

# 표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성에 관한 연구

## A Study on the Characteristics of High-Tension Bolted Joints' Behavior due to Surface Condition

조 선 규<sup>1)</sup> · 홍 성 옥<sup>2)</sup>  
Cho, Sun Kyu · Hong, Sung Wook

요 약 : 본 연구에서는 숏브라스트한 후 무기징크 페인트로 도장한 무기징크면, 연마면, 흑피면에 대하여 정적 및 피로시험을 수행하여 기존의 연구결과와 비교평가함으로써 마찰면의 표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 정적 및 피로거동을 규명하고자 하였다. 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 일련의 정적 및 피로시험을 실시하고 토크관리법의 타당성 평가, 미끄러짐계수의 도출, 도입축력의 감소를 규명, 피로강도의 평가, 마찰면의 압축력 분포 조사 등을 수행하였다. 본 실험결과와 기존 연구자들의 연구결과를 종합적으로 검토한 결과 볼트의 설계축력 도입을 위한 토크관리법은 타당하며, 시간경과 및 반복하중의 작용에 따른 축력감소율을 고려할 때 설계축력의 110%로 초기축력을 도입하도록 규정 한 시방서 기준은 적합한 것으로 평가되었다. 시간경과에 따른 도입축력의 초기감소율은 경과시간의 상용로그에 비례하는 것으로 나타났으며, 도입직후 약 20시간이 경과하면 일정한 값으로 수렴되고 있음을 알 수 있었고 이들은 마찰면의 표면조도와는 상관관계가 없는 것으로 평가되었다. 미끄러짐계수는 연마면, 무기징크프라이머 도포면, 흑피면 순으로 크게 나타났으며 미끄러짐하중은 도입축력에 크게 좌우되나 도입축력이 크면 마찰면의 표면조도의 손상으로 인하여 미끄러짐계수가 작아져 도입축력과 미끄러짐하중 사이에는 선형적 비례관계가 성립되지 않음을 알 수 있었다. 마찰면의 압축력 분포를 조사한 결과 내측볼트 주변의 마찰면적이 외측볼트 주변보다 용력방향에 있어서 더 넓게 분포하고 있는 것을 알 수 있었으며, 이는 외측볼트로부터 마찰접합에서 지압접합으로 천이되고 있는 것으로 판단 된다.

ABSTRACT : In this study, the static and the fatigue tests were performed with high tension bolted joints, of which the surfaces were spread with inorganic zinc-primer after shot-blast, and milling surface, and steel-natural surface. difference of friction surface condition were examined by comparing the results

1) 정회원 : (주) 서영기술단 전무이사  
2) 학생회원 : 한양대학교 토목공학과 박사과정

본 논문에 대한 토의를 97년 12월 30일까지 학회로 보내 주시면, 토의회답을 게재하겠습니다.

of tests. From the result of synthetical investigation of this study, it is proper that using the torque management method in order to introduce design axial force to bolts, and the provision of specifications that initial axial forces must be 110% of design axial forces is proper. Decreasing ratio of axial forces to initial force is proportional to common logarithms of time progress, it converge constant value after 20 hours, and decreasing ratio is little related to the roughness of friction surface. Sliding coefficient of milling, spreading inorganic zinc-primer, just producing is great in order and sliding forces are dependent on the applied axial forces, but if the applied axial forces are great, sliding coefficient become small by a loss of roughness. So it is confirmed that relation between the applied axial forces and the sliding forces are not proportional linearly. From the result of estimation on fatigue strength, all specimens satisfy the specifications with B-grade and milling surface is lower than the others about 14% in fatigue strength because in milling surface lose the function of friction-types joints at lower number of cycles. From the result of examination for the distribution area of compressive force, friction area near to inside bolt is wider in the direction of stress than near to outside. It is guessed that this situation occurs because outside bolts firstly change from the friction connection to the bearing connection.

핵심용어 : 고장력볼트, 표면상태, 연마면, 흑피면, 무기징크프라이머 도포면, 피로강도  
 KEYWORDS : High-Tension Bolted Joints, Surface Conditions, Milling Surface, Inorganic Zinc-Primer after Shot-Blast, Fatigue Strength

## 1. 서론

최근에 접어들면서 차량의 중량화, 물동량의 증가에 따라 교량구조물의 건설이 활발하게 추진되고 있는 실정이며, 설계기술과 시공기술이 발달함에 따라 강교량의 시공이 점차적으로 증가하고 있는 추세이다.

