 부분(Fig. 3.11 c), d)의 화살표 부분, Fig. 3.12~3.14 참조)이 가장 큰 응력이 작용하는 곳으로, 이 부분의 응력집중에 의해 균열이 발생하여 파단에 이르는 것으로 판단된다. Fig. 3.11 c)는 볼트구멍 주위의 응력분포를 더 자세히 살펴보기 위해 시험편 우측에서 바라본 응력 분포를 보여주고 있다.



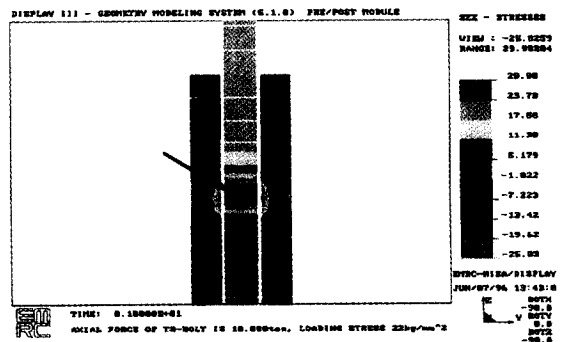
a) Isometric view



b) Isometric view - zoom

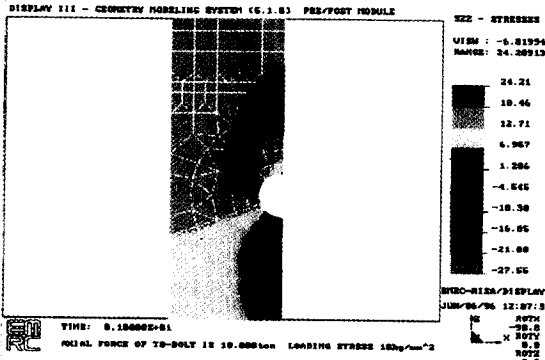


c) Right view

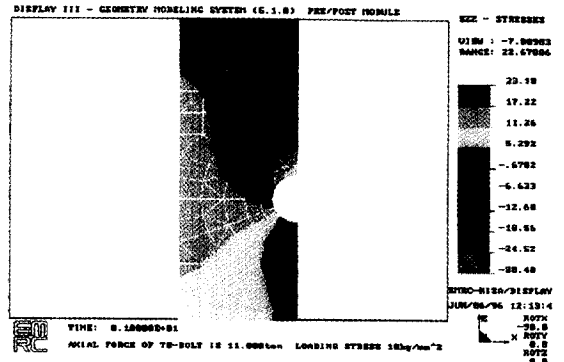


d) Right view - zoom

그림 3.11 시험편의 응력분포 상태

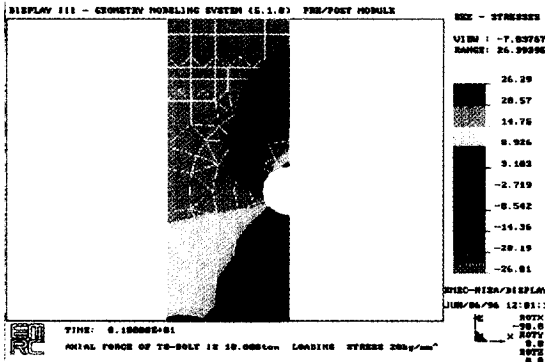


마찰계수 : 0.4165, $\sigma_{max}=24.21$ $\sigma_{min}=-27.55$

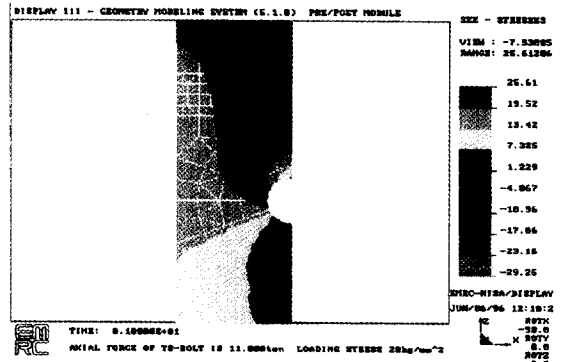


마찰계수 : 0.389, $\sigma_{max}=23.18$ $\sigma_{min}=-30.48$

재하 응력 범위($\Delta\sigma=18\text{kgf/mm}^2$)

