

과대공을 갖는 고장력 볼트 마찰이음부의 미끄러짐 거동

Slip Behavior of Friction Type High-Tension Bolted Joints with Oversize Hole

조 선 규¹⁾

Cho, Sun Kyu

요 약 : 강부재의 현장조립시 부재간의 불일치 등으로 인하여 볼트 구멍의 확장을 통해 볼트 삽입을 용이하게 할 필요가 발생한다. 그러나, 국내 시방기준에는 과대공에 대한 규정이 없고, 이에 대한 연구도 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 볼트 구멍의 크기, 표면처리 조건 및 볼트의 체결력을 변수로 하여 정적 인장시험을 실시하여 이들 인자가 이음부의 미끄러짐 거동에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 소정의 미끄러짐 하중을 확보하기 위해서는 표면을 슛블라스트 처리할 경우는 체결력이 충분히 확보되어야 하지만, 징크리치 프라이머의 경우는 체결력이 다소 떨어진다고 하더라도 소정의 미끄러짐 하중을 확보하는데 있어 용이함을 알 수 있었다. 한편, 슛블라스트 및 징크리치 프라이머 시험편 모두 직경 26mm의 과대공에서의 미끄러짐 계수의 차이는 표준공과 비교하여 거의 없는 것으로 판단된다.

ABSTRACT : In field fabrication of steel members, the oversize hole is frequently required due to reaming and mismatching. But, there are no provisions and investigations about oversize hole in the Korean specifications. So, in this study, the tension test of friction type high-tension bolted joints is performed with parameters of bolt hole size, surface treatment and tightening force, and investigate the effect of slip behavior with those parameters. From the results, the enough tightening force is needed to obtain some degree slip load in shot blast treatment case, although tightening force is reduced somewhat, it is no problem to guarantee slip load in zincrich primer case. The slip behavior of joints with oversize hole(26mm) is similar to the slip behavior of joints with hole of nominal size.

핵심용어 : 고장력 볼트, 마찰이음, 과대공, 미끄러짐 계수, 슛블라스트, 징크리치 프라이머, 축력

1) 정회원 : (주) 서영기술단 전무이사

본 논문에 대한 토의를 97년 12월 30일 학회로 보내주시면, 토의회답을 게재하겠습니다.

KEYWORDS : high-tension bolt, friction joint, oversize hole, slip coefficient, shot blast, zincrich primer, axial force

1. 서 론

강구조물의 대표적인 현상이음 방식인 고장력 볼트 마찰이음에 있어서 축력의 도입, 마찰면과 미끄러짐과의 관계, 과대공의 허용 치수 등은 강 교량의 제작, 가설 및 유지관리에 있어서 이음부의 거동에 중요한 영향을 미친다. 특히, 설계 및 시공에서는 이들 특성을 고려한 설계, 제작 및 가설이 요구되나, 아직 이들 인자와 마찰이음 거동 간의 관계는 충분히 규명되어 있지 않다.

고장력 볼트 마찰이음에서 이음부의 미끄러짐은 구조물의 거동에 있어 유해한 영향이 미치기 때문에 이를 허용하지 않고 있다. 마찰이음에서 미끄러짐은 파손을 유발하기 때문에 작용하중은 미끄러짐에 대하여 적당한 안전율을 갖는 이음부 간의 마찰에 의해 저항하여야만 한다.

과대공의 문제는 강부재의 현장조립시 부재간의 불일치, 구조물의 제작에 있어서 용접 등에 의한 변형량을 명확히 예측할 수 없는 경우, 경사가 심한 직교 격자형 사교를 가설할 때 지보공이 충분하지 않은 경우 등에 있어서 흔히 발생할 수 있는 문제로, 구멍의 확장을 통해 볼트 삽입을 용이하게 하여 조립 능력을 향상시키기 위해서는 이에 대한 연구는 중요하다고 생각된다.

외국의 시방기준에서는 과대공의 허용범위를 M22 볼트에 대해서 일본의 도로교 시방서⁽¹⁾는 26.5mm(표준공 24.5mm), 미국의 AASHTO⁽²⁾는 26.5mm(표준공 23.5mm), 영국의 BS⁽³⁾는 27mm(표준공 24mm), 유럽의 ECCS⁽⁴⁾는 26mm(표준공 24mm)로 규정하고 있다.

