creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000239236

2010年 2月
碩士學位論文

과대볼트구멍을 가진 마찰이음부의 순수 굽힘강도 및 피로수명에 관한 연구

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

土 木 工 學 科

張 錫 仁

과대볼트구멍을 가진 마찰이음부의 순수 굽힘강도 및 피로수명에 관한 연구

A Study on Pure bending intensity and fatigue life of Friction joint with Over Bolt Hole

20010年　2月　25日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

土 木 工 學 科

張 錫 仁

과대볼트구멍을 가진 마찰이음부의 순수 굽힘강도 및 피로수명에 관한 연구

指導敎授　朴　正　雄

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2009年　11月

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

土 木 工 學 科

張　錫　仁

張錫仁의 碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 敎授 朴 吉 鉉 (印)

委 員 朝鮮大學校 敎授 安 鍾 弼 (印)

委 員 朝鮮大學校 敎授 朴 正 雄 (印)

2009年 2月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서론 ····· 1
1.1 연구배경 및 목적 ····· 1
1.2 기존 연구 동향 ····· 2
1.3 연구 범위 및 방법 ····· 3

제 2 장 마찰이음부의 설계기준 ····· 4
2.1 과대공에 관한 규정 ····· 4
2.1.1 고장력볼트의 등급과 접합방법 ····· 4
2.1.2 고장력볼트 마찰이음 ····· 6
2.1.3 미끄럼계수 ····· 8
2.1.4 고장력볼트 구멍 규정 ····· 11
2.2 각국의 허용피로응력 기준 ····· 13
2.2.1 일본 JSSC 기준 ····· 13
2.2.2 Eurocode 기준 ····· 14
2.2.3 국내 도로교설계 기준 ····· 20
2.2.4 피로설계 ····· 29

제 3 장 고장력볼트 마찰이음부의 순수굽힘실험 ····· 36
3.1 설계기준 및 강재 물성치 ····· 36
3.2 시험편 치수 및 일람표 ····· 38
3.3 실험준비 ····· 39
3.4 순수굽힘 실험에 대한 고찰 ····· 41

제 4 장 고장력볼트 마찰이음 부의 피로강도 평가 ····· 44
4.1 시험편 치수 및 일람표 ····· 45
4.2 실험준비 ····· 45
4.3 피로실험에 대한 고찰 ····· 49
4.4 비파괴검사 ····· 50
4.4.1 액체침투탐상 검사 검토 ····· 52
4.4.2 피로시험편 액체침투탐상 ····· 53

제 5 장 결 론 ····· 56

참고문헌 ····· 57

그 림 목 차

그림 2.1 고장력볼트 구성 ····· 4
그림 2.2 고장력볼트 접합방법의 종류 ····· 6
그림 2.3 마찰이음부에 인장하중이 작용할 때의 힘과 변위의 양상 ····· 7
그림 2.4 일본 JSSC S-N선도 ····· 13
그림 2.5 Eurocode S-N 선도 ····· 15
그림 2.6 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 범주의 분류 ····· 28
그림 2.7 피로 시험에 의한 응력과 시간의 관계 ····· 32
그림 2.8 S-N 선도 ····· 33
그림 3.1 H-Beam 순수 굽힘 시험편 치수 및 형상 ····· 38
그림 3.2 H-Beam 순수굽힘 실험 ····· 40
그림 3.3 시험편 굽힘실험 후 모습 ····· 42
그림 3.4 하중-중앙 변위 곡선 ····· 42
그림 3.5 하중-크랙게이지곡선 ····· 43
그림 4.1 H-Beam 피로 시험편 치수 및 형상 ····· 44
그림 4.2 피로선도 B선도 ····· 46
그림 4.3 정적하중 재하 패턴 ····· 46
그림 4.4 하중 - 변위 곡선 ····· 46
그림 4.5 피로실험 조건을 위한 예비실험 결과 ····· 48
그림 4.6 H-Beam 피로실험 ····· 48
그림 4.7 피로실험 결과 S-N 선도 ····· 50
그림 4.8 침투탐상검사 순서 ····· 51
그림 4.9 H-Beam 예비Test 피로균열····· 53
그림 4.10. 예비Test _ 액체침투탐상검사 ····· 53
그림 4.11 F - ST _ 액체침투탐상검사 ····· 54
그림 4.12 F - OB6 _ 액체침투탐상검사 ····· 54
그림 4.13 F - OC6 _ 액체침투탐상검사 ····· 55
그림 4.14 F - OD6 _ 액체침투탐상검사 ····· 55

표 목 차

표 2.1 고장력볼트의 종류와 등급 ····· 5
표 2.2 국가별 설계기준상의 미끄럼계수 ····· 9
표 2.3 무기징크리치 페인트의 도장조건 ····· 10
표 2.4 마찰면의 상태와 미끄럼계수 ····· 10
표 2.5 국가별 설계기준상 고장력볼트 구멍 규정 ····· 12
표 2.6 일본 JSSC의 기본허용응력범위 ····· 14
표 2.7 Eurocode의 이음범주와 상수 d의 관계 ····· 16
표 2.8 Eurocode의 피로하중하에서의 구조상세 분류 ····· 17-20
표 2.9 국내 도로교 설계기준허용피로응력범위 ····· 21
표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주 ···· 22-27
표 2.11 대표적인 피로균열 사례 ····· 30-31
표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격 ····· 36
표 3.2 최소 및 최대 연단 거리 ····· 36
표 3.3 강재의 재료정수 ····· 37
표 3.4 강재의 화학성분 / 기계적 성질 ····· 37
표 3.5 H-Beam 순수 굽힘 시험편 일람표 ····· 39
표 3.6 순수굽힘 실험의 결과 ····· 43
표 4.1 H-Beam 피로 시험편 일람표 ····· 45
표 4.2 H-Beam 피로강도 평가 실험 결과 ····· 49

ABSTRACT

A Study on Pure bending intensity and fatigue life of Friction joint with Over Bolt Hole

JANG SEOK IN
Abvisor : Prof. PARK JEONG UNG Ph.D
Department of Civil Engineering
Graduate School of Chosun University

The development of Steel Composite Bridge using H section steel is in active progress in the interest of cost-effectiveness, however, one limitation with this is that maximum span length will be restricted to 20 meters. Therefore, the Cross Girder method has been developed in order to minimize support Negative Moment so as to design and construct long-span bridge using H section steel.

The Cross Girder method is one that alters the assembly order of bolted joints during construction to allow simple structure behavior when Main Girder is in Dead load and Contiuum struction behavior when it is in Live load. However, as Bolt Holes movement is anticipated to be 3 millimeters due to load, the 허용공차 of Bolt joints in practice falls beyond 3 millimeters. Although Capacity Rating for each Over Hole taking into account the conditions of the scene is required, there is no regulation on Over Hole and research regarding the issue is insufficient at present in the country.

This study is involved with experiments on fatigue test and Pure bending as part of two facet shear specimen with hole size as one variable for High Tension Bolts friction fit. The results regarding the comparisons between standard hole and over hole is as follows.

1. Slip load in the case of over bolt hole was found to be 82 to 94 percent less than that of standard bolt hole with respect to High tension bolt joint exposed to flexural in Pure bending test, meaning that Capacity Rating reduces with the effects of over bolt.

2. All test subjects in fatigue test had no signs of crack until Load of Fatigue load to fatigue limit(200만회), which fulfills the Fatigue Design B of bolt joint to suggest that no influence is exerted by over bolt hole.

3. Upon performing the Liquid Penetrant Testing which is the Nondestructive crack inspection for examination of the presence of crack on the surface of the bolt joint on the test subjects that were subjected to the fatigue test, no crack was found in all of them.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

강구조물의 연결방법으로는 제작공장에서 많이 사용하고 있는 용접접합방법과 건설현장에서 많이 사용되고 있는 고장력 마찰접합방법이 있다. 고장력 마찰접합은 현장에서 특별한 장비 및 기술이 필요하지 않으며 작업환경에도 크게 영향을 받지 않으므로 널리 사용되고 있다. 최근 산업화의 발전과 더불어 사회기반 시설물이 대형화되어 가고 있는 추세이며, 이러한 대형 강구조물은 제작시 철저한 품질관리를 통해 만들어진 제품이라도, 온도에 따른 변화나 선행공정의 시공오차로 인해 발생하게 되거나, 부실시공에 의해 볼트구멍이 허용오차 안으로 들어오지 않아 현장에서 규격치 이상으로 볼트구멍을 확공하는 사례가 자주 발생된다.

경제성 측면에서 최근 H형강을 이용한 강합성교량 개발이 활발히 진행되고 있는데 이것을 사용할 경우 최대 지간장이 20m이내로 제한된다. 따라서 H형강을 이용하여 장지간(약 30m) 교량을 설계, 시공하기 위해서는 지점부 부모멘트를 최소화할 수 있는 가로거더공법이 개발되었다. 가로거더공법은 주거더가 사하중에 대해서 단순구조 거동, 활하중에 대해서는 연속구조로 거동할 수 있도록 시공시 볼트이음부의 조립순서를 조절하는 공법이다. 그러나 시공순서에 따른 하중에 의해 볼트구멍의 이동량이 약 3㎜로 예측되어 실시공시에는 볼트연결부의 허용공차(3㎜)를 벗어나는 경우가 발생되므로 현장 시공성을 고려한 과대구멍에 따른 내하력 평가가 요구된다. 그러나 국내 시방서 기준에서는 과대공에 대한 규정이 없고, 이에 대한 연구도 선진국에 비해 부족한 실정이다

본 연구의 목적은 고장력 볼트 구멍의 크기와 과대볼트 구멍의 위치(모재, 덮개판, 양쪽 모두)를 변화시켜 순수굽힘실험 및 피로실험을 수행하여 고장력 볼트의 인장 내하력을 검토하였다. 구체적으로 실험으로부터 재하하중에 따른 미끄럼강도, 미끄럼량, 최대파단강도, 피로수명을 측정하여 과대 볼트구멍을 갖는 고장력 볼트 마찰부의 저항능력을 표준볼트구멍과 비교 분석하여, 볼트구멍의 크기 및 설치위치에 따른 내하력

을 다양한 방법으로 비교 분석 하였다.

1.2 기존 연구동향

과대볼트구공을 갖는 고장력볼트 마찰이음부에 대한 초기의 연구에서 미국 일리노이대의 Wilson(1938)과 워싱턴대의 Hechtman(1949)은 볼트의 구멍 틈을 1.5㎜까지 허용할 수 있음을 보고하였다. 한편, Kelly(1948)는 구멍 틈의 증가는 볼트가 지지할 수 있는 인장력을 한정하는 유효 전단면적을 감소시키며, 허용 틈은 볼트 머리 크기의 함수라고 결론지었다. Chesson(1964)은 구멍 틈이 볼트 축력에 미치는 영향을 검토한 결과, 구멍 틈 3.2㎜의 과대공 시험편에서는 볼트의 축력에 미치는 영향이 거의 없음을 밝혔다. Allan(1968)은 6.5㎜의 구멍 틈을 가진 과대공 시험편의 평균 미끄럼계수가 1.5㎜의 구멍 틈을 가진 표준공 시험편의 평균 미끄럼계수와 거의 같음을 보여주었다.

피로강도에 대한 연구에서는 西村(1971) 등에 의해 실험이 행해졌으며, M22 고장력볼트에 대해서 볼트 구멍 직경 23.5㎜의 표준공 시험편과 28.5㎜의 과대볼트구멍 시험편에 대해 모재만 과대볼트구멍으로 한 경우 및 모재와 이음판 모두를 과대볼트구멍으로 한 경우에 대해서 비교하였다. 또한, 西村(1971,1972) 등의 실험 예에서는 볼트구멍 직경 24.5㎜의 표준볼트구멍 시험편에 대해서 26㎜의 과대볼트구멍에서는 피로강도에 영향이 없고, 31㎜의 과대볼트구멍이 되면 영향을 미친다고 발표하였다.

그러나, 우리나라의 경우 최근 개정된 시방기준상에서도 과대볼트구멍의 허용에 대한 조항이 추가되지 않아 실제 강구조물의 시공에 있어 이러한 문제점의 발생 시 이에 대한 적절한 조치가 이루어지지 못하는 실정이다. 따라서 과대볼트구멍을 갖는 고장력볼트 이음부에 대한 미끄러짐 내력, 피로강도 등의 역학적 거동의 평가를 위한 일련의 실험적인 연구결과는 과대볼트구멍의 허용범위를 결정함에 있어서 중요한 사항이라고 생각된다.

1.3 연구범위 및 방법

실제 시공현장에서는 허용차 이내로 부재를 접합하기가 어려운 실정이고, 이 허용차를 초과하는 경우에도 별도의 규정이 없이 보수작업을 거친 채 부재접합이 이루어지고 있다. 볼트구멍의 크기에 따른 보수작업에 의한 접합부의 내력변화는 구조물 전체에 미치므로, 이 접합부의 내력변화에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 고장력볼트 마찰접합부의 구조거동 중 볼트구멍의 크기에 따른 접합부 구조거동변화를 검토하기 위하여 고장력볼트 마찰접합부 내력에 관한 이론을 검토하고, M22 고장력볼트를 사용 SM490강재 H-Beam 400×200×8×13에 대한 순수굽힘 실험 및 피로실험을 실시하였다. 고장력볼트 마찰접합부 내력에 관한 이론은 고장력볼트의 품질과 마찰접합부 거동의 특성, 허용내력, 피로강도 등을 검토하고, 각국의 기준을 살펴보았다.

실험은 고장력볼트 마찰접합부의 구조거동에 영향을 미치는 여러 변수 중에서 구멍의 크기를 실험변수로 하여 SM490강재 H-Beam 400×200×8×13 시험편으로 실험하였다. 실험 방법은 200ton 만능시험기로 시험편을 일정하중을 가력하여, 하중제어로 일정시까지 하중을 가력하여 순수굽힘 실험을 실시하였고, 50ton 만능시험기로는 도로교설계기준에서 제시한 응력범위에서 피로실험을 실시하여 실험으로부터 재하 하중에 따른 미끄럼강도, 미끄럼량, 최대파단강도, 피로수명를 측정하여 과대 볼트 구멍을 갖는 고장력 볼트 마찰부의 저항 능력을 표준볼트구멍과 비교분석하여, 볼트 구멍의 크기 및 설치위치에 따른 내하력을 다양한 방법으로 비교 분석하였다.

제 2 장 마찰이음부의 설계기준

2.1 과대공에 관한 규정

2.1.1 고장력볼트의 등급과 접합방법

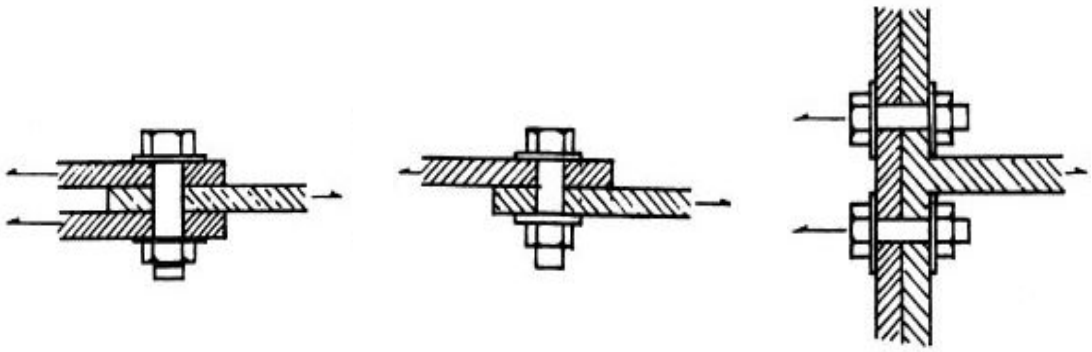
KS B 1010(JIS B 1186)에 규정된 고장력볼트 세트는 그림 2.2과 같이 볼트 1개, 너트 1개, 평와셔 2개로 구성되어 있으며, 세트의 종류에 따라 표 2.5와 같이 각각의 등급을 정하고 있다. 고장력볼트 머리 및 너트의 윗면에는 각각의 기계적 성질에 따른 등급을 나타내는 기호가 표시되어 있기 때문에 쉽게 확인할 수 있다. 현재는 2종(F10T)의 세트만이 표준으로 사용되고 있다.

그림 2.1 고장력볼트 구성

표 2.1 고장력볼트의 종류와 등급

세트의 종류		적용하는 구성부품의 기계적 성질에 따른 등급		
기계적 성질에 따른 종류	토크 계수 치에 따른 종류	볼 트	너 트	와 셔
1종	A	F8T	F10	F35
	B			
2종	A	F10T	F10	
	B			
(3종)	A	F11T		
	B			
4종	A	F13T	F13	
	B			

고장력볼트는 담금질(Quenching)과 뜨임(Tempering) 등 열처리한 800 ~ 1200N/㎟의 높은 인장강도의 재질로 되어 있다. 고장력볼트 연결은 볼트체결로 인한 인장력에 의해 연결부재간에 일정한 압축력이 발생 되도록 하는 접합방법이며, 그 하중전달 방법에 따라 마찰접합과 인장접합 그리고 지압접합으로 분류된다. 마찰접합은 그림 2.3(a)에 나타낸 바와 같이 하중의 전달이 볼트체결에 의한 부재간의 마찰에 의해서만 이루어지고, 미끄럼에 따른 볼트의 지압응력이 생기지 않는 접합형식을 말한다. 이와 반대로 지압접합에서는 그림 2.3(b)에 나타낸 바와 같이 연결부재간의 미끄럼이 발생하여 하중의 전달이 연결부재간의 지압에 의해서 이루어지는 접합형식이 된다. 대개의 경우 고장력볼트 접합은 마찰접합에 속한다. 한편 마찰접합과 지압접합에서는 볼트가 전단력을 지지하면서 연결재간의 하중을 전달하게 되나, 인장접합에서는 그림 2.3(c)와 같이 볼트가 인장력을 지지하게 된다.