이러한 강교량을 시공하는 경우 불가피하게 이음부가 존재하게 되고 이음부는 용접이나 리벳 또는 고장력볼트를 이용하여 연결되고 있다.

이 중 용접에 의한 이음방법은 공장용접의 경우 공업규격에 따른 품질관리규정에 의해 시공되므로 대체적으로 그 신뢰성이 인정되지만 실제적

으로는 반드시 현장용접이 필요하게 되고 현장용접인 경우 용접기능공의 숙련도 및 작업조건에 따라 이음부의 신뢰성이 좌우되어 현장에서의 품질관리가 어렵다. 또한 용접시공후 각종 비파괴시험에 의해서도 용접검사를 확실하게 수행하기 어렵기 때문에 주로 품질관리가 용이한 고장력볼트를 이용한 이음방식을 채택하고 있다.

고장력볼트 마찰이음은 현재 강구조물의 연결에 사용되고 있는 이음방법 중의 하나로서 이러한 이음방법은 모재에 덮개판(Splice Plate)을 부착하여 고장력볼트의 항복응력에 가까운 높은 체결력을 도입하여 체결함으로써 모재와 덮개판 사이에 높은 압축력을 전달하여 외력을 전달하는 힘의

기구를 가지고 있다.

따라서 고장력볼트 이음부는 보통 볼트나 리벳을 사용하여 연결하는 경우 주로 발생하는 국부적인 응력집중현상이 나타나지 않고 응력이 보다 원활하게 전달되어 반복적으로 작용하는 하중에 대해서 높은 피로강도를 나타낸다.

고장력볼트 마찰이음의 경우에는 고강도의 볼트를 사용하여 항복응력에 가까운 높은 축력을 도입하여 체결하고 이러한 체결력을 장기간 유지하는 것을 기본적인 조건으로 하고 있으므로 볼트체결시 정확한 축력의 도입과 체결후 축력의 관리가 중요한 문제가 된다. 이 경우 일반적으로 토크계수를 이용하여 축력을 관리하지만 작업환경이 불량한 경우에는 토크계수를 관리하는 것은 쉽지 않게 된다.

또한 하나의 이음부에 많은 고장력볼트를 배치하는 경우에는 체결방법, 체결순서 등에 따라 기존에 도입된 축력이 크게 변동하여 체결이 완료된 볼트에 있어서도 장기간 시간이 경과함에 따라 축력이 감소되는 현상인 릴렉세이션(Relaxation)이 문제로 되며, 고장력볼트 마찰이음부의 역학적 성상에 대해서도 마찰이음부에서의 미끄러짐 내력, 즉 마찰면의 표면상태와 미끄러짐계수와의 관계가 명확하게 규명되지 못하는 문제가 있다.

고장력볼트 마찰이음에 대한 연구는 마찰이음부에 대한 해석의 어려움 및 미끄러짐 발생기구의 복잡함 등으로 인하여 기존에 수행된 연구에서는 주로 실험적 연구가 대다수를 차지하고 있는 실정이다.

Hansen과 Lewitt는 고장력볼트 마찰이음부의 피로강도는 모재의 정적인장강도와 밀접한 관계가 있으며, 고장력볼트 이음이 리벳이음보다 피로강

도가 우수하다고 하였다. 그리고 三木은 고장력볼트 마찰이음부에 대한 연구에서 볼트의 지름이 크거나 강도가 높은 고장력볼트를 사용하여 높은 체결력을 도입한 경우 문제점이 발생할 수 있고 특히 볼트구멍 근처에서 항복한 경우에 그 영향이 크다고 하였다. 또한 山田은 고장력볼트와 리벳연결부의 피로실험 결과를 데이터베이스화하여 피로설계 기준상의 허용피로강도와 구분하였다.