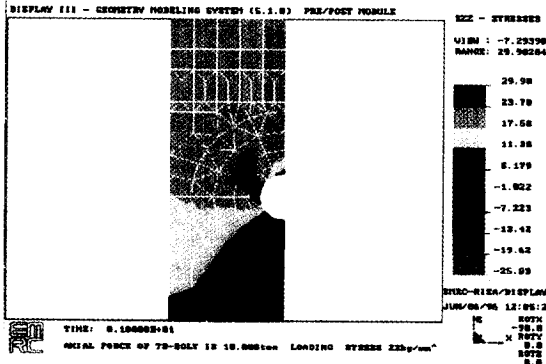


마찰계수 : 0.505, $\sigma_{max}=26.39$ $\sigma_{min}=-26.81$



마찰계수 : 0.460, $\sigma_{max}=25.61$ $\sigma_{min}=-29.25$

재하 응력 범위($\Delta\sigma=20\text{kgf/mm}^2$)



마찰계수 : 0.548, $\sigma_{max}=29.98$ $\sigma_{min}=-25.83$



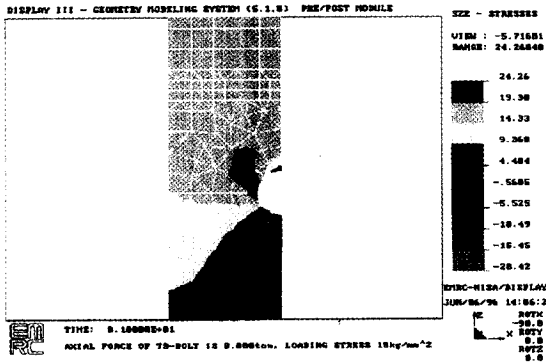
마찰계수 : 0.505, $\sigma_{max}=29.03$ $\sigma_{min}=-28.61$

재하 응력 범위($\Delta\sigma=22\text{kgf/mm}^2$)

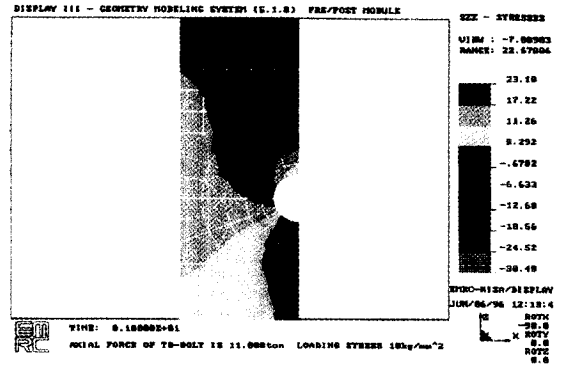
볼트 축력이 10ton인 경우

볼트 축력이 11ton인 경우

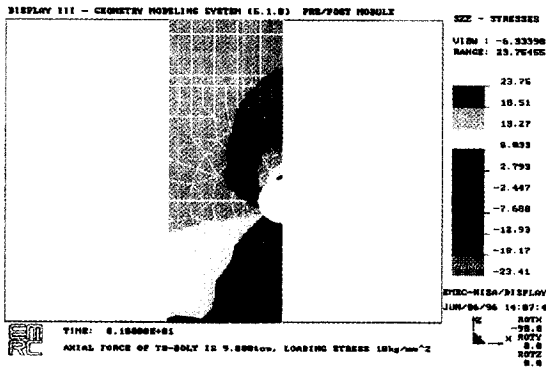
그림 3.12 응력의 증가에 따른 마찰계수의 변화, 볼트 축력이 10ton인 경우 볼트 축력이 11ton인 경우