(a) 마찰접합　　(b) 지압접합　　(c) 인장접합

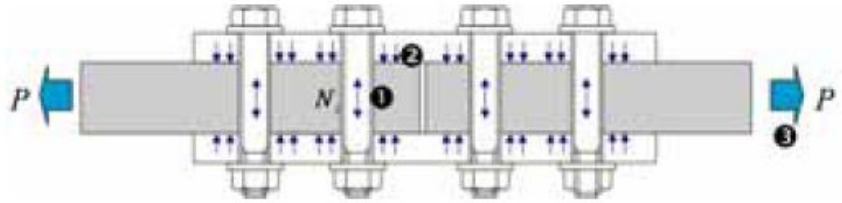
그림 2.2 고장력볼트 접합방법의 종류

고장력볼트 연결에 사용되는 마찰접합용 볼트의 종류로서는 F8T와 F10T 가 있으며, 지압접합용 볼트에는 B8T와 B10T가 있다. 일반적으로 F10T가 널리 사용되며, F11T도 있으나 지연파괴문제 등으로 가능한 사용하지 않는다. 고장력볼트 연결은 용접연결에 비하여 열에 의한 영향이 발생하지 않고 숙련 된 기술을 필요로 하지 않으며 작업능률이 높은 반면에, 볼트구멍으로 인하여 단면적이 손실되고 연결판을 필요로 하며, 지연파괴나 체결력의 이완 등에 유의하여야 하는 단점이 있다. 그러나 강구조물의 현장연결에서는 고장력볼트 연결, 그 중에서도 특히 마찰연결이 널리 사용되고 있다.

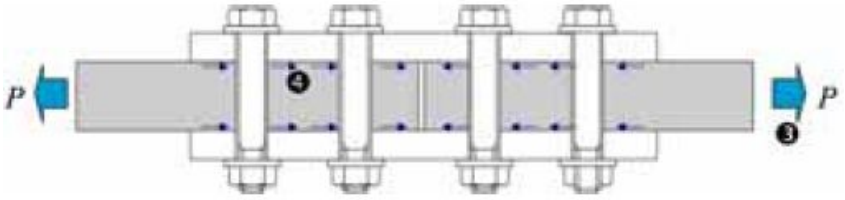
2.1.2 고장력볼트 마찰이음

마찰이음의 매커니즘을 살펴보면, 연결할 부재와 덮개판으로 구성된 볼트 구멍에 고장력볼트를 삽입하고, 볼트를 체결하여, 목표축력 N_i를 도입한다. 도입된 축력은 덮개판을 통해 전달되어 덮개판, 모재간의 접촉면에 접촉압력이 발생하게 된다. 이후 이음부 양측에 인장하중 P가 재하되면 모재와 덮개판의 양쪽 강판 사이 접촉면에서 마찰력이 발생하면서 모재에 작용되는 인장력을 덮개판에서 부분적으로 분담하게 되며 이때 작용하는 인장하중이 증가함에 따라 마찰력이 증가한다. 하중 P가 계속 증가하여 마찰력이 어떤 한계 값을 넘어가면 미끄럼이 발생하기 시작하는데 이때의 하중을 미끄

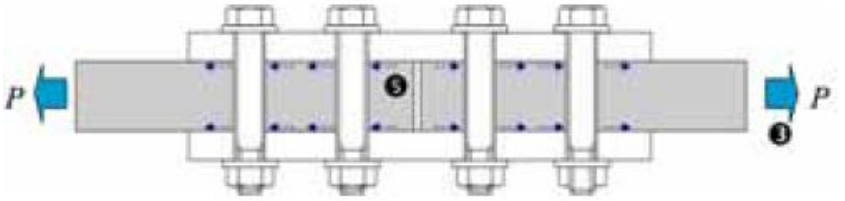
럼하중이라고 하고, 도입한 축력 합계에 대한 미끄럼하중의 비를 미끄럼계수라고 한다. 이후 하중이 지속되면, 미끄러지던 강판이 볼트 축부와 접촉하기 시작하면서 이음의 하중은 볼트의 전단저항, 강판의 지압저항 및 저하된 마찰저항으로 분담 되게 된다.



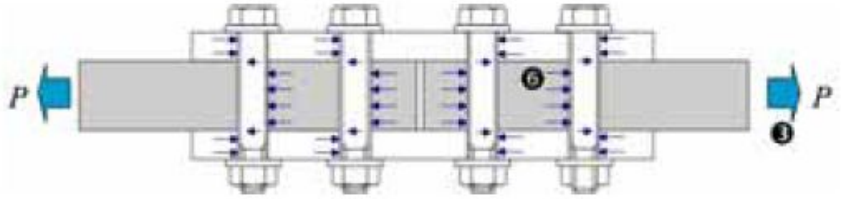
(a) 볼트축력 및 인장하중 적용



(b) 마찰력의 작용



(c) 미끄럼 발생



(d) 미끄럼발생 후 볼트와 모재 및 덮개판의 지압상태

그림 2.3 마찰이음부에 인장하중이 작용할 때의 힘과 변위의 양상

미끄럼 발생 이전의 거동과 미끄럼 시점의 거동에 대해서 볼트 축력과 발생마찰력 및 미끄럼하중의 관계, 미끄럼 발생 시 모재의 강체 운동 성격 등을 감안하면 마찰이음에 마찰법칙이 그대로 적용되고 있다고 사료되며, 이에 따라 마찰이음 설계에 미끄럼계수와 미끄럼하중을 도입하고 있는 것으로 판단된다.

2.1.3 미끄럼계수

고장력볼트 마찰접합의 미끄럼 강도의 기본적인 잣대로는 미끄럼계수가 거론된다. 미끄럼계수에 대해서 국내외의 설계 기준 값을 표 2.2에 나타내었다. 여기서 대상으로 한 설계기준은 우리나라의 도로교표준시방서(2005), 일본도로교표준시방서(1996), 및 일본강구조설계기준(1988), 미국의 AASHTO(1994), AASHTO LRFD(2004), 유럽의 Eurocode (2003), 영국의 BS(2003)이다.

국내외의 설계기준에 있어서 미끄럼계수 값은 표 2.2에서와 같이 접촉면의 처리 상태에 따라 큰 차이가 있는 것을 알 수 있는데, 접촉면의 처리 상태의 세분화에 따라서 0.2 ~ 0.5 사이의 값으로 규정되고 있다. 이에 비해 우리나라의 도로교설계기준(2005)에서는 미끄럼계수를 표면처리에 관계없이 0.4로 규정하고 있고, 도로교표준시방서(2005)에서도 시공성을 고려하여 볼트 연결부의 표면처리는 블라스트 등에 의해 녹, 흑피 등을 제거하여 마찰계수가 0.4 이상 얻어지도록 규정하고 있으며, 무기징크리치 페인트의 도장조건을 표 2.3과 같이 규정하고 있다.

한편, 일본도로교시방서에서는 흑피를 제거한 거친 면의 경우 및 접촉면에서 후막형 무기징크리치 페인트를 도장한 경우에 대해서 0.40의 값이 규정되어 있다. 또한 일본강구조설계기준에서는 흑피를 제거한 후 옥외에서 자연 방치하여 붉은 녹이 발생한 상태에 대해서는 0.45로 규정하고 있다. 흑피를 제거하는 방법으로 그라인딩 처리와 블라스트 처리(숏블라스트, 그리트블라스트)가 있지만 블라스트 처리가 일반적으로 실시된다. 어느 쪽의 처리에 의한 접촉면에 대해서도 설계상으로는 동일한 미끄럼계수를 적용하고 있다.

또한, 흑피를 제거하고 옥외 폭로한 접촉면(블라스트 처리하지 않은 경우)에 대해서 Eurocode와 BS에서는 각각 0.30, 0.45를 규정하고 있으며, 블라스트를 처리한 접촉

면에 대해서는 0.50으로 규정하고 있다. 깨끗한 흑피상태의 접촉면에 대한 미끄럼 계수도 규정되어 있는데 AASHTO에서는 0.33으로 규정하였다.

표 2.2 국가별 설계기준상의 미끄럼계수

설계기준	미끄럼계수	접촉면의 처리 또는 상태
도로교표준시방서 (2005)	0.40	블라스트 등에 의해 녹, 흑피등을 제거한 상태 무기질 아연말 프라이머(징크리치 페인트) 접촉면 편면당 30㎛ 이상
일본도로교시방서 (1996)	0.40	흑피를 제거한 거친상태
	0.40	후막형 무기징크리치 페인트 도장
일본강구조설계기준 (1988)	0.45	흑피를 제거한 후, 옥외에서 자연 방치하여 발생한 붉은 녹 상태
AASHTO (1994)	0.33	흑피제거 상태
	0.33	블라스트 처리 후 A등급의 코팅
	0.40	아연도금한 거친 면
	0.50	블라스트 처리
	0.50	블라스트 처리 후 B등급의 코팅
AASHTO LRFD (2004)	0.33	무도장의 흑피제거 상태 또는 블라스트 처리 후 A등급의 코팅
	0.33	아연도금한 후 와이어브러쉬에 의한 거친 면
	0.50	무도장의 흑피제거 상태 또는 블라스트 처리 후 B등급의 코팅
Eurocode (2003)	0.20	무처리한 면
	0.30	와이어브러쉬 또는 프레임 클리닝에 의해 깨끗이 하고, 들뜬 녹을 제거한 면
	0.50	숏블라스트 또는 그리트 블라스트 처리 후, 최소 미끄러짐 계수 0.5를 보증하는 아연계 금속사용
	0.50	숏블라스트 또는 그리트블라스트 처리
BS (1982)	0.35	무기징크리치 페인트 도장
	0.45	흑피를 제거한 후 옥외폭로
	0.50	숏블라스트 또는 그리트블라스트 처리

표 2.3 무기징크리치 페인트의 도장조건

항 목	조 건
접촉면 편면당 최소건조 도막두께	30㎛ 이상
접촉면의 합계 건도 도막두께	90 ~ 200㎛
건조 도막중 아연함유량	85% 이상
아연분말 입경(평균입경:8± 2㎛)	50% 이상

이와 같이 접촉면의 미끄럼계수에 대해서는 외국의 설계기준에서는 접촉면의 처리 상태에 따라 여러 값이 규정되어 있고, 또한 미끄럼 시험에 의해 결정되고 있다. 이에 비해 국내의 설계기준에서는 미끄럼계수는 접촉면의 처리 상태에 관계없이 일률적으로 규정되어 있다. 따라서 향후 국내의 설계기준에도 접촉면의 처리 상태에 따라 미끄럼계수를 세분화 하여 규정함으로써 설계의 합리화를 꾀할 필요가 있다고 생각된다.

또한, 마찰면의 상태에 따른 미끄럼계수는 표 2.4와 같고 녹을 제거한 붉은 녹 면을 표준 마찰면이라 부르며, 표준 마찰면은 미끄럼계수 0.50이상 확보 된 것으로 한다.

표 2.4 마찰면의 상태와 미끄럼계수

마찰면의 상태	미끄럼계수
광명단 마감	0.05 ~ 0.20
아연 도금 면	0.10 ~ 0.30
흑피인 면	0.20 ~ 0.45
갈아낸 면	0.20 ~ 0.45
샌드페이퍼 면	0.25 ~ 0.45
산화염 뿌리기	0.30 ~ 0.60
녹을 제거한 붉은 녹 면	0.45 ~ 0.75
숏블라스트 면	0.40 ~ 0.75
샌드블라스트 면	0.45 ~ 0.75

2.1.4 고장력볼트 구멍 규정

고장력볼트 마찰이음에 있어서 볼트 구멍의 직경의 제한은 현장 이음 시 구조부재들 사이에 거의 완벽한 정렬을 요구하게 된다. 그러나 실제조건에서는 때때로 구조물의 한쪽이 태양이나 찬바람에 노출되어 부재의 팽창이나 수축이 일어나게 되고 이것은 조립 시 구멍간의 정확도를 떨어뜨린다. 또한 기존 구조물에 새로운 부재를 연결시키는 경우, 구조물의 제작에 있어서 용접 등에 의한 변형량을 정확하게 예측할 수 없는 경우, 강상형교 및 강바닥판교 종리브의 경우, 경사가 심한 직교 격자형 사교를 가설할 경우 및 지보공이 충분하지 않은 경우 등에 있어서도 볼트 구멍이 일치하지 않은 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우에는 허용직경을 초과하여 볼트 구멍을 확장함으로써 볼트 삽입을 용이하게 하여 조립 능률의 향상과 건설시간, 비용 및 노력 등의 절감을 도모할 수 있다.

이러한 필요성에 의해 최근 외국의 시방기준에서는 표 2.1에 나타낸 바와 같이 고장력볼트 이음부에서 어느 정도의 범위까지 과대공을 허용하는 규정을 두고 있으나, 국내의 경우는 아직 과대공에 대한 규정이 없다. 강교량의 건설시 주로 사용되고 있는 M22 고장력볼트에 대한 과대공의 허용범위를 보면, 일본의 도로교시방서(2002)는 26.5㎜(표준공 24.5㎜), 미국의 AASHTO(2002)는 26.5㎜(표준공 23.5㎜), 유럽의 Eurocode(2003)은 26㎜(표준공 24㎜), 영국의 BS5400(2000)은 27㎜(표준공 23㎜)로 규정하고 있다. 대부분 26~27㎜범위로 허용하고 있는 실정이다. 따라서 국내의 시방기준에서도 고장력볼트 이음부에서 불가피하게 존재하는 제작오차를 흡수하기 위하여 과대공이 불가피한 경우에는 단면결손을 고려한 최대 내하력이 안전측으로 평가 된다면 외국의 시방기준에서 허용하는 범위 내에서의 과대공(볼트직경 + 4㎜)을 허용하여도 무방할 것으로 판단된다.

표 2.5 국가별 설계기준상 고장력볼트 구멍 규정

설계기준	표 준 공		과 대 공		
	볼트직경	구멍직경	볼트직경	구멍직경	보정계수
도로교표준시방서 (2005)	d = 20㎜ d = 22㎜ d = 24㎜	d + 2.5㎜	규정없음	규정없음	규정없음
일본도로교시방서 (2002)	d = 20㎜ d = 22㎜ d = 24㎜	d + 2.5㎜	d = 20㎜ d = 22㎜ d = 24㎜	d + 4.5㎜	1.00
일본철도구조물 등 설계표준 (1992)	d = 16㎜	d + 2㎜	d = 16㎜	d + 4.5㎜	1.00
	d = 20㎜ d = 22㎜ d = 24㎜	d + 2.5㎜	d = 20㎜ d = 22㎜ d = 24㎜		
일본강구조접합부설계지침 (2001)	d＜27㎜ d≥27㎜	d + 2.0㎜ d + 2.5㎜	d＜24㎜ d = 24㎜ d＞24㎜	d + 4.0㎜ d + 6.0㎜ d + 8.0㎜	0.85
ISO (1997)	d＜27㎜ d≥27㎜	d + 2.0㎜ d + 3.0㎜	d≤22㎜ d = 24㎜ d≥27㎜	d + 4.0㎜ d + 6.0㎜ d + 8.0㎜	1.00
AASHTO (LRFD) (1998)	d＜27㎜ d≥27㎜	d + 2.0㎜ d + 3.0㎜	d＜22㎜	d + 4.0㎜	0.85
			d = 22㎜ d = 24㎜	d + 6.0㎜	
			d ＞27㎜	d + 8.0㎜	
AASHTO (2002)	5/8 inch 3/4 inch 7/8 inch 1inch ≥1 1/8inch	11/16inch 13/16inch 15/16inch 1 1/16inch d+1/16inch	5/8 inch 3/4 inch 7/8 inch 1inch ≥1 1/8inch	13/16inch 15/16inch 1 1/16inch 1 1/4inch d+5/16inch	0.85
Eurocode (2003)	d≤14㎜ d＜27㎜ d≥27㎜	d + 1.0㎜ d + 2.0㎜ d + 3.0㎜	d = 12 d≤22㎜ d = 24㎜ d≥27㎜	d + 3.0㎜ d + 4.0㎜ d + 6.0㎜ d + 8.0㎜	0.85
BS5400 (2000)	d＜24㎜ d≥24㎜	d + 1.0㎜ d + 1.5㎜	d≤22㎜ d≤27㎜ d≥30㎜	d + 5.0㎜ d + 6.0㎜ d + 8.0㎜	0.85

2.2 각국의 허용피로응력 기준

2.2.1 일본 JSSC 기준

그림 2.4에 JSSC 기준에서의 S-N선도를 나타내었는데 수직응력을 받는 구조상세에 대한 피로등급은 8개의 범주로 구송되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 표 2.7은 JSSC의 기본허용응력범위(수직응력을 받는 이음, m=3)를 보여주고 있다.