따라서 본 연구에서는 표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성을 규명하기 위해서 표면상태를 연마면, 흑피면, 무기징크면으로 구분하여 정적실험과 피로실험을 실시하여 마찰면의 표면상태에 따른 미끄러짐 내력의 변화유무, 피로강도의 차이를 규명하였으며, 마찰면의 표면상태에 따라 시간의 경과에 의한 도입축력의 감소효과를 규명하기 위해서 축력도입직후 도입축력의 감소량과 반복하중의 작용에 따른 축력의 장기감소량을 측정하였다.

## 2. 실험방법

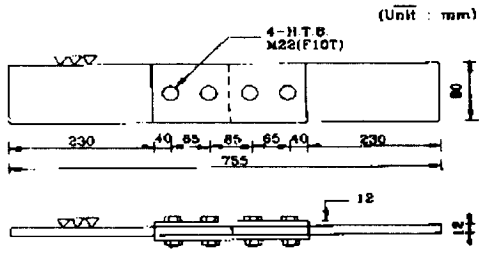
### 2.1 실험체

본 실험에서 사용된 고장력볼트 시험체의 모재와 덮개판은 SWS 490B의 강재를 사용하였으며, 이에 대한 화학성분 및 역학적 성질은 표 1과 같으며, 시험체의 형상 및 치수는 그림 1과 같다.

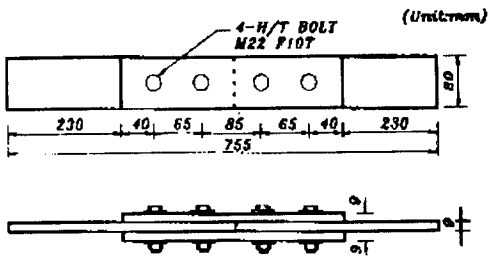
또한 본 연구에서 사용된 고장력볼트는 강교량의 연결시 주로 사용되는 고장력볼트인 M22(F10T)를 사용하였으며, 고장력볼트에 대한 물리적 성질은 표 2와 같고 고장력볼트와 너트, 와셔의 화학성분 및 경도는 표 3과 같다.

표 1. 모재 및 덮개판의 화학성분 및 역학적 성질

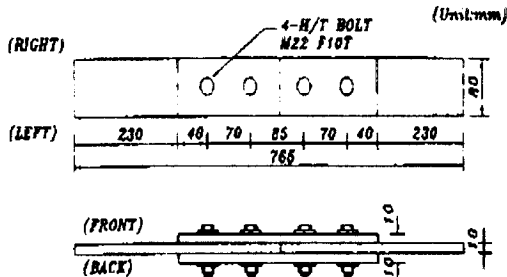
강종	화 학 성 분 (%)					역 학 적 성 질			
	C	Si	Mn	P	S	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	신장율 (%)
SWS 490B	0.16	0.38	1.23	0.012	0.009	368.3	529.2	205274.5	23.0



(a) 연마면



(b) 쪽파면



(c) 부가장르면

그림 1. 시험체의 형상 및 치수

표 2. 고장력볼트의 역학적 성질

볼트종류	역학적 성질			
	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	단면수축률(%)	신장률(%)
M22(F10T)	527	1077	65.7	20.5

표 3. 고장력볼트와 너트, 와셔의 화학성분 및 경도

종류	화 학 성 분 (%)						경 도 (HRC)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
볼트	0.20	0.22	0.79	0.014	0.008	0.8	33.5
너트	0.43	0.26	0.70	0.015	0.014	-	25.5
와셔	0.44	0.19	0.72	0.016	0.004	-	42.0

## 2.2 실험방법

고장력볼트 마찰접합면의 표면상태에 따른 도입축력의 감소효과를 규명하기 위해서 그림 2와 같이 볼트축부에 전기저항식 변형률게이지를 부착하고 볼트체결시 측정되는 변형률값으로부터 축력이 정확하게 도입되었는지를 확인한 후 축력도입 직후 시간경과에 따른 축력감소량을 측정하였으며, 반복하중의 작용에 따른 축력의 장기감소량을 측정하였다.