과대공을 갖는 고장력 볼트 마찰이음부의 미끄러짐 거동에 대한 기존의 연구결과를 살펴보면, 1959년 독일의 Hoyer⁽⁵⁾는 볼트 직경 보다 3.2mm까지 큰 구멍은 미끄러짐 하중에 영향을 미치지

않음을 지적했다. Fisher⁽⁶⁾ 등은 직경 22mm의 고장력 볼트 이음부의 미끄러짐 계수는 구멍 직경 28mm까지는 표준공과 비교하여 변화가 없고, 직경 30mm로 되면 미끄러짐 계수는 17% 감소한다고 보고하였다.

일본에서는 田島⁽⁷⁾ 등은 직경 22mm의 고장력 볼트를 이용해서, 표준공 23.5mm와 과대공 30mm 및 35mm를 갖는 시험편에 대한 비교 실험을 실시한 결과 미끄러짐 내력의 저하는 나타나지 않고, 평균치가 상승한 것도 있었다고 보고하였다. 또한, 西村⁽⁸⁾ 등은 M24 F11T의 고장력 볼트를 사용해서 25.5mm에서 37.5mm까지 1.5mm씩 구멍 직경을 증가시켜서 미끄러짐 계수를 비교한 결과 기준공에 대해서 과대공의 미끄러짐 계수의 저하율은 15% 정도이고, 구멍의 직경이 어느 정도 이상까지 커진다면 미끄러짐 계수가 오히려 상승하는 경향이 있다고 보고하고 있다. 田中⁽⁹⁾ 등은 M19 F11T 고장력 볼트를 이용하여 빈틈 1.5mm의 기준공과 빈틈이 3.0, 4.5, 6.0mm인 과대공 시험편을 이용해서 미끄러짐 계수를 구한 결과, 어떠한 경우에도 미끄러짐 계수의 큰 차이가 나타나지 않으며, 평균치는 빈틈이 커질수록 오히려 증가한다고 보고하고 있다.

그러나, 국내 도로교 시방서⁽¹⁰⁾에서는 볼트 구멍의 크기는 볼트 직경 보다 2.5mm를 초과하지 않도록 규정되어 있고, 과대공이나 긴 구멍의 사용에 대한 규정도 없는 실정이다. 또한, 고장력 볼트 이음에 관한 기존의 연구^(11,12)는 대부분이 표준공을 갖는 시험편에 대해 실시되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 과대공을 갖는 고장력 볼트 이음부의 역학적 거동을 살펴보기 위하여 구멍의 크기, 표면처리 조건 및 볼트의 체결력을 변수로 하여 정적 인장시험을 실시하여 이들 인자가 이음부의 미끄러짐 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시험편

시험편은 모재와 이음판 모두 SWS 490B의 강재를 사용하여 제작하였으며, 그 화학성분 및 역학적 성질은 다음 표 1과 같다. 한편, 시험편의 형상 및 치수는 그림 1과 같이 폭 80mm, 두께 10mm로 하여 양측면에 두께 10mm의 이음판을 붙여 M22(F10T) 고장력 볼트를 사용하여 체결하였다.

표 1. 강재의 화학성분 및 역학적 성질

강재 종류	화 학 성 분 (%)					기 계 적 성 질			
	C	Si	Mn	P	S	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	신장률 (%)
SWS 490B	0.16	0.38	1.23	0.012	0.009	368.3	529.2	205274.5	23.0

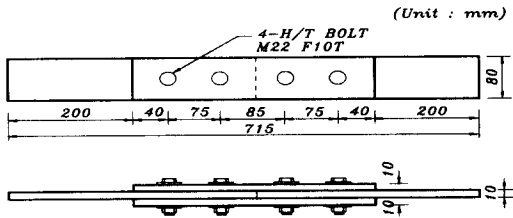


그림 1. 시험편의 형상 및 치수

볼트 구멍은 표준공의 경우 2mm의 여유를 두어 24mm로, 과대공의 경우 4mm의 여유를 두어 26mm로 하였다. 한편, 시험편의 표면처리는 소정의 표면 거칠기를 확보하기 위하여 슛블라스트면과 슛블라스트 후 무기징크리치 프라이머면 2종류로 하였다.

고장력 볼트는 토크 제어법에 의해 체결하였으며, 예비체결과 본체결로 나누어 예비체결에서는 도입축력의 60%를 도입하였다. 도입축력은 시방서⁽¹⁰⁾의 규정을 만족하는 범위내에서 21.5tonf과 체결력의 감소가 고장력 볼트 이음의 거동에 미치

는 영향을 검토하기 위하여 축력을 약 18% 감소시킨 17.7tonf으로 하였다.