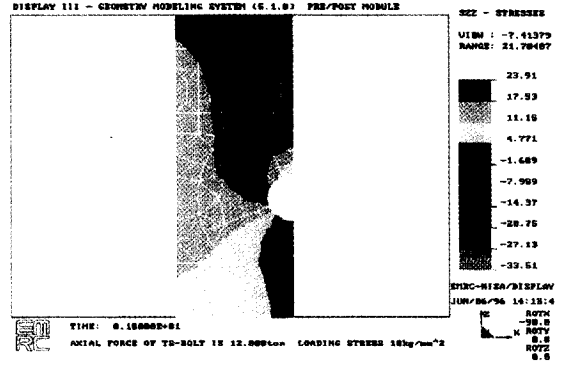
마찰계수 : 0.579, 볼트축력=8ton
 $\sigma_{max}=24.26$ $\sigma_{min}=-20.42$



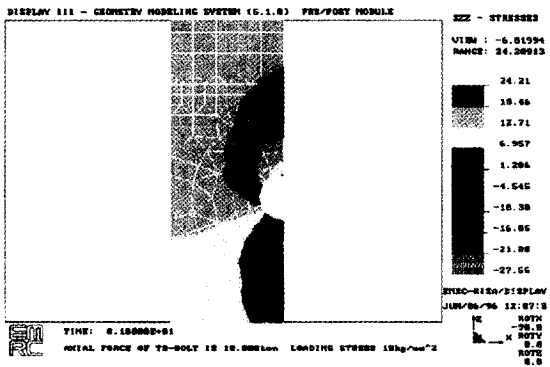
마찰계수 : 0.389, 볼트축력=11ton
 $\sigma_{max}=23.18$ $\sigma_{min}=-30.48$



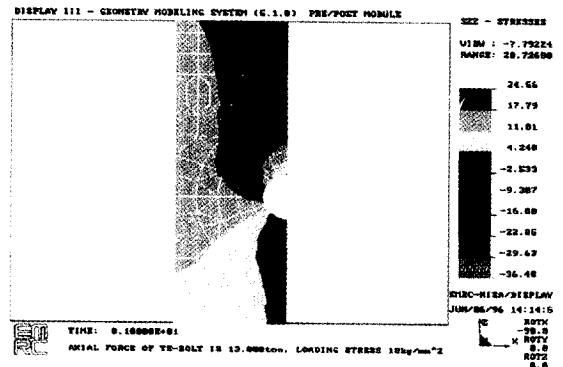
마찰계수 : 0.505, 볼트축력=9ton
 $\sigma_{max}=23.75$ $\sigma_{min}=-23.41$



마찰계수 : 0.3708, 볼트축력=12ton
 $\sigma_{max}=23.91$ $\sigma_{min}=-33.51$



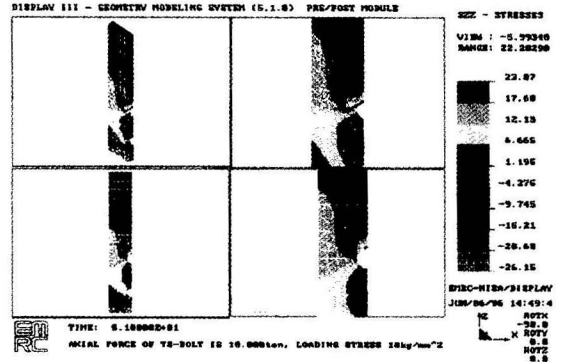
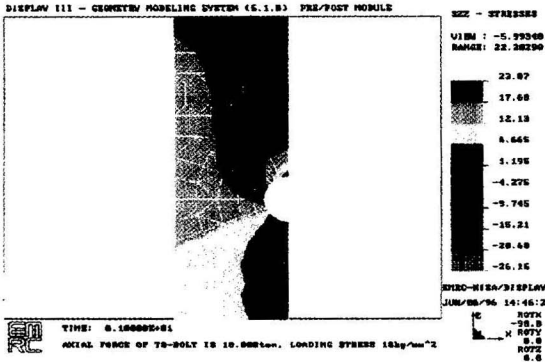
마찰계수 : 0.4165, 볼트축력=10ton
 $\sigma_{max}=24.21$ $\sigma_{min}=-27.55$