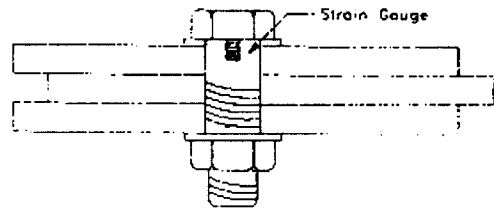


그림 2. 변형률게이지 부착위치(볼트축부)

또한 표면상태에 따른 미끄러짐 거동의 변화유무를 측정하기 위해서 45tonf의 인장시험기를 사용하여 그림 3과 같이 변위계를 부착한 후 모재와 덮개판 사이의 변위를 측정하였다.

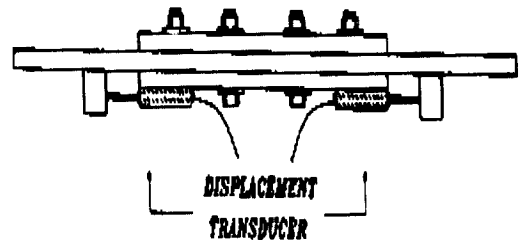


그림 3. 변위계 부착위치

표 4. 고장력볼트 마찰이음 시험체의 종류

표면상태	시험체번호	볼트축력	Pmax(ton)	Pmin(ton)	Pmin/Pmax	총단면적 (mm <sup>2</sup> )	최대 응력 (MPa)
연마면	M-HTB1	20.5	28	2.8	0.1	960	367.5
	M-HTB2	20.5	27	2.7	0.1	960	354.4
	M-HTB3	20.5	26	2.6	0.1	960	341.3
	M-HTB4	20.5	22	2.2	0.1	960	288.7
	M-HTB5	20.5	18	1.8	0.1	960	236.3
	M-HTB6	12.3	28	2.8	0.1	960	367.5
	M-HTB7	12.3	27	2.7	0.1	960	354.4
	M-HTB8	12.3	26	2.6	0.1	960	341.3
	M-HTB9	12.3	25	2.5	0.1	960	328.1
흑피면	H-HTB1	25.0	21	2.1	0.1	720	267.8
	H-HTB2	25.0	20	2.0	0.1	720	255.1
	H-HTB3	25.0	19	1.9	0.1	720	242.3
	H-HTB4	20.5	16.5	1.65	0.1	720	210.4
	H-HTB5	20.5	16.5	1.65	0.1	720	210.4
	H-HTB6	20.5	13	1.3	0.1	720	165.8
	H-HTB7	20.5	13	1.3	0.1	720	165.8
무 기 징크면	Z-HTB1	22.5	22	2.2	0.1	800	247.5
	Z-HTB2	22.5	22	2.2	0.1	800	247.5
	Z-HTB3	22.5	22	2.2	0.1	800	247.5
	Z-HTB4	22.5	20	2.0	0.1	800	225.0
	Z-HTB5	22.5	20	2.0	0.1	800	225.0
	Z-HTB6	22.5	20	2.0	0.1	800	225.0
	Z-HTB7	22.5	20	2.0	0.1	800	225.0
	Z-HTB8	22.5	18	1.8	0.1	800	202.5
	Z-HTB9	22.5	18	1.8	0.1	800	202.5

한편 피로실험은  $\pm 30\text{tof}$ 의 전기유압식 피로시험기를 사용하여 일정진폭의 반복하중이 작용하도록 하였으며, 파형은 정현파(Sine Wave), 하중 재하속도는 5Hz, 응력비는 0.1로 하여 실시하였다. 여기서, 피로시험을 실시하는 시험체는 설계 축력을 도입한 시험체의 초기축력의 감소가 거의 일정해진다고 생각되는 약 2일이 경과하도록 하였다.

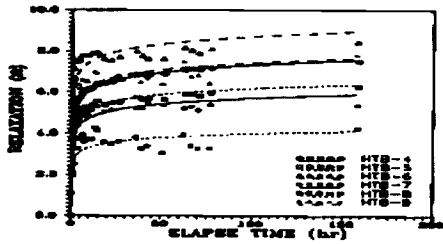
본 연구에서 사용된 시험체의 종류별 고장력볼트의 체결력, 재하하중 및 최대공칭응력은 표 4와 같다.