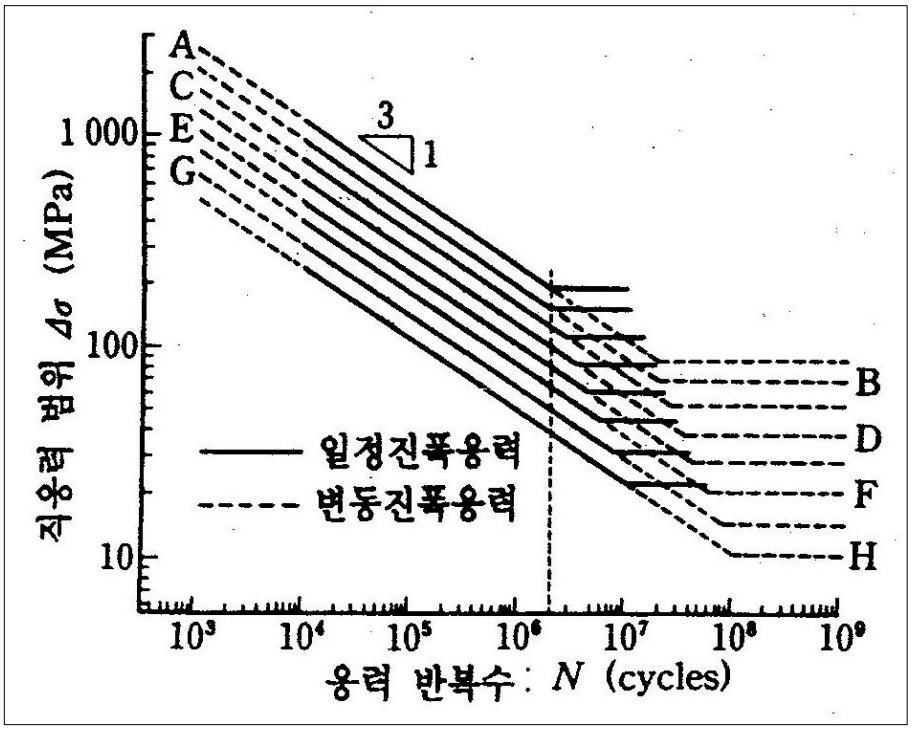


그림 2.4 일본 JSSC S-N선도

표 2.6 일본 JSSC의 기본허용응력범위

피 로 등 급		응력범위의 하 한계(MPa)	
등 급	2×10^6에 대한 기본허용응력범위 $\Delta\sigma_f$(MPa)	일정진폭응력 $\Delta\sigma_{ce}$(N)*	변동진폭응력 $\Delta\sigma_{ve}$(N)*
A	190	190 (2.0×10^6)	88 (2.0×10^7)
B	155	155 (2.0×10^6)	72 (2.0×10^7)
C	125	115 (2.6×10^6)	53 (2.6×10^7)
D	100	84 (3.4×10^6)	39 (3.4×10^7)
E	80	62 (4.4×10^6)	29 (4.4×10^7)
F	65	46 (5.6×10^6)	21 (5.6×10^7)
G	50	32 (7.7×10^6)	15 (7.7×10^7)
H	40	23 (1.0×10^7)	11 (1.0×10^8)

※ ( )안의 수치는 응력범위에 대한 응력반복회수

2.2.2 Eurocode 기준

그림 2.5에 Eurocode에서 적용하고 있는 설계 S-N 선도를 나탄었다. 그림에 나타낸 것과 같이 14개의 구조상세 범주로 구성되어 있다. 그림 2.5에서 14개의 구조상세 범주를 나타낸 숫자는 200만회 반복회수에 대한 피로등급을 범주의 종류로 나타낸

것이다. 각 피로 등급에 관한 이음상세의 응력범위의 차이는 일반적으로 15~20%사이에 있다.

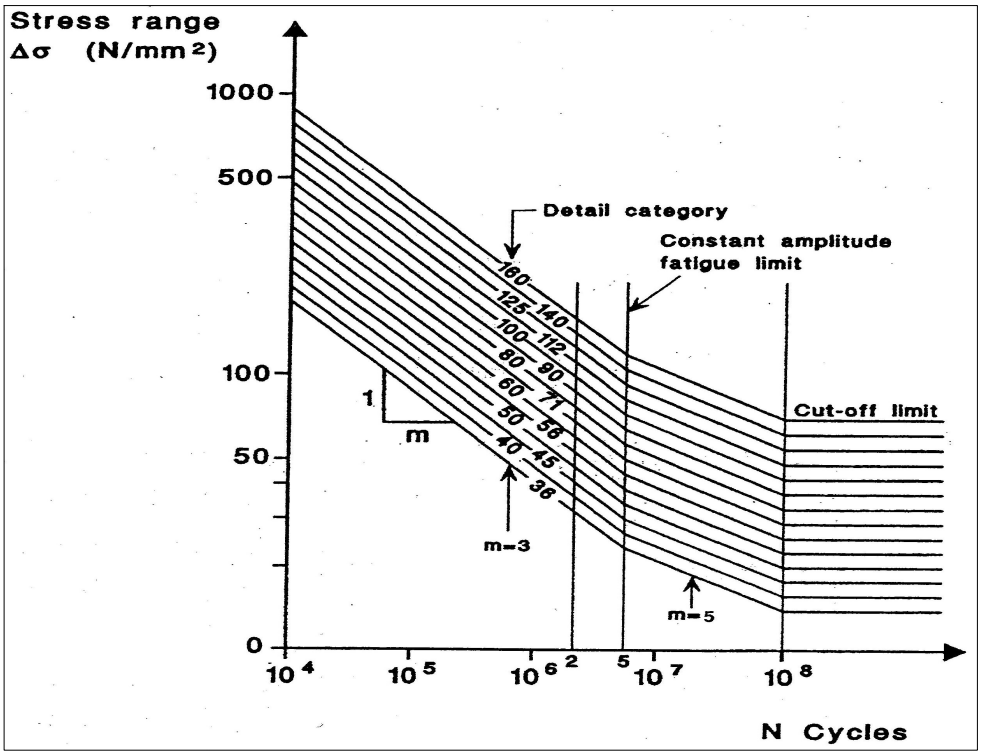


그림 2.5 Eurocode S-N 선도

그림 2.5에서의 국내, AASHTO 및 JSSC에서와 동일하게 S-N선도의 수식은 다음과 같은 일반적인 수식으로 나타낼 수 있다.

$$N = a / \Delta\sigma_R^m \qquad (2.1)$$

$$\log N = \log d - m \log \Delta\sigma_R \qquad (2.2)$$

식 2.1에서 m은 기울기로 일반적으로 3을 나타내며, $\Delta\sigma_R$은 응력범위를 나타내며, a는 이음의 종류에 따른 상수로 식 2.2에서의 d를 나타낸다. 식 2.2에서의 상수 d와 이음범주와의 관계를 나타내면 표 2.8과 같다.

표 2.7 Eurocode의 이음범주와 상수 d의 관계

이음범주(MPa)	d	m
160	7.962×10^{12}	3
140	5.636×10^{12}	3
125	3.990×10^{12}	3
112	2.825×10^{12}	3
100	2.000×10^{12}	3
90	1.416×10^{12}	3
80	1.002×10^{12}	3
71	0.710×10^{12}	3
63	0.502×10^{12}	3
56	0.356×10^{12}	3
50	0.252×10^{12}	3
45	0.178×10^{12}	3
40	0.126×10^{12}	3
36	0.089×10^{12}	3

Eurocode의 특징은 변동응력범위에 대한 적용기준이 있는 일본 강구조협회(JSSC)의 기준에서의 강도 감소 기울기 m=3과는 달리 변동응력에 대한 피로강도 저감 기울기를 일정 응력진폭범위와는 달리 m=5를 적용하고 있다.

표 2.9에서는 각 구조상세 범주에 대한 피로강도 및 그에 대한 피로한계를 나타내었다.

표 2.8 Eurocode의 피로하중하에서의 구조상세 분류

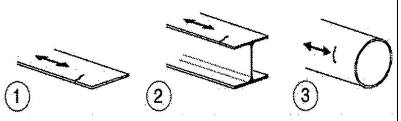
상세범주	구조상세	설명	요구조건
160	주: 범주 160에 관련된 피로강도곡선이 가장 높다. 구조상세는 어떤 반복수에서 더 높은 피로강도에 도달할 수 없다.  	압연제품 1) 대판 2) 형강 3)seamless 중공관 (원형,사각단면)	상세 1) ~ 3) 예리한 절단부, 표면 및 압연결함은 마감철에 의해 제거
140	 	전단/가스절단관 4)마무리를 한 기계가스절단이나 전단재료 5)드래그 라인을 갖는 기계가스절단선을 갖는 재료나 수동가스절단재료 모든 단부 불연속을 연속적으로 마무리 기계가스절단 품질 EN1090을 따름	4) 단부 불연속의 모든 육안홈은 제거 절단면은 가공이나 그라인더 처리, 모든 절단 찌꺼기 제거 기계가공흠 응력방향에 평행 하면 가능 상세 4) 및 5) - 요각모서리는 그라인딩 처리 (경사≤1/4) 또는 적절한 응력집중계수를 사용하여 평가 -용접보수 없음
125	 		
100	 	6) 및 7) 상세 1,2),3)과 같은 압연제품	상세6, 7) 전단응력 계산 $\tau = \frac{VS(t)}{It}$
내후강성재로 만들어진 상세 1-5는 한 단계 더 낮은 범주 적용			

표 2.8 Eurocode의 피로하중하에서의 구조상세 분류(계속)

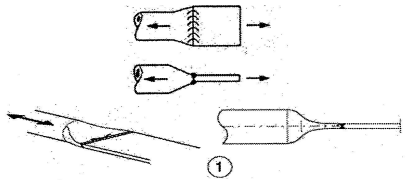
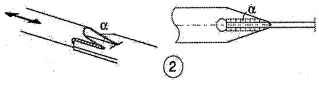
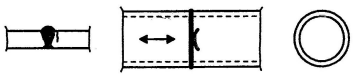
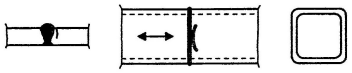
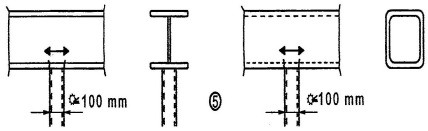
상세범주	구조상세	설명	요구조건
71		1) 튜브판이음, 튜브평판 맞댐이음	$\Delta\sigma$: 튜브응력 튜브직경(200㎜)
71 63	a ≤ 45° a > 45° 	2) 튜브판이음, 판에 부착된 튜브 슬립끝에서의 구멍	$\Delta\sigma$: 튜브응력 용접전단균열 표 8.5 상세8)로 검증
71	③ 	3) 횡방향 맞댐이음 원형구조 중공단명간의 맞댐이음	상세3), 4) -비드높이≤용접폭의 10%매끄럼처리 -아래보기 용접 /EN1090허용오차의 외부결함만족 -t>8㎜상세범주2
56	④ 	4) 사각구조 중공단경간의 맞댐이음	
71		용접부착물 5)다른단면과 필렛용접된 원형/사각구조중공단면	5) -비하중전달이음 -응력방향에 평행한 폭 1≤100㎜ -다른 경우 표 8.4

표 2.8 Eurocode의 피로하중하에서의 구조상세 분류(계속)

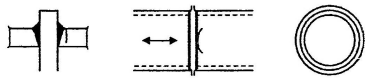
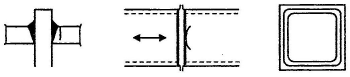
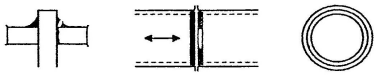
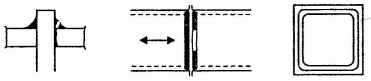
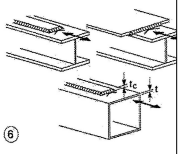
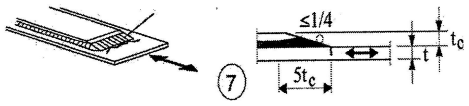
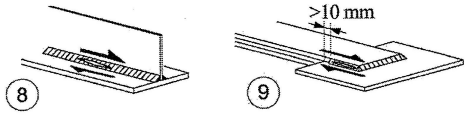
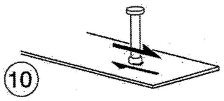
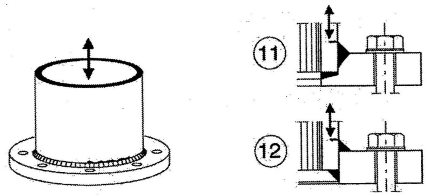
<table>
<tr><th>상세범주</th><th colspan="3">구조상세</th><th>설명</th><th>요구조건</th></tr>
<tr><td>50</td><td colspan="3"> 
⑥</td><td>용접이음
6)중간판과 맞댐이음된 원형구조 중공단면</td><td rowspan="2">상세 6),7)
-하중전달용접
-용접검사 /EN1090 허용오차의 외부결함만족
-t>8㎜상세범주1</td></tr>
<tr><td>45</td><td colspan="3"> 
⑦</td><td>7)중간판과 맞댐이음된 원형구조 중공단면</td></tr>
<tr><td>40</td><td colspan="3"> 
⑧</td><td>8)중간판과 필렛이음된 원형구조 중공단면</td><td rowspan="2">상세 8), 9)
-하중전달용접
-벽두께t≤8㎜</td></tr>
<tr><td>36</td><td colspan="3"> 
⑨</td><td>9)중간판과 필렛이음된 사각형구조 중공단면</td></tr>
<tr><td></td><td>t_c<t</td><td>$t_c \geq$ t</td><td rowspan="6"> 
⑥</td><td rowspan="6">보/판형의 덮개판
6) 덮개판 끝단</td><td rowspan="6">6) 덮개판>플랜지폭:전면용접필요
글인더 작업실시의 덮개판 최소길이>300㎜. 더 작은 부착은 1)참조</td></tr>
<tr><td>56*</td><td>$t_c \leq 20$</td><td>-</td></tr>
<tr><td>50</td><td>20<t≤30</td><td>t≤20</td></tr>
<tr><td>45</td><td>30<t≤50</td><td>20<t≤30</td></tr>
<tr><td>40</td><td>t>50</td><td>30<t≤50</td></tr>
<tr><td>36</td><td>-</td><td>t>50</td></tr>
</table>

표 2.8 Eurocode의 피로하중하에서의 구조상세 분류(계속)

56		7)보/판형의덮개판	7)전면용접그라인더실시 t_c>20㎜전면판 경사의 1/4로 그라인더 실시
80 m=5		8)전단흐름의 연속필렛이음(판형의 복부와 플랜지 용접) 9)필렛용접겹이음	8) $\Delta\tau$:용접목두께로 계산 9) $\Delta\tau$:용접전체길이를 고려하는 용접목두께로 계산 용접단부>판끝에서 10㎜
90 m=8		용접스터드전단연결재 10)합성 적용	10) $\Delta\tau$:스터드공칭전단면으로 계산
71		11)튜브소켓(80% 완전용입)	11)용접지단 그라인더 $\Delta\sigma$:튜브에서 계산
40		11)튜브소켓(필렛용접)	$\Delta\sigma$:튜브에서 계산

2.2.3 국내 도로교설계 기준

반복응력을 받는 부재와 이음부의 설계시 응력범위는 표 2.10에 규정된 허용피로응력범위를 초과하지 않아야 한다.

표 2.9 국내 도로교 설계기준 허용피로응력범위

다재하 경로구조[1]				
상세 범주	허용응력범위, f_{sr}(MPa)[3]			
	10만화	50만회	200만화	200만회 이상
A	442	260	168	168
B	344	203	126	112
B`	274	161	101	84
C	250	147	91	70
				84[4]
D	196	112	70	49
E	154	91	56	31
E`	112	64	40	18
F	105	84	63	56

단재하 경로구조[2]				
상세 범주	허용응력범위, f_{sr}(MPa)			
	10만화	50만회	200만화	200만회 이상
A	351	203	168	168
B	274	161	112	112
B`	218	126	77	77
C	196	112	70	63
			84[4]	77[4]
D	154	91	56	35
E	119	70	42	16
E`	84	49	28	9
F	84	63	49	42

주 : 1) 한 부재의 파괴로 인해 전체적인 파괴가 일어나지 않도록 한 구조물
2) 한 부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되는 구조물
3) 응력범위는 최대응력과 최소응력과의 대수차를 의미한다.
4) 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우
5) 단재하경로 구조물의 경우 플랜지의 두께가 20㎜ 이상이면 부분용접한 덮개판을 사용하지 않는다.