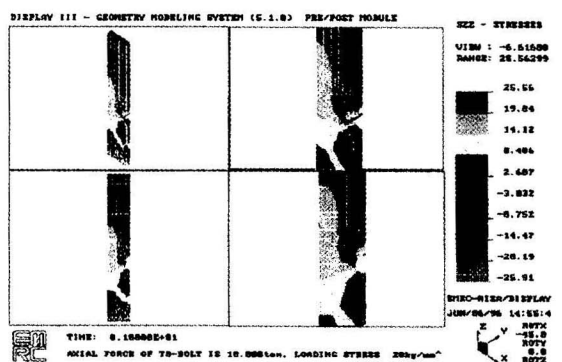
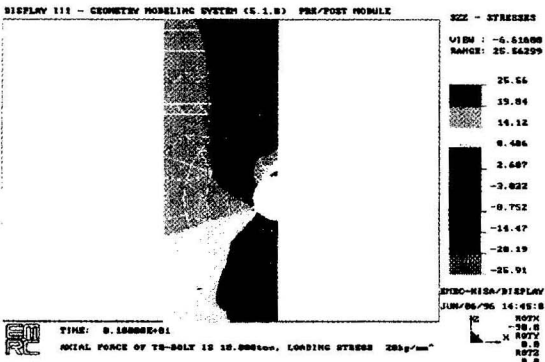
마찰계수 : 0.362, 볼트축력=13ton
 $\sigma_{max}=24.56$ $\sigma_{min}=-36.40$

재하 응력 범위 ($\Delta\sigma=18 \text{ kgf/mm}^2$)

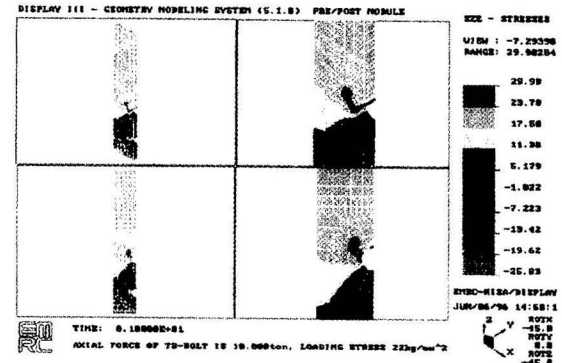
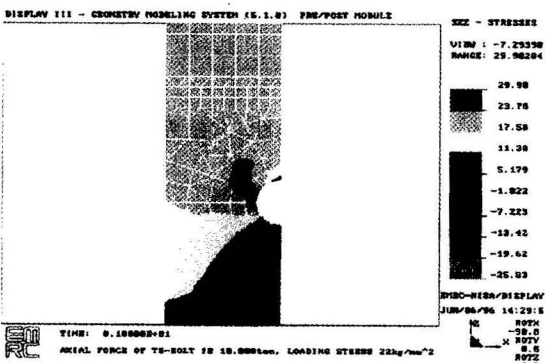
그림 3.13 볼트 축력에 따른 마찰계수의 변화



제하 응력 범위 ($\Delta\sigma=18\text{kgf/mm}^2$)
 발생응력 ($\sigma_{\text{max}}=23.07$ $\sigma_{\text{min}}=-26.15$)



제하 응력 범위 ($\Delta\sigma=20\text{kgf/mm}^2$)
 발생응력 ($\sigma_{\text{max}}=25.56$ $\sigma_{\text{min}}=-25.91$)



제하 응력 범위 ($\Delta\sigma=22\text{kgf/mm}^2$)
 발생응력 ($\sigma_{\text{max}}=29.98$ $\sigma_{\text{min}}=-25.83$)

그림 3.14 볼트 축력이 10ton, 마찰계수 0.548로 일정할 경우 응력분포

Fig. 3.11 d)는 Fig. 3.11 c)를 확대한 것으로 볼트 구멍주위의 응력분포를 더 자세히 볼 수 있다. 그림에서 모재에 발생된 응력은 볼트 구멍 주위에 발생된 응력을 제외하고는 적은 응력이 분포됨을 알 수 있다.

Fig. 3.12는 볼트 축력이 각각 10ton, 11ton 일 때, 시험편에 가해지는 응력이 18kgf/mm², 20kgf/mm², 22kgf/mm²로 증가 하면서, 미끄러짐이 발생하지 않는 마찰계수와 그때의 응력분포를 나타내고 있다.