각 시험편의 종류는 표 2와 같다.

2.2 시험방법

시험은 45tonf 용량의 유압식 시험기를 사용하여 정적 인장시험을 실시하였으며, 주미끄러짐이 발생한 후 지압상태에 이를 때까지 측정을 실시하였다. 한편, 그림 2와 같이 시험편에 부착한 두 개의 변위변환기로 부터 일정 하중간격 마다 모재와 이음판의 상대변위를 측정하였다.

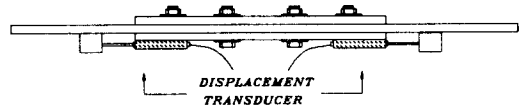


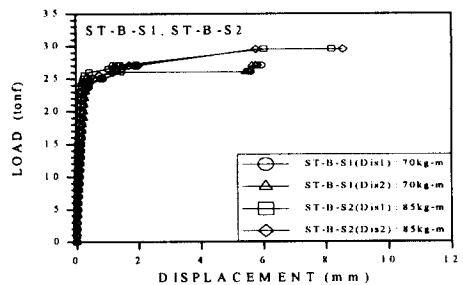
그림 2. 변위변환기 부착 위치

3. 시험결과 및 고찰

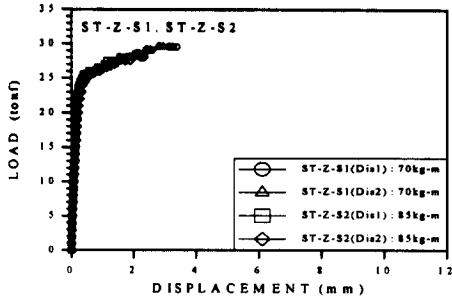
3.1 미끄러짐 거동

정적시험에서 얻어진 하중-변위 선도를 각 시험편에 대해 나타내면 그림 3과 같다.

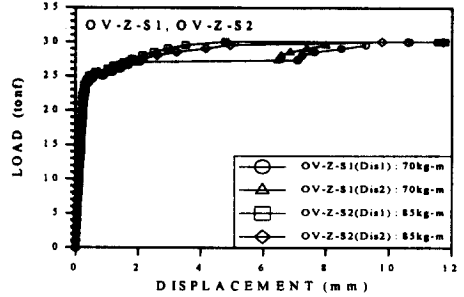
그림 3의 하중-변위선도를 살펴보면 대략 하중 22tonf까지는 변위가 선형으로 증가하였으며, 22tonf을 넘어가면서 1~2회 정도의 미소 미끄



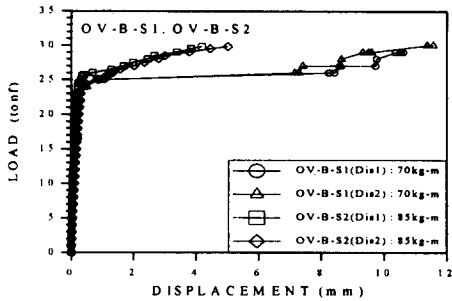
(a) 표준공(스프트블라스트)



(b) 표준공(징크리치 프라이머)



(d) 광대공(징크리치 프라이머)



(c) 광대공(숫블라스트)

그림 3. 하중-변위 선도

러짐이 발생한 후 주미끄러짐이 발생함을 알 수 있다. 주미끄러짐이 발생한 후에는 모재와 볼트축이 지압상태에 이르고, 모재의 항복에 의해 파단이 일어났다.

한편, 초기 미끄러짐 하중은 동일한 볼트 체결

력에 대하여 구멍 크기나 표면처리 조건에 관계없이 대략 24~25tonf 정도에서 나타나고 있다. 그러나, 숫블라스트 처리를 한 시험편에서는 체결력이 높을 수록 초기 미끄러짐 하중이 약간 증가하는 경향을 보이며, 주미끄러짐 하중은 상당히 큰 차이를 보인다. 이러한 경향은 숫블라스트 후 징크리치 프라이머 처리를 한 시험편에 대해서도 동일하지만, 체결력의 차이에 대한 주미끄러짐 하중의 차이는 숫블라스트 처리에 비하여 상대적으로 작으며, 미끄러짐이 2~3mm 정도 발생할 때까지는 체결력에 관계 없이 동일한 궤적을 보이고 있다. 따라서, 소정의 미끄러짐 하중을 확보하기 위하여 표면을 숫블라스트 처리할 경우는 체결력이 충분히 확보되어야 하지만, 징크리치 프라이머