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주

조 건	개 요	응력의 종류	상세 범주	적용 예
단순부재	압연면 또는 매끈한 표면을 갖는 모재	T 또는 Rev	A	1.2
조립부재	응력방향과 평행하게 연속완전용입홈용접(뒷댐판 제거) 또는 연속필렛용접으로 접합된 부착물이 없는 부재의 모재와 용접금속	T 또는 Rev	B	3,4
	응력방향과 평행하게 연속완전용입홈용접(뒷댐판 미제거) 또는 연속부분용입홈용접으로 접합된 부착물이 없는 부재의 모재와 용접금속	T 또는 Rev	B`	3,4, 5,7
	거더의 복부판이나 플랜지에 설치된 수직보강재 용접 끝에서 계산된 휨응력	T 또는 Rev	C	6
	끝부분의 돌림용접 여부에 관계없이 덮개판 폭이 플랜지보다 좁은 경우, 또는 끝부분을 돌림용접한 덮개판 폭이 플랜지보다 넓은 경우의 덮개판 끝에서의 모재			
	(a) 플랜지 두께 ≤ 20㎜	T 또는 Rev	E	7
	(b) 플랜지 두께 > 20㎜	T 또는 Rev	E`	7
	끝부분이 돌림용접되지 않은 덮개판 폭이 플랜지보다 넓은 부분용접된 덮개판 끝에서의 모재	T 또는 Rev	E`	7

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주(계속)

홈용접 연결부	용접부를 응력방향으로 연마하고 비파괴시험을 실시한 완전용입홈용접한 이음부나 그 인접부의 모재와 용접금속	T 또는 Rev	B	8.10
	용접부를 응력방향으로 연마하고 비파괴시험을 실시하였을 때 부재의 폭 방향으로 변화부 반경이 60㎝인 완전용입홈용접한 이음부 또는 인접부의 모재와 용접금속	T 또는 Rev	B	13
	응력방향으로 연마하고 비파괴시험을 실시하고 폭이나 두께 방향 변화부의 경사가 1:2.5 이하가 되도록 갈아낸 후 완전용입홈용접한 이음부 또는 인접부의 보재와 용접금속	T 또는 Rev	B	11,12
	용접덧살을 제거하지않고 비파괴시험을 실시한 경우, 완전용입홈용접한 이음부나 인접부의 모재와 용접 금속(1:2.5 이상 되지 않는 변화부 경사의 유무에 관계 없음)	T 또는 Rev	C	8,10, 11,12

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주(계속)

조 건	개 요	응력의 종류	상세 범주	적용 예
종방향으로 응력을 받는 홈 용 접 부착물	용접방향으로 이음부의 길이 L이 5cm 이하인 경우 완전 또는 부분용입홈용접으로 연결된 부재에 인접한 모재	T 또는 Rev	C	6.15
	응력방향으로 이음부의 길이 L이 5cm와 판두께의 12배(단, 10cm이하) 사이엥 있는 경우 완전 또는 부분용입홈용접으로 연결된 부재에 인접한 모재	T 또는 Rev	D	15
	(a) 연결부재의 두께 < 2.5cm	T 또는 Rev	E	15
	(b) 연결부재의 두께 ≥ 2.5cm	T 또는 Rev	E`	15
	응력방향으로 이음부 길이 L이 판두께의 12배 또는 5cm 이상인 경우 완전 또는 부분용입홈용접으로 연결된 부재에 인접한 모재			
	이음부 길이에 관계없이 변화부 반경 R을 갖으며, 완전 또는 부분용입홈용접으로 연결된 부재에 인접한 모재			
	- 용접 끝을 매끈하게 연마한 경우	T 또는 Rev		16
	(a) 변화부 반경 ≥ 60cm		B	
	(b) 60cm > 변화부 반경 ≥ 15cm		C	
	(c) 15cm > 변화부 반경 ≥ 5cm		D	
	(d) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm		E	
	- 용접 끝을 매끈하게 연마하지 않은 모든 변 화부 반경에 대하여	T 또는 Rev	E	16

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주(계속)

홈용접한 부착물이 횡방향으로 재하되는 경우	변화부 반경 R을 갖고 응력방향에 수직한 방향으로 연마한 후 비파괴시험을 실시한 경우에 완전용입홈용접으로 연결된 부재의 모재 - 동일한 판두께와 용접덧살이 없는 경우 (a) 변화부 반경 ≥ 60cm (b) 60cm > 변화부 반경 ≥ 15cm (c) 15cm > 변화부 반경 ≥ 5cm (d) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm - 동일한 판두께와 용접덧살이 있는 경우 (a) 변화부 반경 ≥ 15cm (b) 15cm > 변화부 반경 ≥ 5cm (c) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm - 다른 판 두께와 용접덧살이 없는 경우 (a) 변화부 반경 ≥ 5cm (b) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm	T 또는 Rev T 또는 Rev T 또는 Rev	B C D E C D E D E	16 16 16

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주(계속)

조 건	개 요	응력의 종류	상세 범주	적용 예
	- 다른 판두게와 용접덧살이 제거되지 않은 경우 모든 변화부 반경에 대하여	T 또는 Rev	E	16
필렛용접 연결	응력방향에 수직으로 용접한 연결부재의 모재 (a) 연결부재의 두께 ≥ 1.25cm (b) 연결부재의 두께 < 1.25cm 부분적으로 끊어진 필렛용접의 모재 필렛용접 목에 적용ㅎ는 전단응력 연결부의 길이에 관계없이 변화부 반경 R이 있는 필렛옹접부에 인접한 모재 - 용접부 끝을 매끈하게 연마한 경우 (a) 변화부 반경 ≥ 5cm (b) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm - 용접부 끝을 연마하지 않은 모든 변화부 반 경에 대하여	T 또는 Rev T 또는 Rev T 또는 Rev T 또는 Rev T 또는 Rev T 또는 Rev	C 주참 조 E F D E E	14 9 16 16
필렛용접 부착물이 주응력방향으로 용접되고 횡방향으로 재하된 경우	연결부의 길이에 관계없이 변화부 반경 R을 갖는 필렛용접(범주 F로 필렛용접 목에 작용하는 전단응력)으로 연결된 부재의 모재 - 용접부 끝을 매끈하게 연마한 경우 (a) 변화부 반경 ≥ 5cm (b) 5cm > 변화부 반경 ≥ 0cm -용접부 끝을 연마하지 않은 모든 변화부 반 경에 대하여	T 또는 Rev T 또는 Rev	D E E	16 16
볼트연결	연결재에 면외휨을 일으키는 축방향 힘을 받는 연결부를 제외한 고장력볼트 마찰이음 전단면에서의 모재 고장력 볼트 지압이음의 순단면에서의 모재	T 또는 Rev T 또는 Rev	B B	21 21

표 2.10 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 응력의 종류 및 범주(계속)

필렛용접한 부착물이 종방향으로 재되는 경우	응력방향으로 용접길이 L이 5cm인 ㄷ형강 또는 스터드형태의 전단연결재가 필렛용접부에 인접한 모재	T 또는 Rev	C	15,17,18,20
	응력방향으로 용접길이 L이 5cm와 판두께의 12배(단 10cm 이하)사이인 경우 필렛용접부에 인접한 모재	T 또는 Rev	D	15,17
	응력방향으로의 길이 L이 판두께의 12배보다 크거나 또는 10cm 보다 큰 경우 필렛용접부에 인접한 모재			

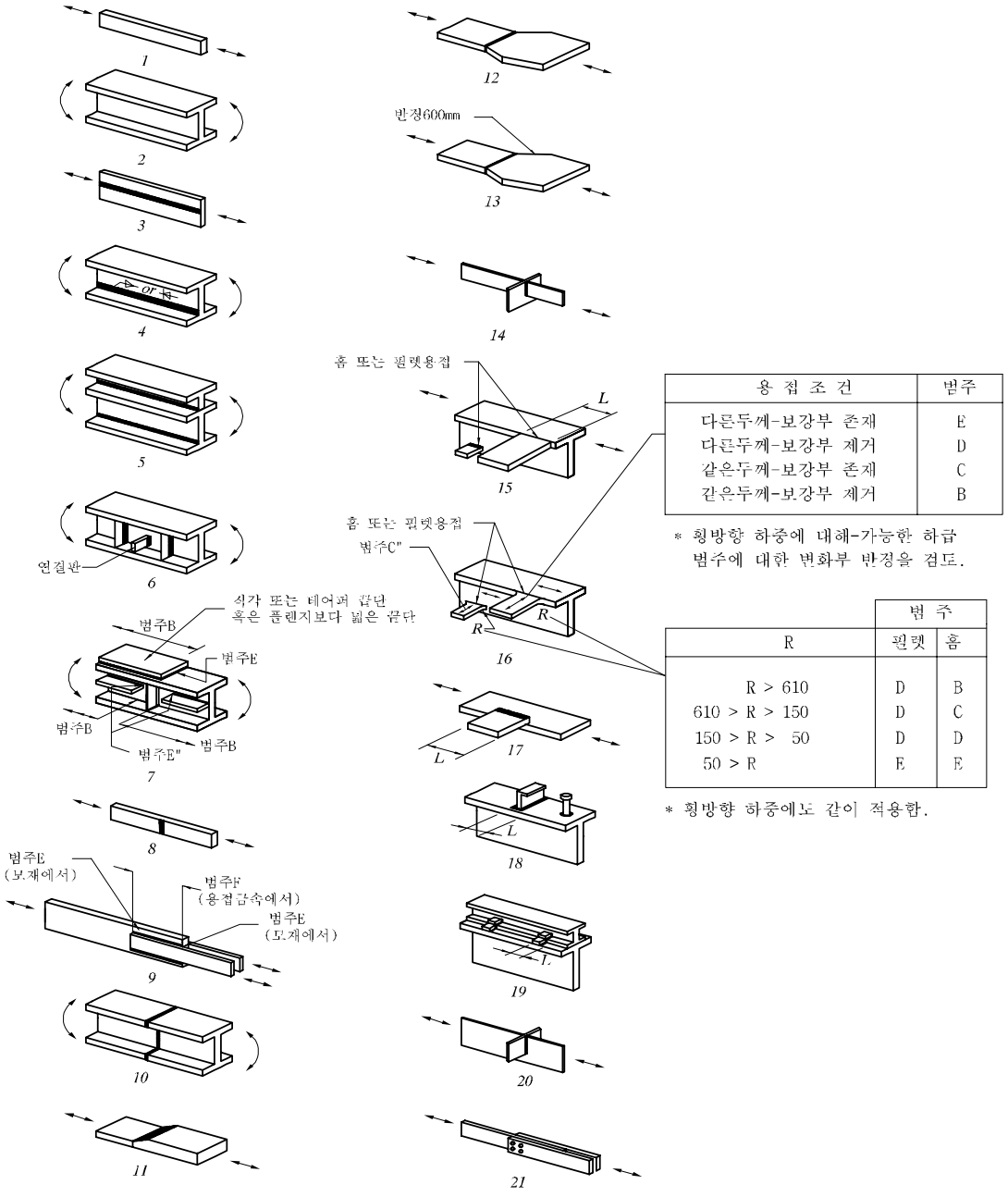
조 건	개 요	응력의 종류	상세 범주	적용 예
	(a) 연결부재의 두께 < 2.5cm	T 또는 Rev	E	7,9,15,17
	(b) 연결 부재의 두께 ≥ 2.5cm	T 또는 Rev	E`	7,9,15

※ 1) T는 인장응력범위만을 나타내고, Rev는 인장과 압축이 동시에 발생하는 응력범위만을 나타낸다.

2) 응력방향이 용접종축과 수직한 경우에는 부분용입흠용접을 피해야 한다.

3) 횡방향 재하된 필렛용접 목두께에 대한 허용피로응력범위는 유효목두께와 판두께의 함수이다. 여기서 S_r^c는 표 4.2에 나타낸 범주 C에 대한 허용응력범위와 같다. 이것은 용접루트에서 관통되지 않은 것으로 가정한 경우이다.

4) 들보 플랜지의 바깥면에 연결시킨 연결판은 횡방향 필렛용접만으로 부착시키지 않는다.



용 접 조 건	범주
다른두께-보강부 존재	E
다른두께-보강부 제거	D
같은두께-보강부 존재	C
같은두께-보강부 제거	B

* 횡방향 하중에 대해-가능한 하급 범주에 대한 변화부 반경을 검토.

	범 주	
R	필렛	홈
R > 610	D	B
610 > R > 150	D	C
150 > R > 50	D	D
50 > R	E	E

* 횡방향 하중에도 같이 적용함.

그림 2.6 국내 도로교 표준시방서 및 AASHTO에 규정된 범주의 분류

2.2.4 피로설계

피로라는 말은 우리 주위에서 주로 인간의 정신적, 육체적 피로를 나타내는 단어로 자주 사용되고 있다. 그런데 피로하고 하는 것은 이와 같이 인간에게만 적용되는 것이 아니라 공학분야에서도 자주 사용되는 용어로서, 공학에서는 주로 부재 재료의 피로를 대상으로 하고 있다.

강구조 부재에 외력이 반복작용하면 부재의 구조적인 응력집중부 또는 용접이음 형상이나 용접결합 등의 응력집중부에서 균열이 발생하고, 이 균열이 성장하여 최종적으로 부재가 파단에도달하는 경우가 있다. 즉 손상이 축척되어 균열이 발생, 진전하는 현상을 피로하고 하며, 이것에 의해 구조물이 받는 손상을 피로손상이라고 한다.

강도로교에서 피로손상이 문제화되기 시작한 것은 외국의 예를 보면 미국은 1970년대, 일본은 1980년경부터이다. 이때부터 피로손상이 보고 되기 시작하여 현재는 피로사례 및 피로손상의 종류가 모두 증가하는 추세이다. 통상 도로교의 주구조부재설계에 사용되는 활하중은 발생확률이 낮은 큰 하중을 사용하므로 피로손상의 발생 가능성이 낮은 것으로 생각되었으며, 또 실사례는 거의 없는 것으로 보고 되고 있다. 그러나 과거에 비하여 증가된 교통량, 특히 과적차량의 증가, 그리고 이음형식의 변화, 즉 무거운 리벳구조에서 가벼운 용접구조로의 변화, 또 사용강재의 고강도화 등의 요인에 의해 강교량은 활하중의 영향을 받기 쉽게 되어 피로손상의 발생요인이 증가하고 있다. 일반적으로 피로손상은 부재를 서로 연결하는 용접이음 또는 노치부 등의 응력집중부에서 발생하며, 피로손상에 의해 균열일 발생, 성장, 확대된다. 그러나 피로만으로는 중대한 사고가거의 일어나지 않느다. 즉 강교량에서의 피로 균열의 발생 및 성장은 자주 발견되나, 일반구조용강의 경우 성장초기의 피로균열에 의해서 부재가 급작 스럽게 파단 되지 않으므로 구조물 유지관리에서 검사시점에서의 손상. 특히 피로 균열의 징후나 피로균열을 발견하고, 이를 조치하는 것이 중요한다. 피로파괴 이외에 용접부에 잔존하는 결함에서 직접 발생되는 균열에 의해 파괴되는 취성파괴도 있을 수 있으나. 대부분의 경우는 초기결함에서 우선적으로 피로균열이 발생하고, 이것이 성장하여 어느 정도의 크기까지 확대된 후에 취성파괴가 발생한다.

그림 2.10은 피로손상를 나타내며, 표 2.12은 대표적인 피로균열 사례를 나타낸다.

표 2.11 대표적인 피로균열 사례

형식		대상부위	손상계요
플레이트 거더 박스거더 (R.C상판)	I형	거더단부	하부플랜지와 절단 복부판과의 용접부
		수평브레이싱 거세트 플레이트	지점위 수평브레이싱 거세트플레이트 설치부 수평브레이싱 거세트플레이트 설치부
		수직보강재, 수직브레이싱 거세트 가로보 단부	수직브레이싱, 가로보가 설치된 수직보강재상단 용접부 수직부레이싱 현재 설치 거세트의 용접부 리벳구멍부, 가로보 플랜지 관통부
		단부가로보단부	단부가로보 끝단부, 지점위 수직보강재 상하단 용접부
		브라켓보	거더와의 용접부, 가로보와의 용접부
		하부플렌지 판이음부	하부플렌지판 이음부의 맞대기용접부
	공통	받침부	받침의 받침판 용접부
아치 트러서	상로아치	수직재단부	수직재 상하단 용접부
		보강형단부	단부지주 위의 보강형 단부
	중로아치0	아치리브 복부판	아치리브 복부판과 가로보 접합부
	상로아치	현재(행어재)	현재의 상하단 접합부
	공통 (바닥틀)	가로보, 단부가로보 단부	가로보단부
		가로보 단부	세로보, 보강 세로보단부
		단부 가로보	단부가로보 복부판과 세로보 접합부

표 2.11 대표적인 피로균열 사례(계속)

강바닥교	강바닥판부	종리브	종리브(U브리)의 맞댐용접부 데크플레이트와 종브리(U브리)의 용접부 단부횡리브, 다이아프램과 종리브 단부의 필렛용접부 지점 위 다이아프램 수직보강재와 종리브의 용접부
		횡리브	횡리브 복부판과 종리브와의 교차부 데크플레이트와의 용접부
		수직보강재 상단부	데크플레이트와 수직보강재와의 용접부
	박스거더부	다이아프램 등의 우각부	다이아프램 우각부 용접부 횡리브와 수직보강재, 거세트 용접부
		코너플레이트 (하부플렌지측)	코너플레이트와 하부플렌지, 다이아프램 용접부
겔번힌지		원호상의 플렌지를 갖는 겔버힌지	하부플렌지와 절단복부판과의 용접부 I단면(거더, 상로아치측 경간) 박스거더단면(트러스)
현수교		행어정착부	행어를 보강형에 정착하는 행어볼트
교각		T형교각 우각부	기둥과 보의 용접부
부속물	표지판기둥	표지판 기둥과의 연결부	박스거더 복부판과 표지판 기둥 기부 및 기둥부 기부의 용접부
	리프팅피스	리프팅스 설치부	플레이트거더교 회측거더 리프팅피스 용접부

피로 강도(fatigue strength)란 구조물에 작용하는 하중에 의해 일어나는 피로 작용에 대한 구조 상세부의 피로 저항 능력을 말한다. 이러한 피로 강도는 일정 진폭의 응력을 반복 작용시킨 경우에 파단되는 횟수를 양대의 관계로 정리한 S-N선도에 의해 표현된다. 여기서 파단될 때 까지의 반복횟수를 피로수명(파단수명)이라한다.

피로 시험에서 이용되는 응력과 시간의 관계는 그림 2.7과 같다. 반복되는 하중에서 응력의 변화는 임의의 값 2개를 이용해서 나타낼 수 있다. 일반적으로 응력 범위(Δf)와 응려비(R)로 나타내는 경우가 많다.

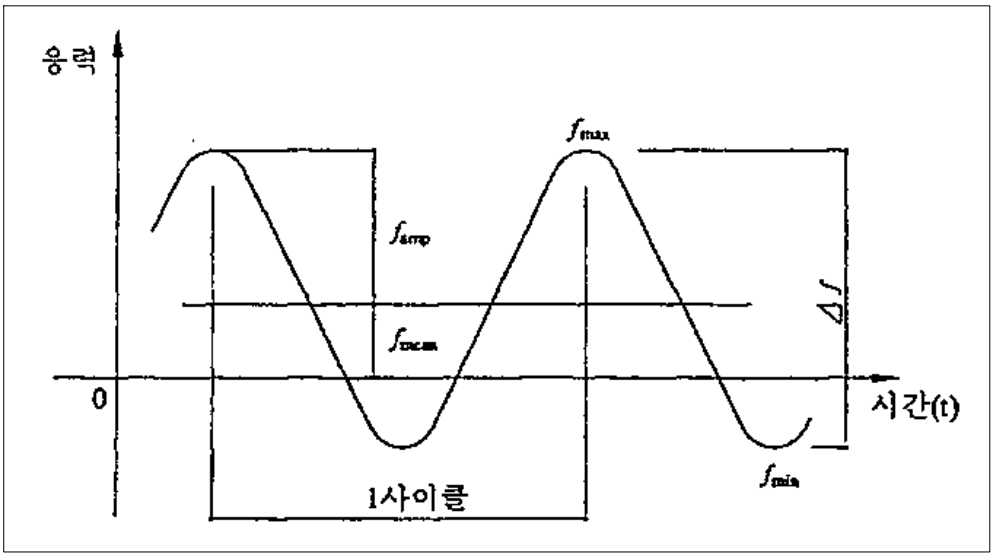


그림 2.7 피로 시험에 의한 응력과 시간의 관계

$$\text{응력 범위 : } \Delta f = f_{\max} - f_{\min}$$

$$\text{응력 진폭 : } f_{amp} = \frac{\Delta f}{2} = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2}$$

$$\text{응력비 : } R = \frac{f_{\min}}{f_{\max}}$$

응력비가 R = -1 인 경우 최소 압축 응력과 최대 인장 응력이 동일한 경우이고 완전 양진이라 하며, R = 0인 경우 완전 편진, 0 < R ≤ 1 인 경우, 즉 최소 인장 응력이 0보다 큰 경우 불완전 편진이라 한다.