응력이 커질수록 필요로 하는 마찰계수도 커짐을 알 수 있으며, 또한 상대적으로 체결 볼트 축력이 클 때 필요로 되는 마찰계수가 작음을 알 수 있다.

Fig. 3.13은 응력이 18kgf/mm²로 일정하고 볼트축력이 각각 8ton, 9ton, 10ton, 11ton, 12ton, 13ton 일 때, 미끄러짐이 발생하지 않을 때의 마찰계수와 응력분포를 보이고 있다. 이때는 볼트축력이 증가할수록 마찰계수 값이 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 3.14는 볼트축력이 10ton, 마찰계수가 0.548로 일정할 때, 응력이 증가함에 따라 시험편에 분포되는 발생응력분포를 보여주고 있다. 시험편에 가해지는 응력이 증가할수록 시험편에 나타나는 최대(인장)응력의 증가가 최소(압축)응력의 감소보다 더욱 심한 것을 확인하였다.

실험에 따르면, 최소 미끄럼 하중이 16,800kg으로 이는 공칭응력 23.3kgf/mm²에 해당하여, 위 계산 결과는 충분히 안전측에 있음이 확인 되었다.

3.4 시험편의 파단

각 시험편의 피로시험 결과 반복적인 피로하중에 의한 파단이 볼트 연결부 주위에서 Fig. 3.15와 같이 발생하였다. Fig. 3.15에서 보여주는 시험편의 파단 상태는 일반적인 파단 양상을 포함하여 다음과 같은 3가지 형태로 나타나고 있다.

굵은 실선으로 표시한 TSB4는 $\Delta\sigma$

=18kgf/mm²에서 200만회를 초과하여 볼트 구멍 주위의 응력집중부에서 파단이 시작되었고, 가는 실선으로 표시한 파단은 모두 $\Delta\sigma=20kgf/mm^2$ 의 크기에서 발생하는 양상을 보이고 있다. HTB8은 200만회를 초과하여 모재의 결합부분에서 응력집중에 의해 파단이 시작되었으며, 나머지는 볼트의 와서 외각 근방 모재의 중앙 부분에서 파단이 시작되었다.

점선으로 표시된 바와 같은 모재의 중앙에서 파단이 일어나는 이유는 H/T 볼트 연결시 마찰접합을 이용하기 때문에 반복하중을 받게되면 마찰접합부에서 일체화된 구간과 비일체화된 구간이 발생하여 이들 구간의 경계 부분에서의 응력 집중현상으로 인하여 파괴에 이르는 것으로 판단된다.

이러한 파단은 응력이 20kgf/mm²이상일 때의 양상으로서 과대하중 진폭 재하로 인하여 대부분 200만회 이전에 모두 파단되었다. Photo 3.1은 시험편의 파단 모양을 보여주고 있다.

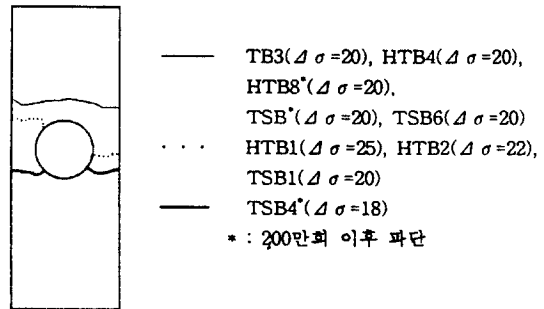


그림 3.15 시험편의 파단 위치

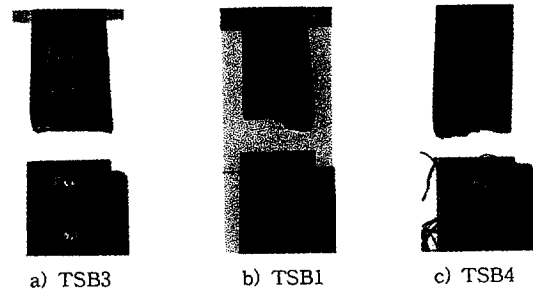


Photo 3.1 시험편의 파단 모양

3.5 반복하중에 의한 H/T 및 T/S 볼트의 변형률

각각의 하중에 의한 피로 시험 결과, H/T 및 T/S 볼트의 반복하중에 의한 변형률 곡선은 Fig. 3.16 및 3.17과 같이 볼트의 변형률은 반복회수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 알 수 있다.