### 3. 실험결과 및 고찰

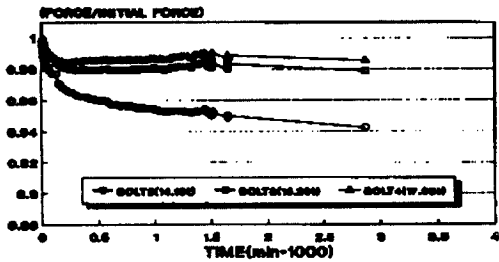
#### 3.1 시간경과에 따른 도입축력의 감소

본 실험에서는 시간경과에 따른 고장력볼트의 축력감소를 측정하기 위해서 그림 2에서와 같이 볼트축부에 전기저항식 변형률게이지를 부착하여 각 시험체에서 고장력볼트의 초기축력 변화를 측정하였으며, 시간경과에 따른 초기축력의 변화를 나타내면 그림 4와 같다.

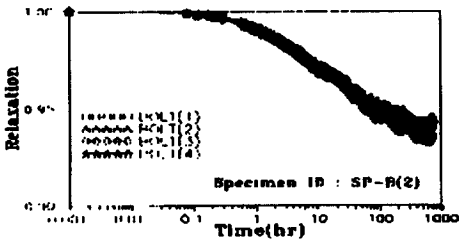
그림 4로부터 알 수 있는 바와 같이 고장력볼트의 도입축력은 시간에 따라 점차적으로 감소하



(a) 연마면



(b) 흑피면



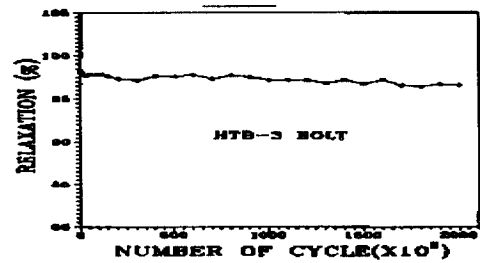
(c) 무기장크면

그림 4. 시간경과에 따른 고장력볼트의 축력감소는 경향을 나타내고 있었다. 도입축력의 감소는 대부분 축력을 도입한 직후에 발생하였으며, 일정한 시간이 경과하면 거의 일정한 값으로 수렴하여 변화가 거의 없는 경향을 나타내고 있다. 또한 도입축력의 감소량은 약 2.5~8% 정도임을 알 수 있었으며, 초기 축력감소의 경향은 지수함수의 형태로 급격하게 감소하는 양상을 나타내는 것을 알 수 있었다. 그리고 마찰면의 표면처리조건과 축력

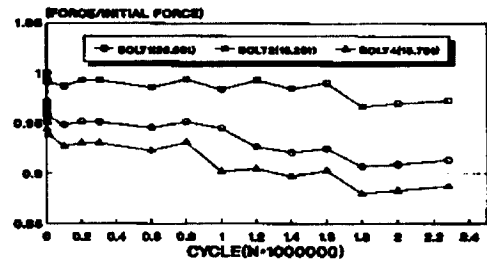
감소량 사이에는 거의 관계가 없음을 알 수 있었다.

### 3.2 반복횟수에 따른 도입축력의 감소

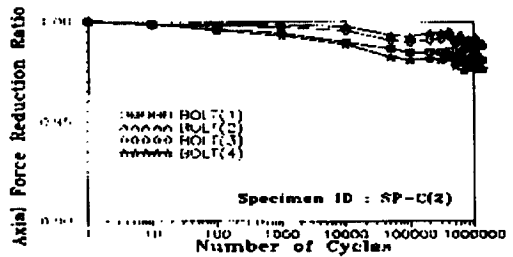
하중반복횟수에 따른 각 시험체에서 고장력볼트의 축력감소량을 측정된 결과는 그림 5와 같으며, 그림 5에서 중축은 초기축력감소가 완료된 후를 기준으로 한 반복횟수마다 축력감소의 비를 나타낸 것이다.