임의의 응력비(R) 및 평균응력(f_{meam})에 대해 실시한 피로 시험 결과 시편이 파단될 때까지의 반복 횟수 N과 응력범위(Δf)의 관계를 각각 대수 눈금(log scale)으로 표시한 것을 S-N선도라 한다.

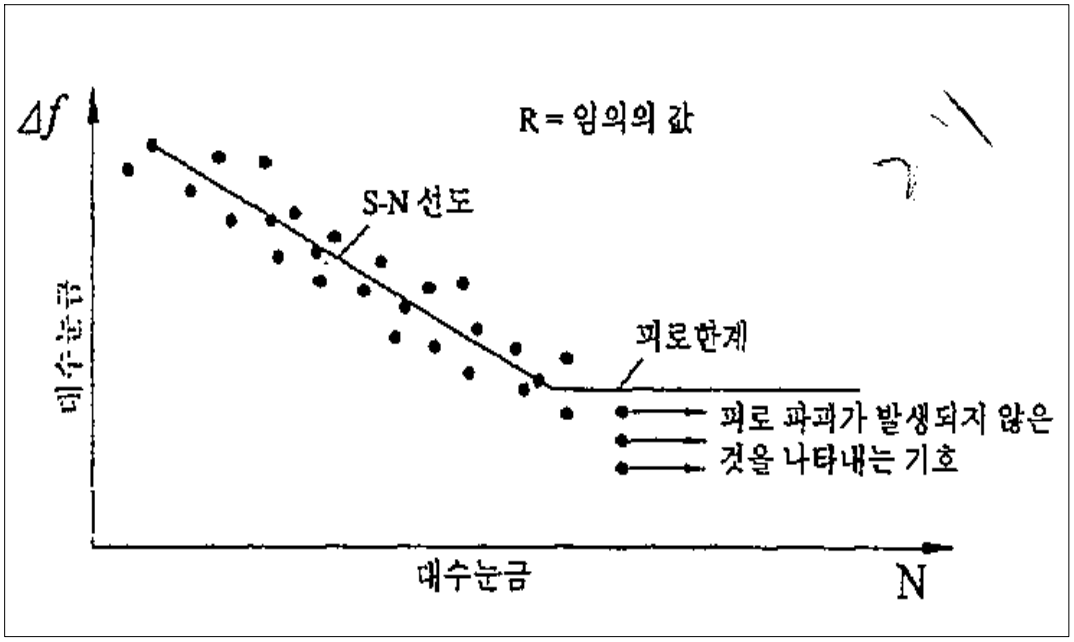


그림 2.8 S-N 선도

S-N 선도의 형태는 양대수 선상에서 직선을 근사시킬 수 있으며 다음과 같다.

$$\log N = \log C - m \log(\Delta f) \qquad (2.3)$$

여기서, c, m : 정수

이 식에서 대수를 제거하면

$$(\Delta f)^m \cdot N = C \qquad (2.4)$$

위 식이 S-N 곡선의 관계를 나타내 주고 있으며 임의의 점에 있어서 응력 범위 Δf를 피로강도, N을 피로수명이라 한다. 일반적인 시방서에서 규정하는 구조 부재에서의 피로 강도는 반복 횟수가 2×10^6인 경우를 말한다. 또한 무한하게 반복 재하되는 경우에 있어 피로 파괴가 일어나지않는 응력 범위의 상한값을 피로한계라 한다.

강교량에서 피로 설계는 반복하중 하에서 피로 손상이 예상되는 구조부 상세에 대해 해석 및 설계를 실시하고 있다. 설계 피로 응력 범위가 허용 피로응력 범위보다 낮아야 하나 초과한 경우 설계 변경을 수행해야 한다. 그 방법으로 설계 피로 응력 범위를 낮추는 방법과 허용 피로 응력 범위를 증가시키는 방법이 있으며, 단면을 재 설계하는 경우를 제외하면 대상 응력 범주를 조정함으로서 허용 피로 응력 범위를 증가시키는 방법을 선택한다. 강구조의 피로 설계 개념을 다음과 같이 분류할 수 있다.

무한수명설계 : 이 설계개념은 모든 피로작용을 피로한계이하가 되도록 설계하는 방법이다. 따라서 공용중에는 정기적인 모니터링을규정하지 않으므로, 높은 비파괴확률을 갖도록 하여야 한다.

안전수명설계 : 이 설계개념은 용접이음에 초기결함이 없는 것으로 가정하여 설계하는 방법이다. 역시 공용중에는 정기적인 모니터링을 규정하지는 않으므로, 높은 비파괴확률을 갖도록 하여야 한다.

파손안전설계 : 이 설계개념은 부정정구조물이 되게 하거나 다재하경로구조물이 되도록 설계하는 방법이다. 피로파손의 경우는 힘의 재분배가 수명을 연장시키므로 파손을 검사, 보수하여 구조물의 기능을 회복시킬 수 있다. 따라서 용접구조물은 일정한 비파괴확률에 대해 설계 한다.

손상허용설계 : 이 설계개념은 적용된 비파괴시험의 검출수준에 따라 결함의 허용결함치수를 가정하여 설계하는 방법이다. 그러므로 파괴역학적 접근방법에 의해 파손까지의 수명을 계산하며, 이 계산된 수명에 의해 검사주기를 결정한다. 따라서 용접구조물은 일정한 비파괴확률에 대해 설계한다.

강교량 구조 부재는 각 나라 및 지역의 여건과 환경, 기후 등에 맞게 설계피로 강도 곡선이 정해서 있다. 국내의 도로교설계기준(2000)은 미국의 AASHTO 도로교 시방서를 기준으로 채택하고 있으며, 그 밖의 Eurocode No3(유럽), JSSC(일본)등이 그 나라의 설정에 맞게 피로 강도를 규정하고 있다.

제 3 장 고장력볼트 마찰이음부의 순수굽힘실험

3.1 설계기준 및 강재 물성치

과대 구멍을 갖는 2면 전단 고장력볼트 마찰접합부의 시험편 설계는 도로교설계시방서를 참고하여, 표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격과 표 3.2 최소 및 최대 연단거리는 강구조설계기준(ASD)에 적합하도록 배치하였으며, 고층건물이나 장 경간 철강구조물 시공현장에서 시공공차를 흡수하는 가장 편리하고 간단한 방법에 유사하게 설계하였다.

표 3.1 볼트의 최소 및 최대간격

볼트호칭	최소중심간격(㎜)	최대중심간격	
		P(㎜)	g(㎜)
M20	65	12t이하 지그재그인 경우 ⇒ 15t(3/8)g 또는 12t의 작은 쪽	24t 단, 300 이하
M22	75		
M24	85		

표 3.2 최소 및 최대 연단 거리

볼트 호칭	최소연단거리(㎜)		최대연단거리(㎜)
	절단연, 수동가스절단연	압연연, 다듬질연, 자동가스연	
M20	32	28	연결판 두께의 8배 이하, 단 150이하
M22	37	32	
M24	42	37	

시험편 강재는 표 3.3과 같이 탄성계수(E)는 206,000N/㎟, 전단 탄성계수(G)는 79,500N/㎟, 포아송비(ν)는 0.3, 선팽창계수(a)는 0.000012[1/℃] 이고, 강재의 화학성분은 표 3.4와 같고, 강재의 기계적 성질은 표 3.5와 같다. 시험편은 모재와 덮개판 그리고 고장력볼트 세트로 구성되는데 모재와 덮개판은 일반 구조용 강재로 사용되는 SM 490, 고장력볼트는 고장력 육각볼트를 사용하였고, 고장력볼트 재질은 F10T 이다.

표 3.3 강재의 재료정수

정 수 / 재 료	탄성계수(E) (N/㎟)	전단탄성계수(G) (N/㎟)	포아송비 (ν)	선팽창계수 [1/℃]
강 재	206,000	79,500	0.3	0.000012

표 3.4 강재의 화학성분 / 기계적 성질

강재 종류	두께 (㎜)	화 학 성 분 (%)				
		C	Si	Mn	P	S
SM490B	12	0.15	0.38	1.42	0.017	0.006
	18	0.16	0.39	1.44	0.022	0.003

두께	두께 (㎜)	기 계 적 성 질		
		항복강도(N/㎟)	인장강도(N/㎟)	연신율(%)
SM490B	12	353	526	24
	18	345	531	26

3.2 시험편 치수 및 일람표

H-Beam시험편은 H-400x200x8x13, SM490인 강재를 사용하여 제작된 모재 2개를 그림 3.1과 같이 연결판 6개와 F10T M22 볼트 40개를 이용하여 연결하였고, 하중 재하 위치에 보강재를 설치하였다. 준비한 시험편은 표 3.5과 같이 Base와 Cover ∅24인 표준시험편(FM-ST) 1개, Base ∅28, Cover ∅24인 과대볼트 구멍 시험편(FM-OB6) 1개, Base ∅26, Cover ∅26인 과대볼트 구멍 시험편(FM-OD4) 1개, Base ∅28, Cover ∅28인 과대볼트 구멍 시험편(FM-OD6) 1개 총 4개를 제작하여 순수 굽힘 실험을 실시하였다.

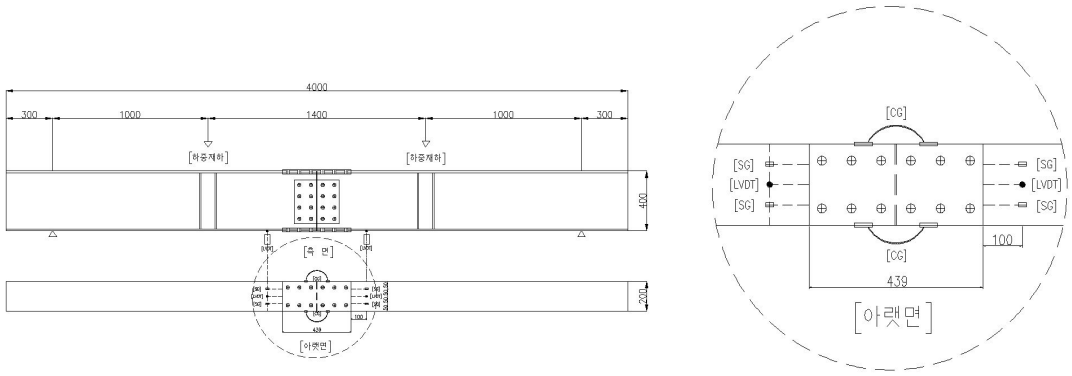


그림 3.1 H-Beam 순수 굽힘 시험편 치수 및 형상

표 3.5 H-Beam 순수 굽힘 시험편 일람표

번호	접합형태	구멍형태	시험편명	Base 가공치수	Cover 가공치수	수량
1	2면전단	표준	FM-ST	∅24	∅24	1
2	2면전단	과대	FM-0B6	∅28	∅24	1
3	2면전단	과대	FM-0D4	∅26	∅26	1
4	2면전단	과대	FM-0D6	∅28	∅28	1
합계						4

ST : Standard, 0B : Over hole Base,
0C : Over hole Cover, 0D: Over hole Double
2 : 2mm Over, 4 : 4mm Over, 6 : 6mm Over

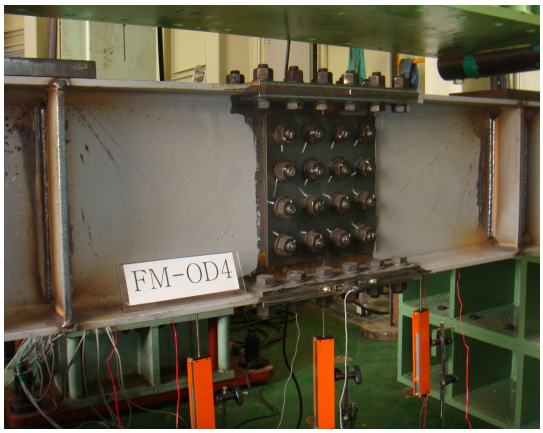
3.3 실험준비

본 연구에서 실험 시험편은 모두 똑같은 조건으로 조립을 하였다. 시험편은 모재 2개, 덮개판 6개, M22 고장력볼트 40개, 와셔는 2개씩 80개, 너트 40개를 준비한다. 볼트 예비 조임은 렌치를 이용하여 예비 조임을 실시한다. 이때 모재가 서로 4mm정도 떨어지게 하고, 부재의 직진성을 확인하면서 조인다. 예비조임이나 볼트의 조임은 바깥쪽에서 안쪽의 순서로 일정한 축력이 도입되도록 한다. 축력계와 토크렌치로 토크값 설정은 동일 고장력볼트를 가지고 축력계를 이용하여, 설계축력의 10% 축력이 나올 때의 토크값을 설정한다. 본 시험체의 M22 설계볼트축력은 220kN이며, 시공축력은 240kN이다. 1차 조임은 시방서에 따라 1차 조임은 소요 토크값의 60%정도로 전체볼트를 조인다. M22 1차 조임 토크값은 510kN이며, M24 1차 조임 토크값은 750kN으로 설정한다. 2차 본조임 최종 축력에 도달 할 때까지 2차 본조임을 실시한다. M22 2차 본조임 토크값은 850kN으로 설정한다. 완성된 각각의 시험편에 변위계와 크렉게이지를 부착한다.

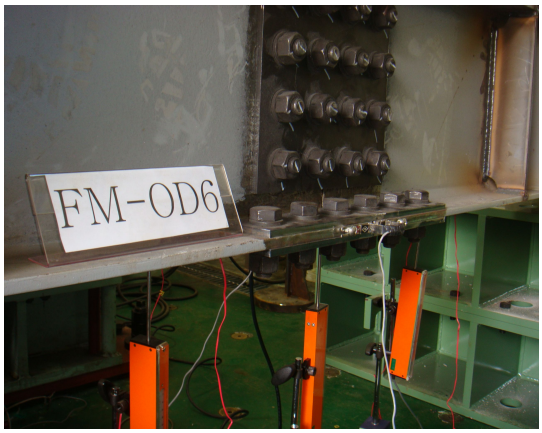
본 실험에 사용된 기기는 200ton 유압실린더이며, 스트레인 게이지(Strain Gage)YFLA-5-3L Tokyo Sokki Kenkyujo Co.를 사용 하였으며, 변위계는(Displacement Transducers) CDP-100C, Tokyo Sokki Kenkyujo Co.를 사용 하였고, 체결이 완료 된 후에는 그림 3.1에 보여주고 있는 것과 같이 양측에 1개씩 2개의 크랙 게이지와 중앙부에 3개의 변위계를 부착하여 실험하였다. 실험은 그림 3.2와 같이 200ton 유압실린더를 이용하여 하중제어로 가력속도는 5tonf/min 이며, 하중을 가하면서 변위와 크랙 게이지를 이용한 미끄러짐 변위를 측정하였다.

(a) FM-ST

(B) FM-0B6



(c) FM-0D4



(d) FM-0D6

그림 3.2 H-Beam 순수굽힘 실험

3.4 순수굽힘 실험에 대한 고찰

그림 3.3은 H-Beam의 순수굽힘 후의 모습이고 그림 3.4는 수직 재하 하중과 중앙부 처짐변위를 곡선을 보여주고 있으며, 중앙부 처짐변위는 수직하중과 함께 증가하다가 시험편에 따라 10.3~14.5㎜사이에서 급격히 하중이 떨어지고, 처짐변위를 증가하였다. 중앙 처짐변위로부터 미끄럼하중의 결정은 그림 3.4과 같이 하중이 급격히 저하되는 부분에서의 하중을 미끄럼하중으로 결정하였다. 실험에 의한 최대 미끄럼하중은 표준 볼트구멍(FM-ST)인 경우 402kN이고, 처짐변위는 14.5㎜로 제일 크게 나타났으며 제일 작은 것은 330kN이고, 이때 처짐변위는 10.3㎜로 모재와 덮개판을 6㎜ 확공된 시험편(FM-OD6)이다.

그림 3.5는 수직 재하하중과 측면 크랙게이지의 변위량을 보여주고 있으며, 하중의 증가에 따라 중앙부 모재에 부착된 크랙게이지는 완만히 증가하다가 변위 0.12~0.3에서 변위는 증가하나 하중이 떨어지는 현상이 발생하였다. 이때의 그림 3.4의 하중과 중앙부 처짐변위도 같은 하중에서 급격히 변화하는 것을 알 수 있다. 크랙게이지의 결과도 중앙부 처짐변위와 비슷한 경향을 보이고 있으며 표준시험편의 경우가 약 0.3㎜의 변위로 제일 크게 발생한 후 미끄러짐이 발생하였으나 그 밖의 시험체에서는 약 0.2㎜에서 미끄러짐이 발생하였다. 수직하중과 중앙부 수직처짐의 선도의 기울기는 OB6, ST, OD6, OD4순으로 작게 나타났다. 이것은 수직하중과 크랙게이지의 선도에서도 동일하며 이는 강성의 차이로 볼 수 있으나 그 차이는 크지 않았다.