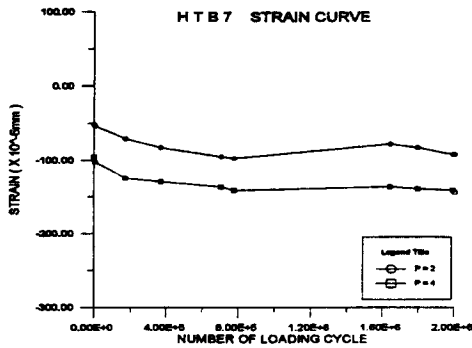


그림 3.16 H/T 볼트의 변형률 곡선

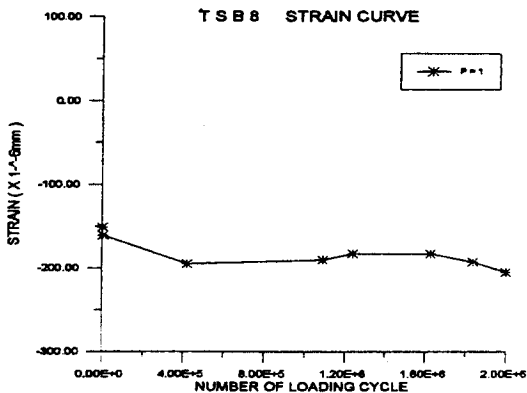


그림 3.17 T/S 볼트의 변형률 곡선

H/T와 T/S 볼트를 비교하여 보면 피로 시험에 따른 변형률의 변화에서는 큰 차이를 보이지 않는다.

3.6 S-N선도 및 피로 강도

H/T 볼트 연결 시험편 9개와 T/S 볼트 연결 시험편 10개에 대한 피로 시험 결과를 Table 3.2

에 나타내었다. 또한 JSSC 와 AASHTO 피로 설계 기준에 비교한 S-N선도가 Fig. 3.18에 보이고 있다.

Fig. 3.18 a)를 살펴보면, JSSC 설계기준상에서 H/T 와 T/S 볼트 연결 시험편은 B등급에 속함을 알 수 있다. 그러나, AASHTO 설계기준상 (Fig. 3.18 b))에서는 H/T와 T/S 볼트 연결 시험편 모두 A등급에 속함을 알 수 있다.

표 3.2 피로시험 결과

Type of Spec.	Spec.	σ_{max} (MPa)	Num. of Cycles	Remark
H/T bolt	HTB1	227.8	1,143,500	F
	HTB2	244.4	1,738,590	F
	HTB3	222.2	1,700,000	F
	HTB4	222.2	2,240,000	F
	HTB5	200.0	2,000,000	N.F
	HTB6	200.0	2,000,000	N.F
	HTB7	177.8	2,000,000	N.F
	HTB8	177.8	3,875,000	F
	HTB9	150.0	2,554,000	N.F
T/S bolt	TSB1	244.4	1,200,000	F
	TSB2	222.2	2,000,000	N.F
	TSB3	222.2	6,818,400	F
	TSB4	200.0	3,526,800	F
	TSB5	200.0	2,285,000	N.F
	TSB6	200.0	1,769,400	F
	TSB7	177.8	2,000,000	N.F
	TSB8	177.8	2,000,000	N.F
	TSB9	177.8	4,000,000	N.F
	TSB10	150.0	2,000,000	N.F

* F : Failure * N.F : Not Failure

4. 결론

강구조물의 현장 조립시 가장 많이 이용되는 볼트의 마찰접합 연결부에 대한 H/T 및 T/S 볼트 연결 시험편의 피로 거동을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

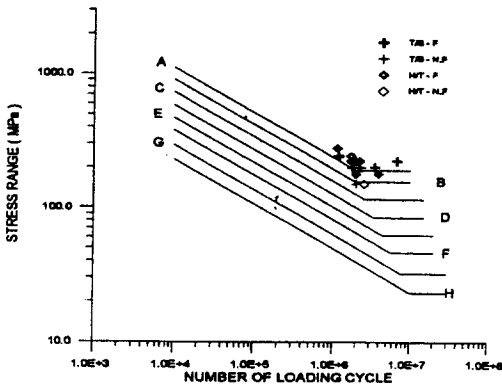
1. H/T 와 T/S볼트 연결 시험편의 축력 감소 현상은 체결이후 1일 이내에 급격히 진행되고, 이후 부터는 서서히 감소함을 알 수 있었다.