(a) 연마면



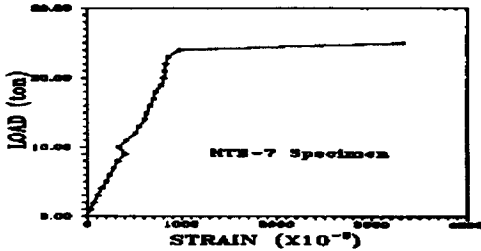
(b) 흑피면



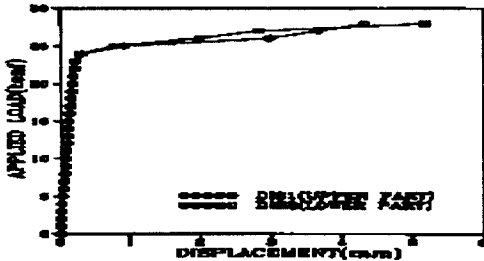
(c) 무기장크면

그림 5. 반복횟수에 따른 고장력볼트의 축력감소

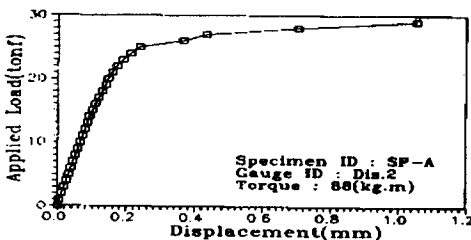
그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 반복하중이 작용함에 따라 축력은 점차적으로 감소하는 경향을 나타내는데 이는 매우 작은 양으로서 초기 축력감소가 발생한 후 대략 3.0% 정도 감소를 나타내는 것을 알 수 있으나 이로부터 반복하중에 의한 축력변화는 접합면의 표면상태에 거의 관계가 없음을 알 수 있었다.



(a) 연마면



(b) 흑피면



(c) 무기징크면

그림 6. 작용하중과 미끄러짐변위 사이의 관계

### 3.3 미끄러짐하중

각 시험체의 미끄러짐하중을 구하기 위해서 그림 3과 같이 변위계를 부착하고 인장실험을 실시하여 모재와 덮개판 사이의 미끄러짐을 측정하였으며, 작용하중과 미끄러짐변위간의 관계는 그림 6과 같고 실험결과로부터 도입축력 및 표면상태에 따른 미끄러짐계수의 평균값은 표 5와 같다.

표 5. 정적인장실험 결과

표면상태	도입축력	미끄러짐하중	미끄러짐계수
무기징크면	25.5	23.0	0.2353
	22.5	23.6	0.2623
	18.0	25.0	0.3472
	13.5	25.0	0.4630
연 마 면	20.5	18.0	0.2195
	12.3	11.5	0.2540
흑 피 면	20.0	25.0	0.3330

표 5로부터 무기징크면의 겉보기 미끄러짐계수는 0.2353~0.4630이며, 연마면의 미끄러짐계수는 0.2195~0.2540, 흑피면의 미끄러짐계수는 0.3330으로 나타났다. 또한 표면상태에 따른 도입축력과 미끄러짐하중 사이의 관계는 무기징크면은 도입축력에 관계없이 미끄러짐하중이 거의 일정하게 나타났으나 연마면은 도입축력이 증가함에 따라 미끄러짐하중도 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이것으로부터 소정의 표면조도를 갖는 마찰이음에서의 미끄러짐하중은 도입축력에 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었으나 이와 같은 경향에 대한 정량적인 평가를 수행하기 위해서는 추후 도입축력과 표면조도 및 미끄러짐하중 사이의 관계에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

### 3.4 압축응력분포영역

피로실험이 종료된 시험체를 해체한 후 접합면에서의 마찰면적의 크기를 볼트구멍 중심에서의

거리를 기준으로 하여 마찰면적의 분포형태를 나타내면 그림 7과 같다.