이상으로 표 3.6과 같이 모든 시험편은 볼트 구멍의 크기 및 구멍이 설치된 위치에 관계없이 설계미끄럼 하중과 설계미끄럼 계수를 만족하였다.

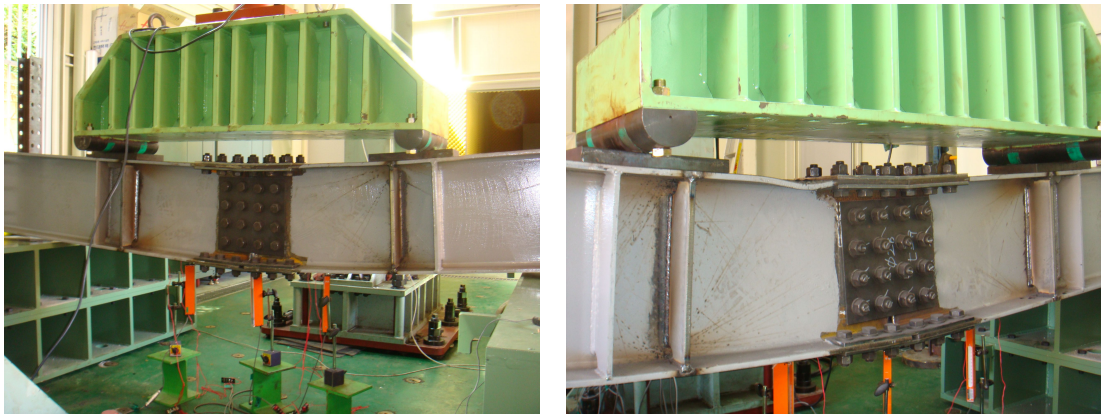


그림 3.3 시험편 굽힘실험 후 모습

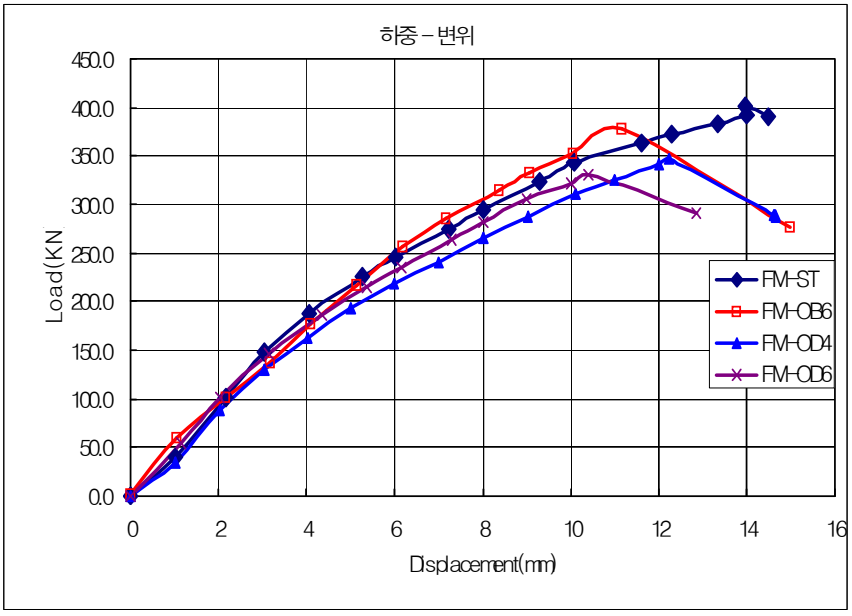


그림 3.4 하중-중앙 변위 곡선

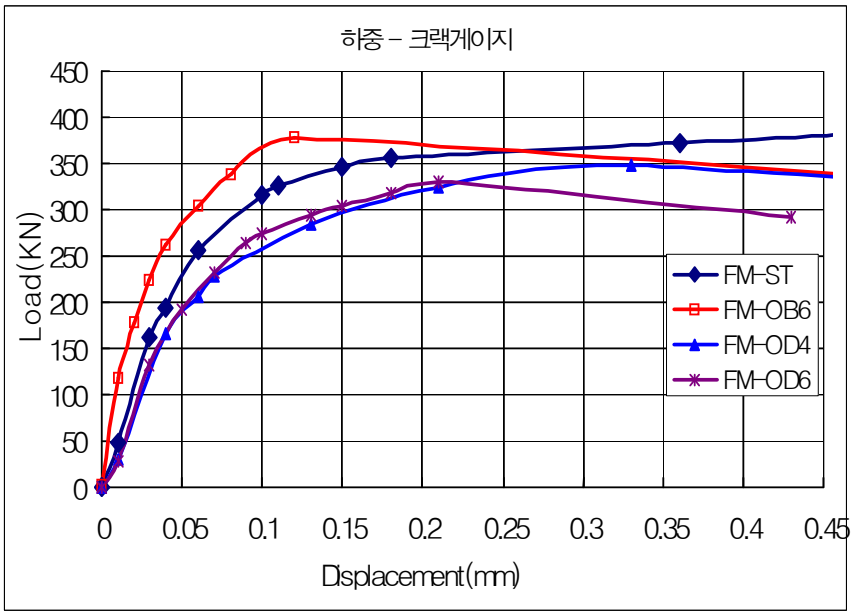


그림 3.5 하중-크랙게이지곡선

표 3.6 순수굽힘 실험의 결과

시험편	미끄러짐 집중하중(kN)	하부플랜지 미끄럼하중(kN)	미끄럼 하중비
FM-ST	402.00	441.01	1
FM-0B6	377.99	414.67	0.940
FM-0D4	347.70	381.42	0.865
FM-0D6	330.95	363.06	0.823

제 4 장 고장력볼트 마찰이음부의 피로강도 평가

4.1 시험편의 칫수 및 일람표

H-Beam시험편은 H-400x200x8x13, SM490인 강재를 사용하여 제작된 모재 2개를 그림 4.1과 같이 연결판 6개와 F10T M22 볼트 40개를 이용하여 연결하였고, 하중 재하 위치에 보강재를 설치하였다. 준비한 시험편은 표 4.1과 같이 Base와 Cover ∅24인 표준시험편(F-ST) 2개, Base ∅28, Cover ∅24인 과대볼트 구멍 시험편(F-0B6) 1개, Base ∅24, Cover ∅28인 과대볼트 구멍 시험편(F-0C6) 1개, Base ∅28, Cover ∅28인 과대볼트 구멍 시험편(F-0D6) 1개 총 5개를 제작하여 피로실험을 실시하였다.

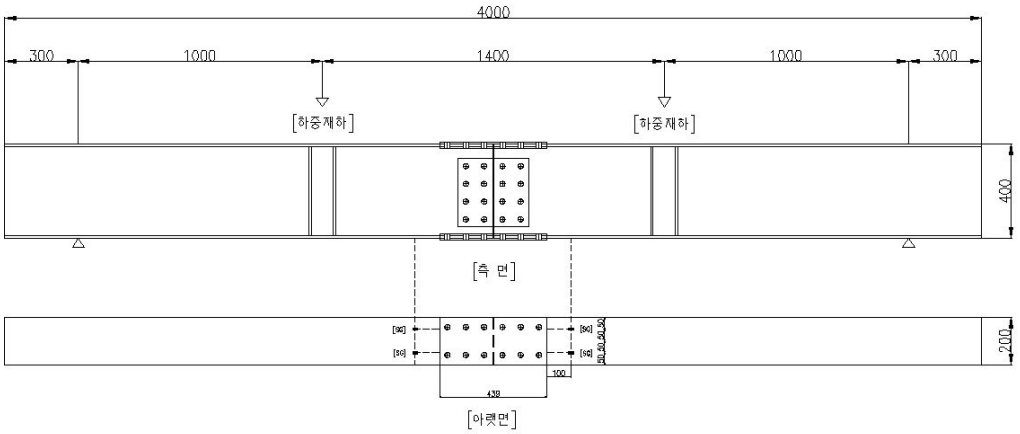


그림 4.1 H-Beam 피로 시험편 치수 및 형상

표 4.1 H-Beam 피로 시험편 일람표

번호	접합형태	구멍형태	시험편명	Base 가공치수	Cover 가공치수	수량
1	2면전단	표준	F-ST	∅24	∅24	1
2	2면전단	과대	F-0B6	∅28	∅24	1
3	2면전단	과대	F-0C6	∅24	∅28	1
4	2면전단	과대	F-0D6	∅28	∅28	1
합계						4

ST : Standard, 0B : 0ver hole Base,
0C : 0ver hole Cover, 0D: 0ver hole Double
2 : 2mm 0ver, 4 : 4mm 0ver, 6 : 6mm 0ver

4.2 실험준비

본 연구에서 실험 시험편은 모두 똑같은 조건으로 조립을 하였다. 시험편은 모재 2개, 덮개판 6개, M22 고장력볼트 40개, 와셔는 2개씩 80개, 너트 40개를 준비한다. 볼트 예비 조임은 렌치를 이용하여 예비 조임을 실시한다. 이때 모재가 서로 4mm정도 떨어지게 하고, 부재의 직진성을 확인하면서 조인다. 예비조임이나 볼트의 조임은 바깥쪽에서 안쪽의 순서로 일정한 축력이 도입되도록 한다. 축력계와 토크렌치로 토크값 설정은 동일 고장력볼트를 가지고 축력계를 이용하여, 설계축력의 10% 축력이 나올 때의 토크값을 설정한다. 본 시험체의 M22 설계볼트축력은 220kN이며, 시공축력은 240kN이다. 1차 조임은 시방서에 따라 1차 조임은 소요 토크값의 60%정도로 전체볼트를 조인다. M22 1차 조임 토크값은 510kN이며, M24 1차 조임 토크값은 750kN으로 설정한다. 2차 본조임 최종 축력에 도달 할 때까지 2차 본조임을 실시한다. M22 2차 본조임 토크값은 850kN으로 설정한다.

응력범위는 실제 교량 주거더의 단면이음부를 설계할 때 사용하는 응력범위 수준과 피로설계기준에 제시되어 있는 설계 그림 4.2의 S - N선도상 B등급인 고장력볼트 마찰

이음의 허용응력범위를 고려하여 $\Delta\sigma = 112MPa$을 기본 응력범위로 하여 1.3배에 대해 실험체별로 가력 하였다. 또한 최대응력과 최소응력의 비인 응력비(R)는 0.1을 적용하였다.

반복하중 재하는 하중 제어로서 Sine 파형 하중을 사용하였고, 하중 반복속도는 재하 하중에 의해 발생하는 실험체의 최대 변위의 범위와 깊은 관련이 있으므로 그림 4.2, 그림 4.3, 그림 4.4와 같이 각 실험체별로 시험 재하를 실시한 후에 가장 안정적인 반복속도를 설정하였는데, 대부분 2Hz, 40t-2t로 설정하였다. 여기서 Hz란 주파수의 단위이고 주파수란 1초만에 진동하는 횟수를 나타낸다. 실험은 그림 4.6과 같이 50ton 유압실린더를 이용하여 하중제어로 실시하였다.

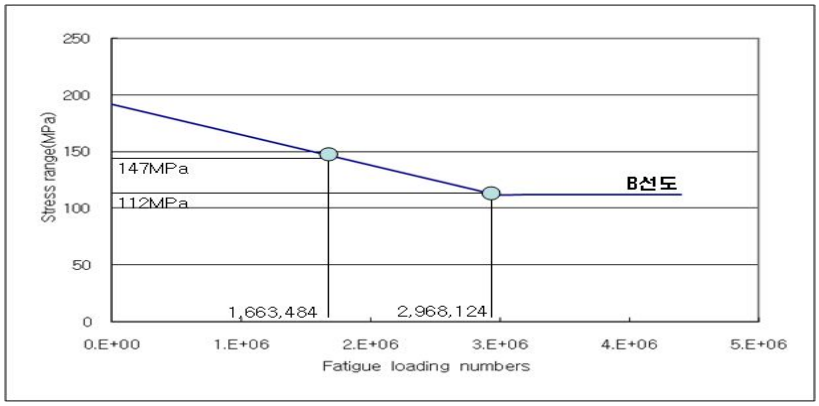


그림 4.2 피로선도 B선도

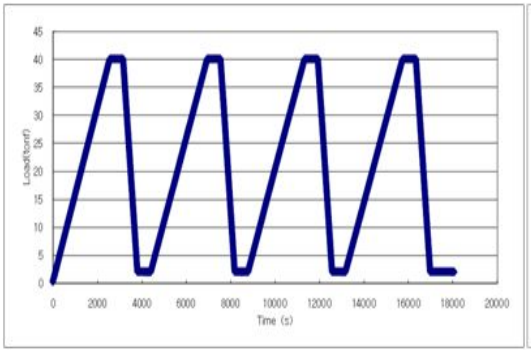


그림 4.3 정적하중 재하 패턴

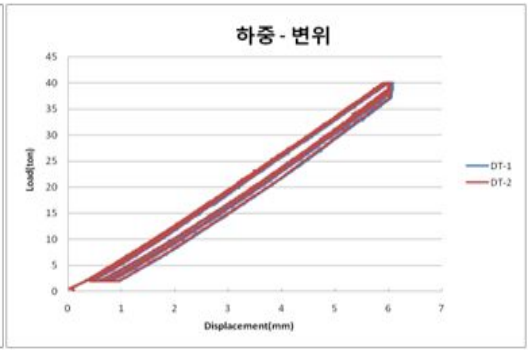
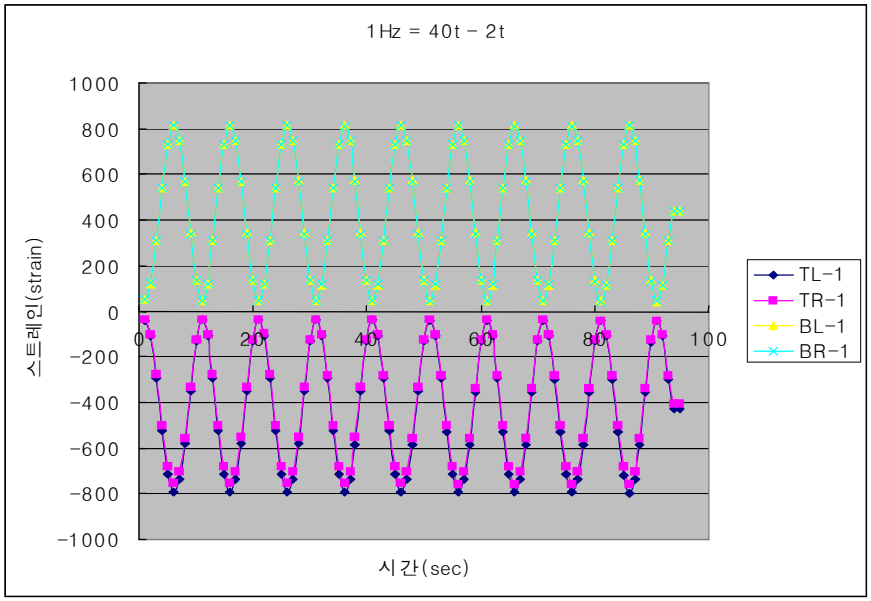
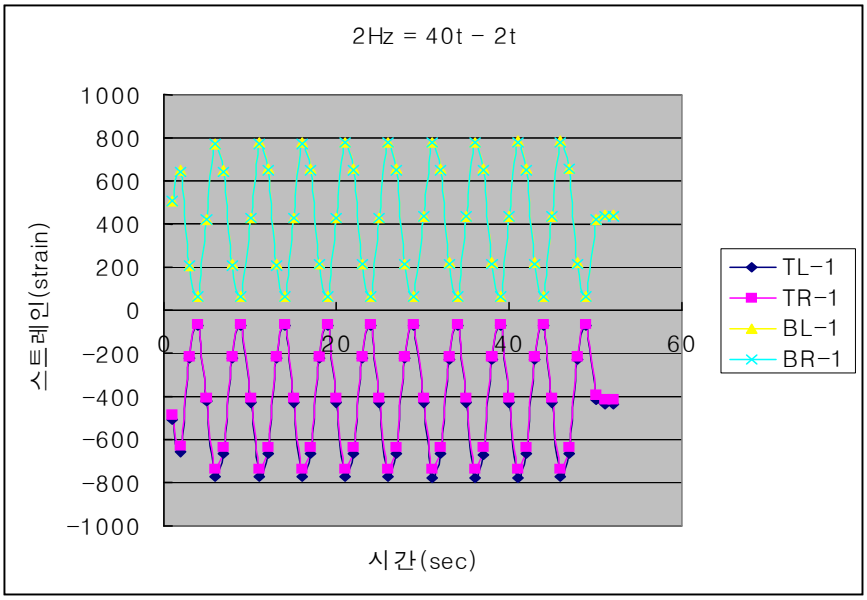