2. 초기 축력의 감소율은 H/T 와 T/S볼트 시

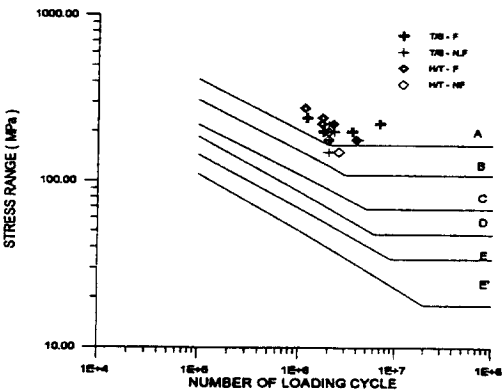
험편 모두에서 다양한 양상을 보이지만 최고치는 10%를 넘지 않음을 알 수 있었다.

3. H/T와 T/S볼트 연결 시험편의 피로 시험에 의한 피로파괴의 시작점은 어느 연결에서나 공히 볼트 구멍의 노치부, 모재의 결합부, 모재 마찰 접합부의 일체화 구간과 비일체화 구간의 경계부에서 시작되고 있었다.

가해지는 공칭 응력 범위가 18kgf/mm²에서는 볼트 구멍의 노치부에서, 20kgf/mm²에서는 모재



a) JSSC 설계기준과의 비교



b) AASHTO 설계기준과의 비교

그림 3.18 S-N선도

의 결합부에서 그리고 22, 25kgf/mm²으로 공칭 응력이 커질수록 마찰접합부의 일체화 구간과 비일체화 구간의 경계부에서 파단되고 있음을 알 수

있었다.

4. H/T와 T/S볼트 연결 시험편의 피로 시험 결과, JSSC 피로설계 기준으로는 B등급에 속하였지만, AASHTO시방에 의존하고 있는 국내 도로교 시방서를 준용할 경우는 같은 A등급으로 처리될 수도 있음을 확인할 수 있었다.

5. 본 연구에서 사용된 T/S볼트 연결 시험편을 모델링하여 구조해석한 결과와 실험결과를 비교하여 보면, 본 연구에서 사용된 시험편에 도입된 마찰계수는 시방서상의 0.4보다 큰값이 발휘된 것으로 판단된다.

6. 본 연구의 실험 결과, 도로교 시방서 설계편의 허용응력을 벗어나는 볼트 이음이 없었던 점으로 미루어 T/S볼트의 사용성에 대해서 현저히 문제시되는 부분은 없는 것으로 판단된다. 다만, T/S볼트의 보다 폭넓은 사용을 위해서는 T/S볼트에 대한 더 많은 연구와 철저한 품질관리가 이루어져야한다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Hansen, N. G., "Fatigue tests of Joints of High Strength Steel", Journal of the Structural Division, proc. of ASCE, 1959, 3
2. Lewitt, C. W., Chesson, E. Jr. and Munse, W. H., "Riveted and Bolted Joints: Fatigue of Bolted Structural Connections", Journal of the Structural Division, Proc. of ASCE, 1963, 2
3. 田島二郎, "60kg/mm²高張力鋼のリベットおよびボルト継手の静的ならびに疲勞強度", 鐵道技術研究報告, No. 283, 1962, 4
4. 日本建築學會, "高力ボルト接合設計施工指針", 1993
5. 김상섭, "H/T 볼트 및 T/S볼트의 품질관리", 대건사, 1994
6. 韓國鋼構造學會, "鋼構造 便覽", 동양문화 인쇄사, 1995
7. 건설부, "도로교 표준 시방서", 기문당, 1992
8. 김대영, "鋼鐵道橋 連結部の 被勞舉動에 關한 研究", 박사학위논문, 한양대학교, 1995