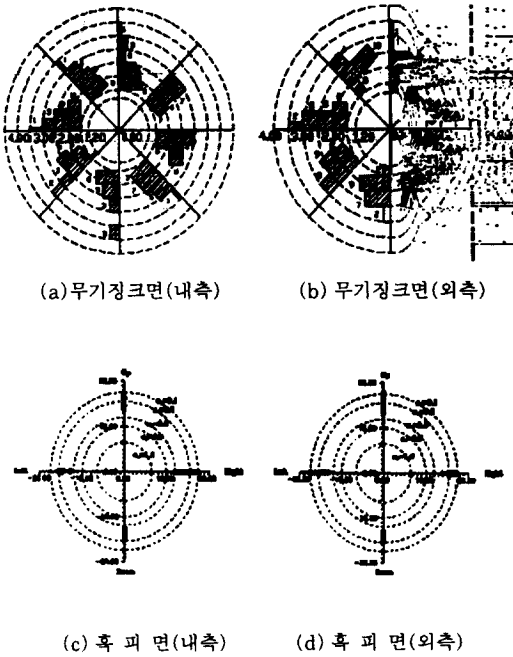


그림 7. 접합부 마찰면적의 크기 분포도

그림 7과 같이 압축응력분포영역은 외측볼트보다 내측볼트 주변에서 그 분포영역이 넓게 퍼져 있으며, 무기징크면이 흑피면보다 넓게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 표 5에서와 같이 높은 축력을 도입한 무기징크면 시험체에서는 이 축력에 의해서 표면조도가 손상되어 미끄러짐계수가 감소되기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.5 피로강도

피로실험은 응력비 0.1인 일정진폭하에서 실시하였으며, 피로시험 결과는 표 6과 같으며, 이것을 기초로 하여 하중-반복회수 선도를 나타내면 그림 8과 같다.

피로실험 결과 각 시험체별 200만회 피로강도

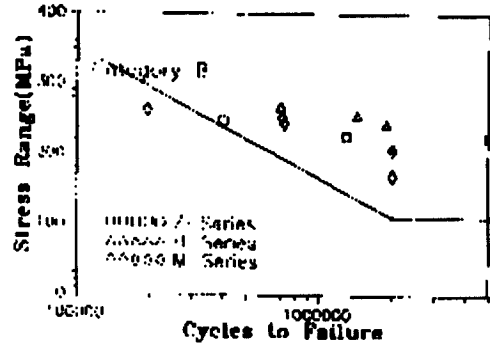


그림 8. 하중-반복회수 선도

는 무기징크면은 229.2(kg/cm<sup>2</sup>), 흑피면은 229.2(kg/cm<sup>2</sup>), 연마면은 196.3(kg/cm<sup>2</sup>)으로 연마면의 경우 무기징크면과 흑피면에 비해서 약 14% 정도 저하하는 경향을 나타내고 있어서 이것은 연마면의 경우에는 적은 반복회수에서 미끄러짐이 발생하여 마찰이음의 기능을 상실함에 따른 것으로 생각된다. 그러나 모든 시험체는 현행 도로교 시방서에서 규정하고 있는 피로등급인 B등급을 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다.

### 3.6 마찰이음부의 응력분포

표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성을 조사하기 위해서 시험체가 안정될 것으로 생각되는 반복하중 100회에서 마찰이음부에서의 변형률을 측정하여 그 결과를 나타내면 그림 9와 같다.

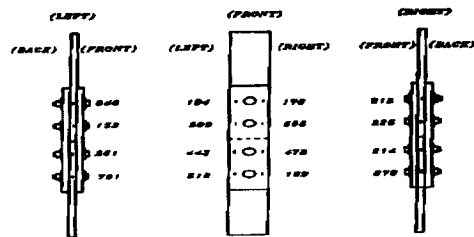


그림 9. 마찰이음부의 응력분포(무기징크면)



그림 8과 같이 마찰이음에서 덮개판에서의 응력분포는 외측볼트에서 내측볼트로 향함에 따라 증가하며 모재에서는 내측볼트에서 외측볼트로 향함에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있는데 이것은 소정의 거칠기를 확보한 마찰접합부에서는 고장력볼트에 도입된 압축력에 의해 모재와 덮개판이 서로 마찰작용을 하며 외력을 분담하는 것을 잘 설명하고 있다.

#### 4. 결 론

표면상태를 다르게 한 고장력볼트 마찰이음부에 대한 정적 및 피로시험 결과 고장력볼트 마찰이음부의 거동에 대해서 다음과 같은 결론을 제시

하고자 한다.