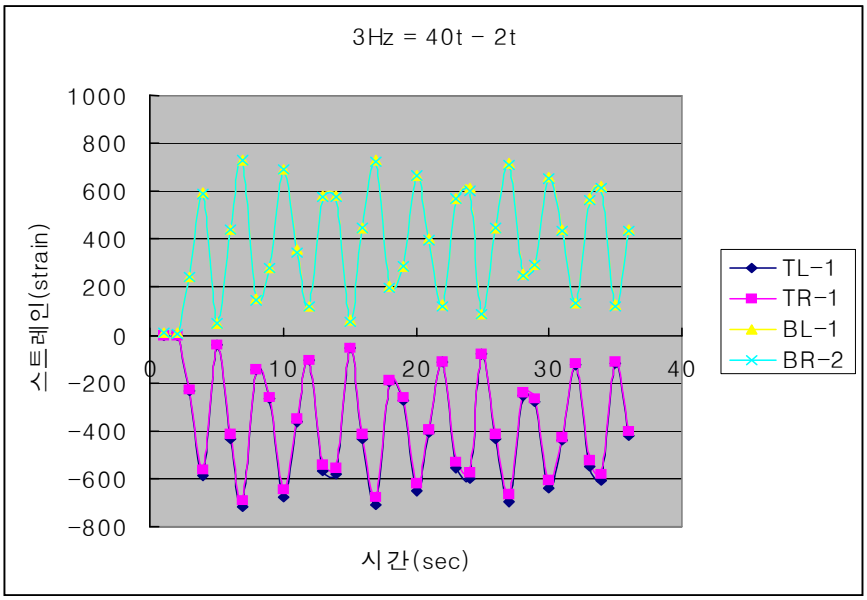
그림 4.4 하중 - 변위 곡선



(a). 1Hz = 40t - 2t



(a). 2Hz = 40t - 2t



(a). 3Hz = 40t - 2t

그림 4.5 피로실험 조건을 위한 예비Test 결과

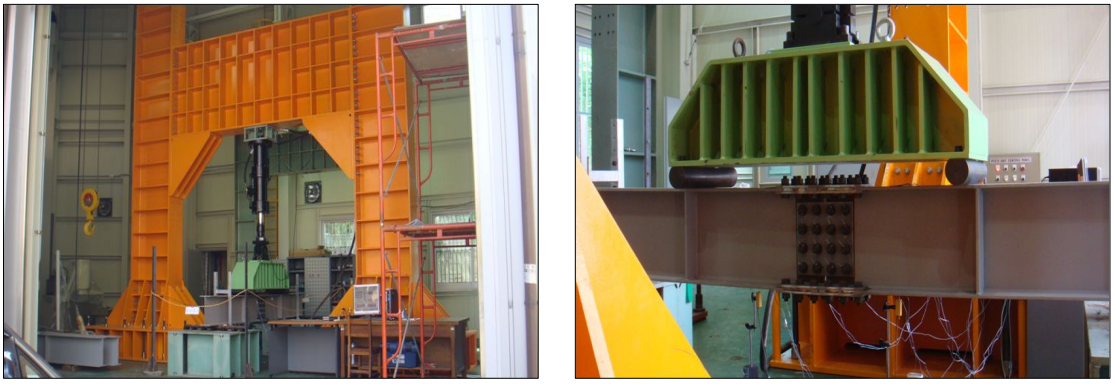


그림 4.6 H-Beam 피로실험

4.3 피로시험에 대한 고찰

표준볼트구멍과 과대볼트구멍의 피로실험결과 표 4.2와 같이 모든 시험체는 피로한계(200만회)까지 피로하중을 재하 하여도 균열이 발생하지 않아 그림 4.7과 같이 볼트부의 피로선도 B를 만족하여 과대볼트구멍에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 표면의 균열발생여부를 검사하는 비파괴균열검사인 침투탐상검사를 실시하여 피로실험이 종료된 시험체에 대한 볼트연결부 균열을 조사하였으나 모든 피로시험체에서는 균열이 검출되지 않았다.

표 4.2 H-Beam 피로강도 평가 실험 결과

시험편명	초대/최소하중 (Hz)	응력범위 (MPa)	예상 파단횟수	실제 파단횟수	파단위치
F-ST	40t-2t(2Hz)	147	1,663,484	200만회	-
F-0B6	40t-2t(2Hz)	147	1,663,484	200만회	-
F-0C6	40t-2t(2Hz)	147	1,663,484	200만회	-
F-0D6	40t-2t(2Hz)	147	1,663,484	200만회	-

※피로한계 : 200만회

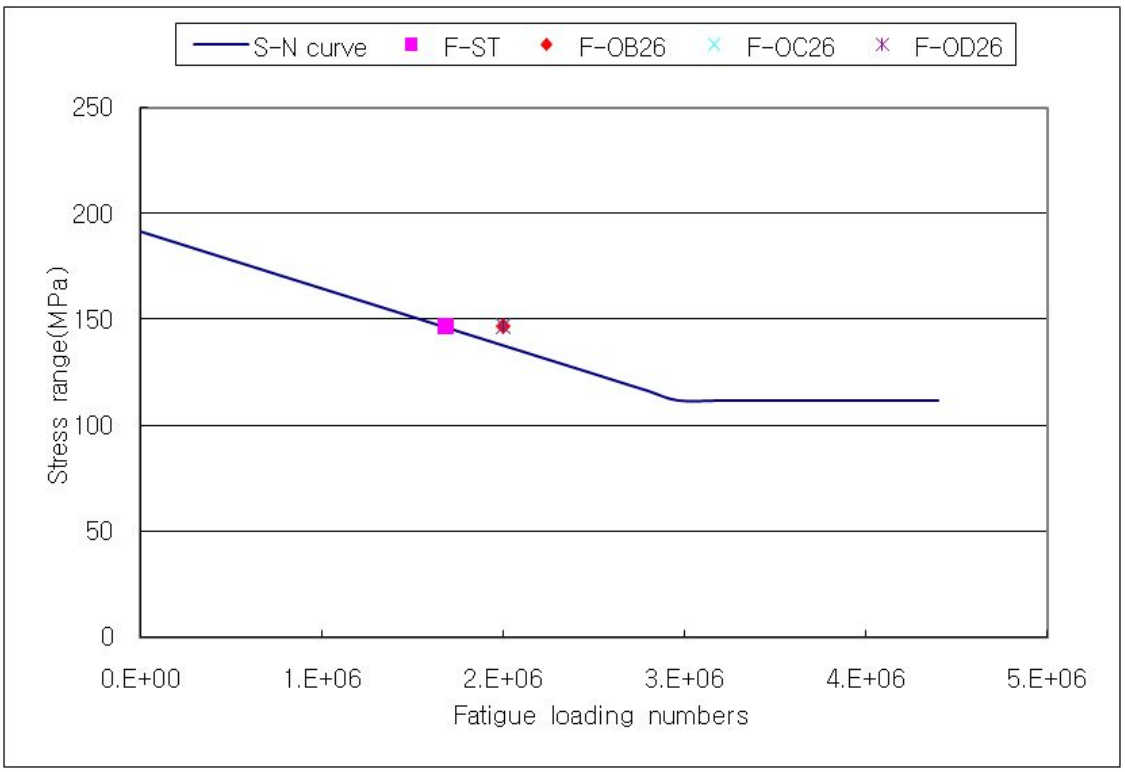


그림 4.7 피로실험 결과 S-N 선도

4.4 비파괴검사

비파괴 검사란 구조물이나 제품을 분해하거나 파괴하지 않고 원형 그대로 결함, 안전도, 수명 등 을 정확하게 진단하여 하자를 보수하거나 품질을 관리 할 수 있는 검사 방법을 말한다. 특징으로는 전수검사 가능 하고 제조 시 모니터, 사용 시 플랜트, 장치, 구조물의 수명예측이 가능하다. 비파괴 검사는 재료 및 용접부의 결함검사, 내부구조 및 내용물의 조사, 재료, 기기의 계측검사, 재질검사, 표면 처리층 두께 측정, 스트레인 측정에 적용된다.

비파괴검사의 종류는 초음파탐상검사(U/T), 방사선투과검사(R/T), 자분탐상검사

(M. P.T), 와류탐상 (E/T), 누설탐상검사 (L/T), 액체침투탐상검사(L.P.T) 등이 있다.

본 실험에서는 액체침투탐상검사(L.P.T)를 실시하였으며, 액체침투탐상검사란 침투탐상검사란 시험편 표면의 균열 등의 불연속부에 침투액을 침투시킨 후 표면에 있는 과잉의 침투제를 제거하고, 현상제를 도포시켜 침투된 침투액을 추출시켜 불연속부의 균열위치, 크기 및 지시모양을 검사하여 제품의 품질수준을 검사하는 비파괴검사의 한 분야이며 검사순서는 그림 4.8과 같다.

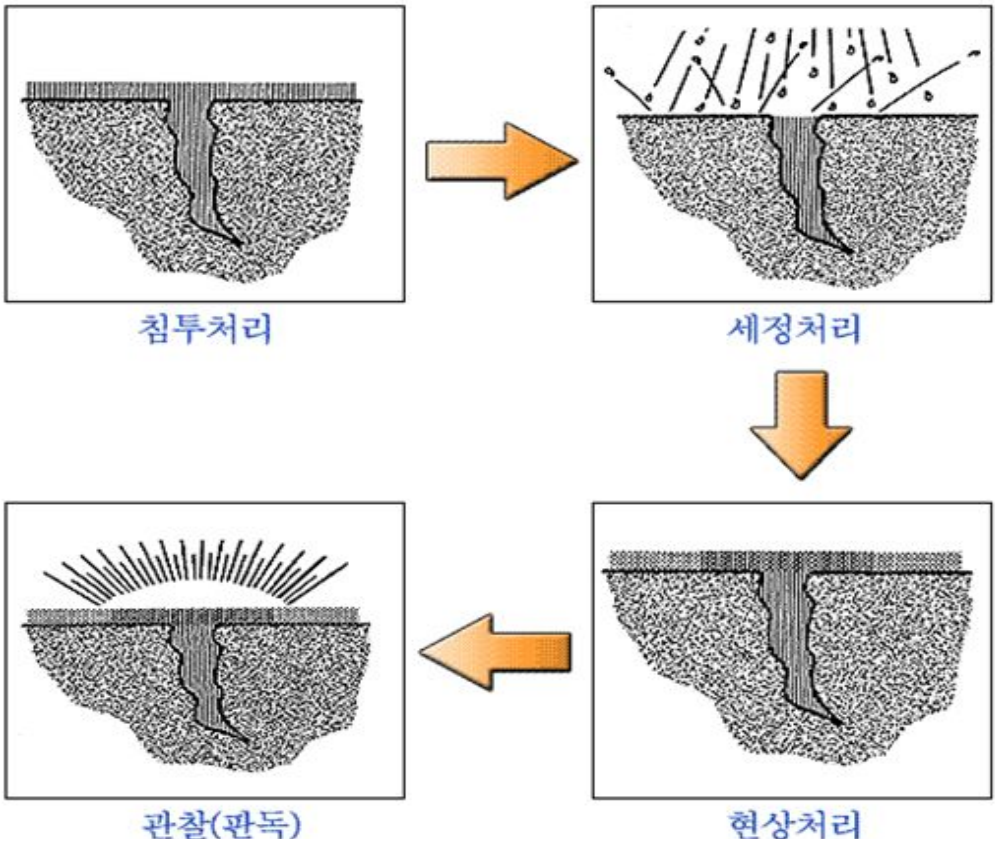
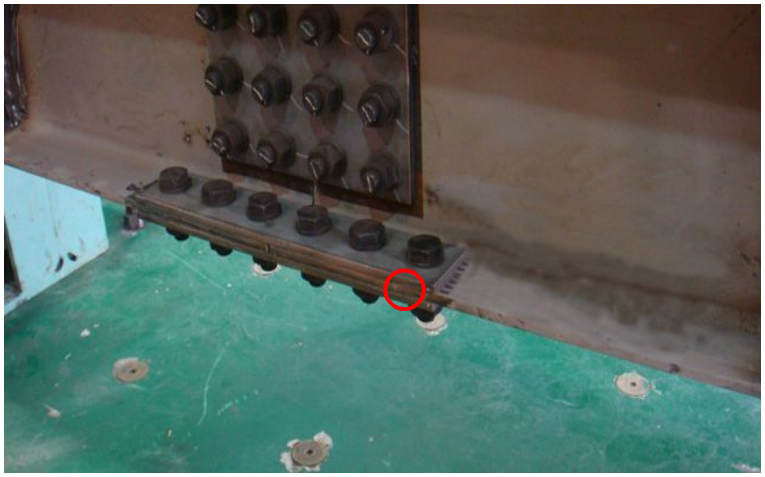


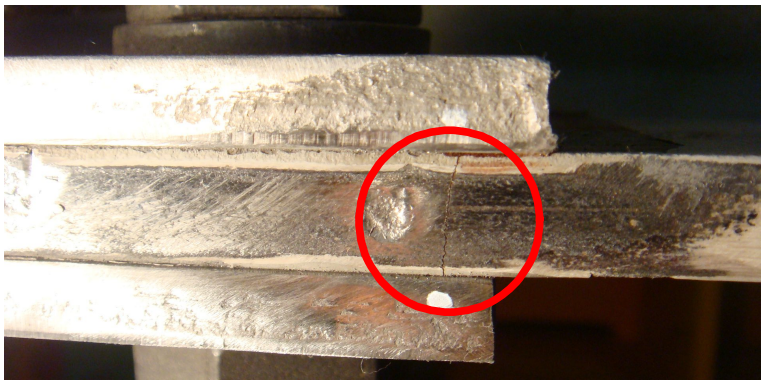
그림 4.8 침투탐상검사 순서

4.4.1 액체침투탐상검사 검토

모든 시험편에 액체침투탐상 검사를 실시하기 전 그림 4.9와 같이 육안으로 균열이 확인 된 예비시험편을 대상으로 그림 4.10과 같이 액체침투탐상 검사를 검토한 결과 육안으로 확인된 균열 외에는 다른 균열은 발생하지 않았음을 확인할 수 있었었다.

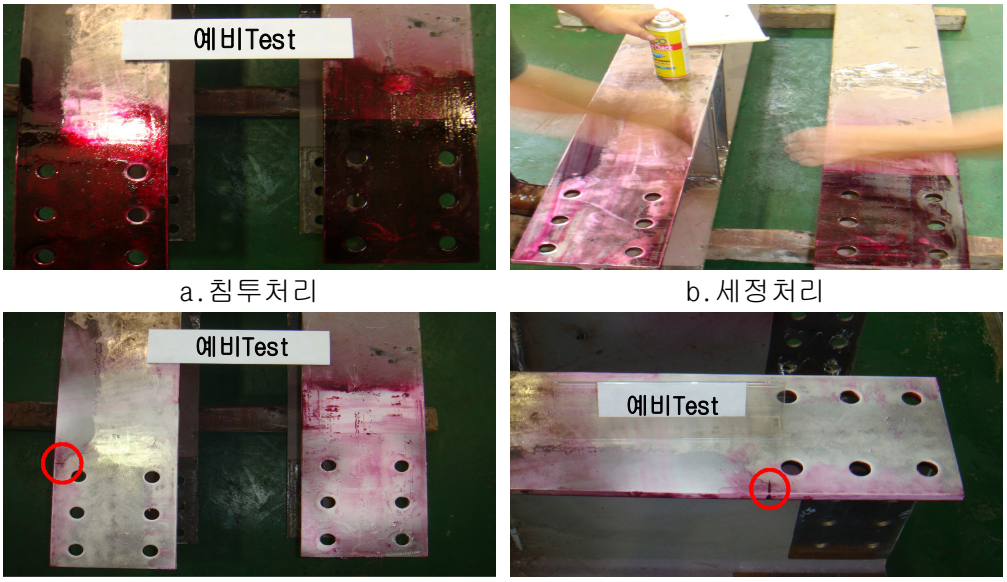


(a) H-Beam 예비Test 피로균열 _ 볼트위치



(b) H-Beam 예비Test 피로균열 _ 모재균열

그림 4.9 H-Beam 예비Test 피로균열



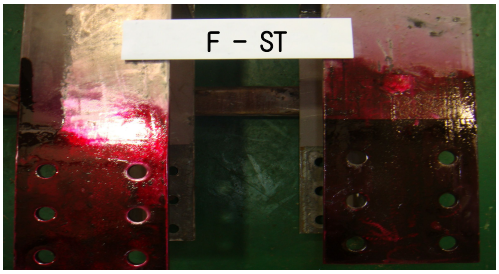
a.침투처리 b.세정처리

c.현상처리 d.관찰(판독)

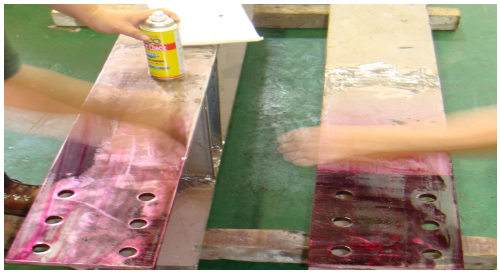
그림 4.10 예비Test _ 액체침투탐상검사

4.4.2 피로시험편 액체침투탐상검사

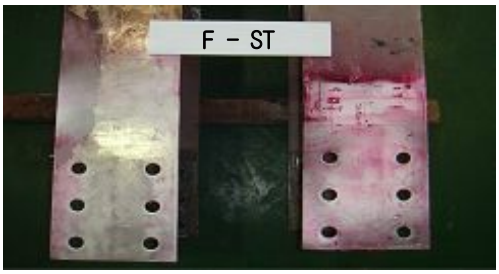
액체침투탐상검사의 검토 결과를 바탕으로 그림 4.11, 그림 4.11, 그림 4.11처럼 모든 피로시험편을 대상으로 액체침투탐상 검사를 실시하였으나 피로실험 결과와 같이 균열부위는 확인할 수 없었다.



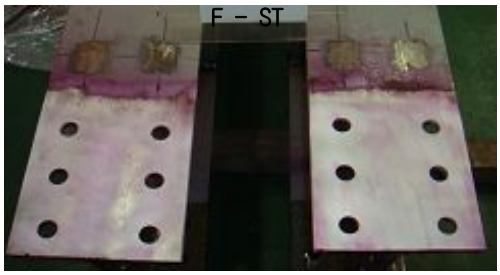
a.침투처리



b.세정처리

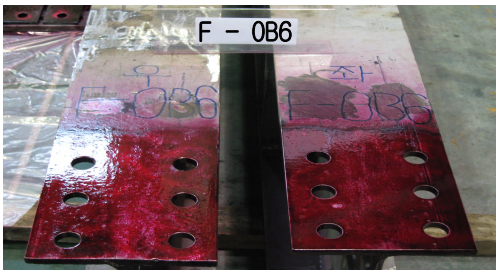


c.현상처리

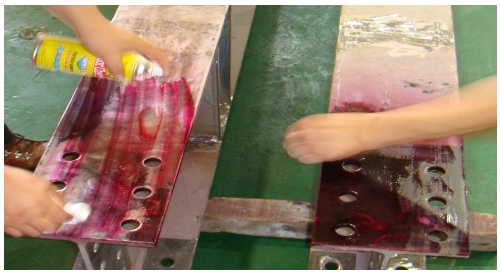


d.관찰(판독)

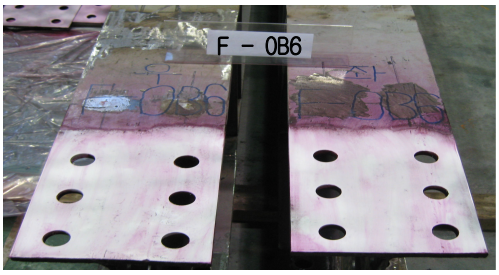
그림 4.11 F - ST _ 액체침투탐상검사



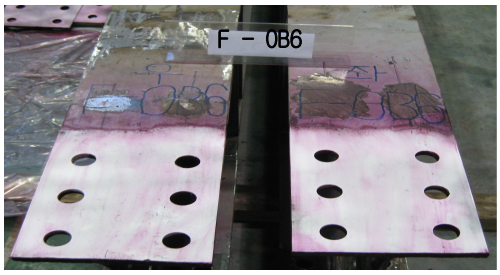
a.침투처리



b.세정처리

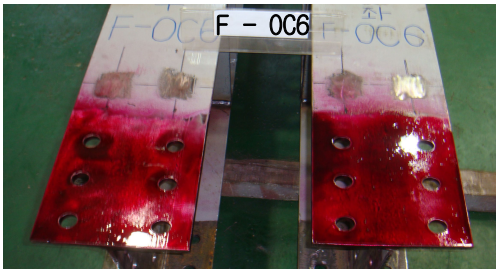


c.현상처리

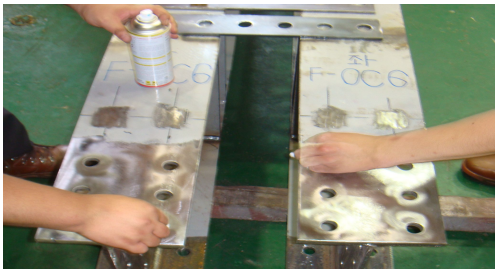


d.관찰(판독)

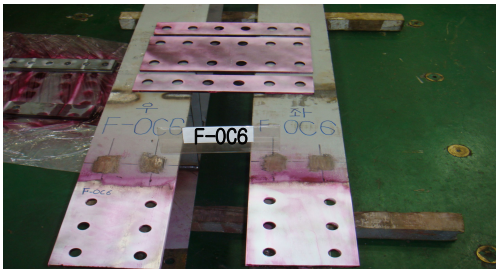
그림 4.12 F - OB6 _ 액체침투탐상검사



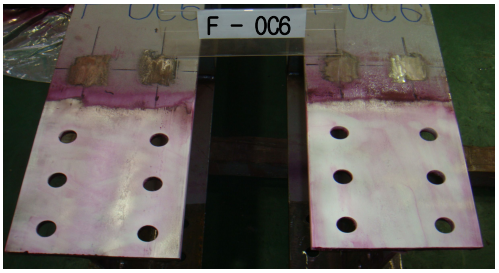
a.침투처리



b.세정처리

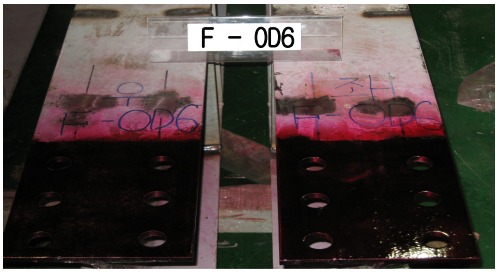


c.현상처리

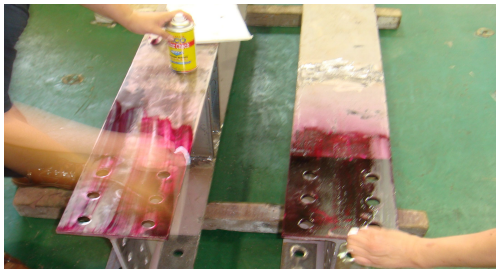


d.관찰(판독)

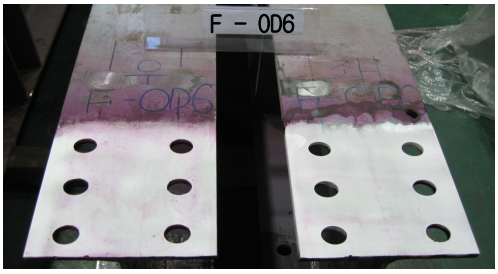
그림 4.13 F - 0C6 _ 액체침투탐상검사



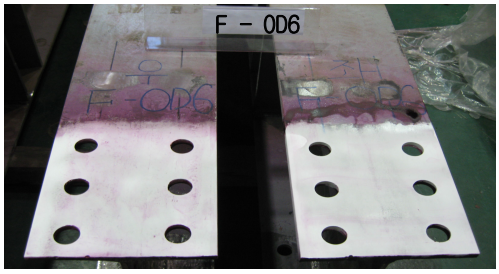
a.침투처리



b.세정처리



c.현상처리



d.관찰(판독)

그림 4.14 F - 0D6 _ 액체침투탐상검사

제 5 장 결 론

본 논문에서는 고장력볼트 마찰접합부에 대하여 구멍크기를 실험변수로 하여 2면 전단 시험편으로 순수굽힘실험 및 피로피로실험을 실시하였다. 실험결과로 고장력볼트 마찰이음부의 미끄러짐 거동변화, 미끄럼강도, 미끄럼계수, 최대하중, 피로강도, 피로하중으로 인한 예상파단횟수와 실험에 의한 파단횟수를 비교 분석하고, 표준구멍일 때와 과대구멍일 때를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 순수힘실험에서 휨을 받는 고장력볼트 체결부에서 표준 볼트구멍을 가지는 경우보다 과대 볼트구멍을 가지는 경우에 미끄럼하중이 82% ~ 94% 작게 나타나 과대볼트의 영향에 의해 내하력 감소하는 것을 알 수 있다.

2. 피로실험에서 모든 시험체는 피로한계(200만회)까지 피로하중을 재하 하여도 균열이 발생하지 않아 볼트부의 피로선도B를 만족하여 과대볼트구멍에 대한 영향이 없는 것으로 나타났다.

3. 표면의 균열발생여부를 검사하는 비파괴균열검사인 침투탐상검사를 실시하여 피로실험이 종료된 시험체에 대한 볼트연결부 균열을 조사하였으나 모든 피로시험체에서는 균열이 발생하지 않았다.

현재 국내 시방서기준에서는 과대구멍에 대한 규정이 없고, 이에 대한 연구도 선진국에 비해 부족한 실정이다.

향후 보다 안전하고 합리적인 시공을 위해서는 표준볼트 구멍이 구조물에 미치는 영향과 과대구멍이 구조물에 미치는 영향에 다양한 실험을 실시하여 국내 시방서기준의 과대구멍에 대한 규정이 보완되어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, “도로교표준시방서”, 2005.
2. 건설교통부, “도로교설계기준”, 2005
3. 한국강구조학회, “강구조공학”, 2002.
4. 한국강구조학회, “강구조의 설계”, 2000.
5. 경갑수, 이승용, 김기현 “도장처리한 고장력볼트 연결부의 미끄러짐 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 제28권 5A호
6. 김태석 “F13T 고장력볼트의 피로수명 예측에 관한 연구”경기대학교, 석사학위논문(2002)
7. 박용명, 성택룡, “내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(1)”한국강구조학회 논문집 제 12권 2호 2000년 4월
8. 박용명, 성택룡, “내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(2)”한국강구조학회 논문집 제 12권 2호 2000년 4월
9. 성택룡, 황민오, 이종관, 윤태양 “고장력볼트 마찰이음에 있어서 미끄럼계수와 마찰계수에 대한 고찰”, 한국강구조학회 제19권 제3호
10. 성택룡, 황민오, 이종관, 윤태양, “고장력볼트 마찰이음에 있어서 미끄럼계수와 마찰계수에 대한 고찰”한국강구조학회 학술기사 제 19권 3호 2007년9월
11. 성택룡 “극후판 마찰이음의 미끄럼계수 및 단차의 영향에 관한 연구”서울대학교, 박사학위논문(2007)
12. 이승용, 박영훈, 조선규, 장동일, “과대공을 갖는 고장력볼트 이음부의 역학적 거동에 관한 실험 및 해석적연구”한국강구조학회 논문집 제 10권 3호 1998년9월
13. 이승용, 경갑수 “고장력볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구” 대한토목학회논문집 제26권 제3A호 2006년 5월
14. 이승용, 경갑수, 장동일(1999) 방청처리한 고장력볼트 이음부의 릴렉세이션 및 미Rm러짐 거동에 관한 실험적 연구. 대한토목학회논문집, 제 19권, 제 I-5호, pp.697 ~ 705
15. 이승용, 경갑수, 성기태(2000) 채움판을 갖는 고장력볼트 이음부의 미끄러짐 거

동, 대한토목학회논문집, 제 20권, 제 6-A호, pp.1005 ~ 1015
16. 이승용, 경갑수, 박용걸(2001) 고장력볼트 마찰이음에서 모재 틈새간격의 영향. 대한토목학회논문집, 제 21권, 제 2-A호, pp.269 ~ 278
17. 진희, 최종경, 허인성, 김성보, “압축력을 받는 고장력볼트 이음부의 미끄러짐 거동”, 한국강구조학회 논문집 제20권 2호
18. 조선규, 홍성욱 “표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집 제9권 3호
19. 조선규, 홍성욱, “표면상태에 따른 고장력볼트 마찰이음부의 거동특성에 관한 연구” 한국강구조학회 논문집 제 9권 3호 1997년9월
20. 조강균 “고장력 볼트구멍의 크기와 과대볼트 구멍의 위치가 마찰이음부 인장 내하력에 미치는 영향”조선대학교, 석사학위논문(2009)
21. 한종욱, 박영석, “F13T급 고장력볼트를 이용한 마찰연결부 피로강도에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 논문집 제28권 5A호
22. Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer “Steel Structures Third Edition,” McGraw-Hill, 1992.
23. Jack C. McCormac, (장동일 역), “Structural Steel Design,” 구미서관, 1988.
24. “MANUAL of STEEL CONSTRUCTION”, AISC, Load and factor Design, Third Edition, Novemver 2001.
25. "Manual of STEEL CONSTRUCTION", ALSC, Allowable Stress Design, Ninth Edition,1989.
26. "DESIGN OF STEEL STRUCTURES", Third edition, Edwin H. Gaylord, Jr, Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer, McGraw-Hill, Inc. 1992
27. Peter C. Birkemoe, and Ramachandran Srinivasan, "Fatigue of Bolted High Strength Structural Steel",Journal of the Structural Division,1971.3.
28. John W, Fisher, Theodore V. Galambos, Geoffery L. Kulak, Mayasandra K. Ravindra, "Load and Resistance Factor Design Criteria for connectors", 1978.9
29. Ronald N. Allan, A.M. ASCE and John W. Fisher. M. ASCE, "Bolted Joints with

Oversize or Slotted Holes", Journal of the Structural Division, ASCE, September.1968
30. Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher, john H,A.Struik, "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints", second edition, John Wiley & Sons, Inc.1987
31. AASHTO LRFD Bridge Design Specification.1998
32. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition. 2002
33. Eurocode3 Part2, Steel Bridges. 2003
34. ISO Steel Structures - Part1 Material and Design. 1997
35. Allan, R.N and Fisher, J W, Bolted Joints with Oversize or Slotted Holes, Journal of Structural Division, Proc of the ASCE, Vol.94, No.ST, pp2061~2079 1968
36. Chesson, E, Jr.and Munse, W.H, Studies on the Behavior of High Strength Bolts and Bolted Joints, Bulletin No.469, Vol.62, No.26, University of illinois Engineering Experiment Station, University of illinois. 1964
37. Hectman, R. A. Condition Affecting the Slip of Structural Steel Bolted Joints, The Trend in Engineering, University of Washington, Vol.1, No.4, pp12~18. 1949
38. Wilson, W.M. and Thomas, F.P. Fatigue Test on Riveted Joints, Bulletin No.302 University of illinois Engineering Experiment Station, University of illinois. 1938
39. Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer "Steel Structures Third Edition," McGraw-Hill. 1992
40. 日本道路協會, 道路橋示方書. 同解說 II鋼橋編. 2002
41. 日本建築學會, 鋼構造接合部設計指針. 2001
42. 西村昭, 山野繁行, 石澤成夫(1971) : 過大穴を有する摩擦接合の力學的成狀について, 日本土木學會第26回年次學術講演會概要集
43. 西村昭, 島田喜十郎, 今村成雄, 湯治秀郎(1972) : 高力ボルト繼手の疲勞强度にお

よぼす諸要因の影響，日本土木學會第27回年次學術講演會概要集
44．西村昭，松本忠夫ボ，宇藤滋(1979)：高力ルトのすべり係數につぃての實驗，日本土木學會關西支部概要集，pp.Ⅰ501 ~ 501
45．田島二郎，吉田定太郎 三塚寅雄，富澤光男(1969)：大きなボルト孔の摩擦係數のすべり 耐力，日本土木學會第24回年次學術講演會概要集

감사의 글

최선을 다하여 모든일에 열심히 하려는 마음 가짐을 갖고 대학원 진학했는데 벌써 1년 6개월의 시간이 지나 논문을 쓰고 졸업하는 제 자신을 보니 감회가 새롭습니다.

먼저 석사 생활 내내 부족한 점이 많은 저에게 관심과 배려를 보여주신 박정웅 교수님께 큰 감사를 드립니다. 또한 늘 새롭게 다짐하고 도전할 수 있는 자극과 가르침을 주셨던 부분들을 잊지 않고 앞으로의 사회생활에 큰 밑거름으로 사용되도록 하겠습니다. 그리고 적지 않은 나이에도 항상 끊임없이 학문연구에 몰두하는 모습은 평생 잊지 않고 가슴 속에 새겨 교수님을 본받도록 노력하겠습니다.

또한, 조선대학교 토목공학과를 발전을 위해 후진양성에 힘쓰신 교수님들께도 감사의 말씀을 드립니다. 바쁘신 와중에도 불구하고 여러 가지로 미흡한 논문을 보다 좋은 논문이 될수 있도록 조언과 격려를 아끼지 않으시고 심사 하여주신 오재화교수님, 안종필 교수님, 박길현 교수님, 김운중 교수님, 김성홍 교수님, 김대현현 교수님께도 머리 숙여 다시 한 번 감사의 말씀 드립니다. 항상 건강하시고 앞으로 하시는일 모든일 건승하시길 기원합니다.

그리고 같은 연구실에서 1년 동안 동고동락 하면서 정말 고생 많았던 승엽이도 옆에 함께 있어줘서 정말 고마웠고, 좋은 곳에 취업 하여서,강구조 연구실이 더욱 빛내 주기를 바랍니다. 실험을 할 때면 같이 참석하셔서 도움을 주시고 논문을 위해 마지막까지 검토 해주신 양승현 교수님, 지금 코오롱건설에 다니면서 한참 취업전선에서 열심히 일하고 있을 진호형, 조용한 성격에 말없이 옆에서 신경을 써주었던 진택이형, 준규형, 세원이형, 성격은 불같지만 효심만큼은 제일 따뜻한 정원이, 너무 조용해서 눈에 띄지 않지만 책임감은 강한 준현이, 언제나 나를 형님 하면서, 따르는 공학인증 조교 호철이, 학과실 일하느라 바쁜데 실험을 할 때면 내 일처럼 도와준 근로 장학생, 병연, 도형, 맹선이, 지금은 전자공업고등학교와 광주공업고등학교에서 선생님을 하고 있는 성수와 현우. 이런 듬직한 친구와 동생들이 있어서 내가 존재하고, 힘들 때에서 나의 버팀목이 되어 주어서 정말 감사하게 생각합니다. 그 이외에 많은 배려와 격려를 아껴준 지인들에게 항상 고마운 마음을 전달하고 싶다.

마지막으로 지금은 몸이 많이 않좋으셔서 걱정이지만 한결같은 마음으로 저를 뒷바라지 해주시고. 언제나 저를 믿어주신 부모님께 감사하고 항상 고맙게 생각하고, 앞으로 큰 효도로 보답하겠습니다.

이 논문이 나오기 까지 옆에서 도와주신 모든 분들께 다시 한 번 머리 숙여 감사의 말씀을 드리며, 이 논문을 토대로 더욱더 멋진 인생이 되도록 노력하겠으며, 겸손한 마음으로 주위 사람들을 배려하며, 부지런하고 후회 없는 삶을 살겠습니다.

감사합니다.

저작물 이용 허락서

학 과	토목공학과	학 번	20087485	과 정	석사
성 명	한글 : 장 석 인	한문 : 張 錫 仁		영문 : JANG, SEOK IN	
주 소	광주 광역시 북구 매곡동 200-5번지				
연락처	E-mail : jsi1054@naver.com				
논 문 제 목	(한글) 한글 과대볼트구멍을 가진 마찰이음부의 순수굽힘 강도 및 피로수명에 관한 연구				
	(영어) A Study on Pure bending intensity and fatigue life of Friction joint with Over Bolt Hole				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2010년 2월

저작자 : 장 석 인 (인)

조선대학교 총장 귀하