- (1) 고장력볼트에 도입된 축력의 초기감소량과 반복하중에 따른 축력변화량은 마찰면의 표면상태에 거의 영향을 받지 않는다. 소정의 표면조도를 확보하는 마찰이음에서의 미끄러짐하중은 도입축력에 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있으나 위 관계에 대한 정량적인 평가는 추후 지속적인 연구가 필요하다.
- (2) 표면상태에 관계없이 모든 시험체는 현행 도로교시방서에서 규정하고 있는 피로등급인 B 등급을 만족하고 있으나 피로강도는 표면조에 관계가 있는 경향을 나타냈다.
- (3) 소정의 거칠기를 확보한 마찰접합부에서는 고장력볼트에 도입된 압축력에 의해 모재와

표 6. 피로시험 결과

표면상태	시험체번호	재하하중 (Pmin/Pmax)	총단면적 (mm <sup>2</sup> )	응력범위 (MPa)	파단횟수 (회)	비고
밀링면	M-HTB1	28.0/2.8	960	367.5	195,300	
	M-HTB2	28.0/2.8	960	367.5	115,810	
	M-HTB3	27.0/2.7	960	354.4	699,510	
	M-HTB4	27.0/2.7	960	354.4	324,220	
	M-HTB5	26.0/2.6	960	341.3	715,060	
	M-HTB6	26.0/2.6	960	341.3	484,480	
	M-HTB7	25.0/2.5	960	328.1	1,475,140	
	M-HTB8	22.0/2.2	960	288.7	>2,000,000	파단않됨
	M-HTB9	18.0/1.8	960	236.3	>2,000,000	파단않됨
후피면	H-HTB1	21.0/2.1	720	267.8	690,740	
	H-HTB2	20.0/2.0	720	255.1	1,429,500	
	H-HTB3	19.0/1.9	720	242.3	1,895,200	
	H-HTB4	16.5/1.65	720	210.4	>2,000,000	파단않됨
	H-HTB5	16.5/1.65	720	210.4	>2,000,000	파단않됨
	H-HTB6	13.0/1.3	720	165.8	>2,000,000	파단않됨
	H-HTB7	13.0/1.3	720	165.8	>2,000,000	파단않됨
두 기 징크면	Z-HTB1	22.0/2.2	800	247.5	820,000	
	Z-HTB2	22.0/2.2	800	247.5	285,000	
	Z-HTB3	22.0/2.2	800	247.5	400,000	
	Z-HTB4	20.0/2.0	800	225.0	1,880,000	
	Z-HTB5	20.0/2.0	800	225.0	570,000	
	Z-HTB6	20.0/2.0	800	225.0	1,280,000	
	Z-HTB7	20.0/2.0	800	225.0	>2,000,000	파단않됨
	Z-HTB8	18.0/1.8	800	202.5	1,450,000	
	Z-HTB9	18.0/1.8	800	202.5	>2,000,000	파단않됨

덮개판이 서로 마찰작용을 하여 외력을 분담하는 것을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 최 일윤, "고장력볼트 마찰이음의 피로거동에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1995. 12.
- (2) 최 준혁, "고장력볼트 마찰이음부의 정적 및 피로거동에 관한 실험 및 해석적 연구", 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1996. 12.
- (3) Hansen, N. G., "Fatigue Test of Joints of High Strength Steels", Journal of the Structural Division, Proc. of ASCE, 1959. 3.
- (4) Lewitt, C. W., Cheson, E. Jr Muse, "Riveted and Bolted Joints, Fatigue of Bolted Structural Connections", Journal of the Structural Division, Proc. of ASCE, 1963. 2.
- (5) J. Tajima, "Effect of Relaxation and Creep on the Slip Load of High Strength Bolted Joints", Structural Design Office, Japanese National Railways, Tokyo, 1964. 7.
- (6) 今井克彦, "摩擦處理劑を用いた高力ボルト摩擦接合に関する研究", 日本建築學會大會學術講演概要集, 2658, pp 1835~1836, 1982.10
- (7) 三木千壽, 西村俊夫, "高力ボルト摩擦接合のボルト締結力が連結の疲労強度に及ぼす影響", Technical Report, No.12, Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology, 1972. 7.
- (8) 日本建築學會, "高力ボルト接合設計施工指針", 1993, pp.1~pp.68.

(접수일자 : 1997. 9. 1)