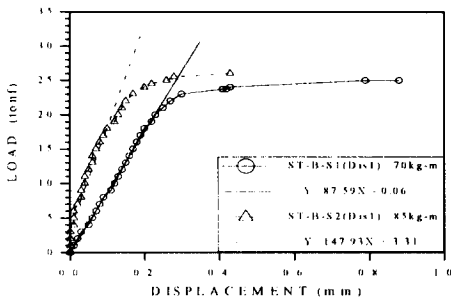
표 2 시험편의 종류

시험편 번호		체결토크 (kg-m)	도입속력 (tonf)	총단면적 (mm ²)	순단면적 (mm ²)	구멍직경 (mm)	표면처리
표준공	ST-B-S1	70	17.7	800	560	24.0	숫블라스트
	ST-B-S2	85	21.5	800	560	24.0	숫블라스트
	ST-Z-S1	70	17.7	800	560	24.0	징크리치 프라이머
	ST-Z-S2	85	21.5	800	560	24.0	징크리치 프라이머
광대공	OV-B-S1	70	17.7	800	540	26.0	숫블라스트
	OV-B-S2	85	21.5	800	540	26.0	숫블라스트
	OV-Z-S1	70	17.7	800	540	26.0	징크리치 프라이머
	OV-Z-S2	85	21.5	800	540	26.0	징크리치 프라이머

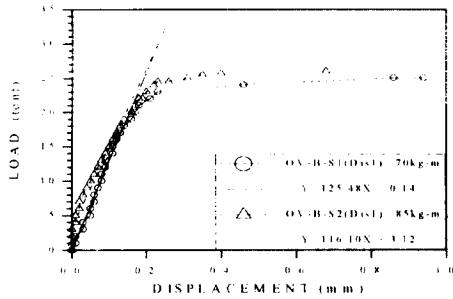
의 경우는 체결력이 다소 떨어진다 하더라도 소정의 미끄러짐 하중을 확보하는데 있어 용이하다고 할 수 있다.

3.2 도입축력과 미끄러짐의 관계

도입축력과 미끄러짐 계수의 관계를 살펴보기 위하여 하중-변위선도로 부터 대체로 변위의 증가가 선형인 구간인 20tonf까지 기울기에 대한 회귀분석을 실시하였으며, 그 일례는 그림 4와 같다.



(a) 표준공(샷블라스트)



(d) 광대공(샷블라스트)

그림 4. 하중 20tonf까지의 회귀분석

한편, 회귀분석 결과를 모든 시험편에 대해 정리하면 표 3과 같고, 기울기를 축력에 대해 비교하면 그림 5와 같다.

샷블라스트 처리를 한 시험편의 하중-변위선도를 나타낸 그림 4를 살펴보면 체결력이 85kgf·

표 3. 회귀분석 결과

시험편 번호	치결기	하중 20tonf까지의 기울기	
표준공	ST-B-S1	Dis1	87.59
		Dis2	80.49
	ST-B-S2	Dis1	125.26
		Dis2	147.93
	ST-Z-S1	Dis1	96.45
		Dis2	133.74
ST-Z-S2	Dis1	119.20	
	Dis2	92.04	
광대공	OV-B-S1	Dis1	125.48
		Dis2	87.81
	OV-B-S2	Dis1	116.10
		Dis2	85.24
	OV-Z-S1	Dis1	83.99
		Dis2	105.75
OV-Z-S2	Dis1	83.36	
	Dis2	109.39	

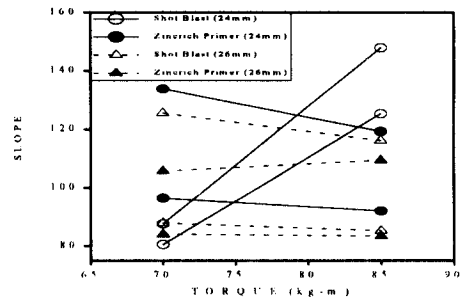


그림 5. 체결 토크와 기울기의 관계

mm인 경우에는 구멍 크기에 관계없이 3tonf 까지는 미끄러짐이 발생하지 않으나, 체결력이 70kgf·mm인 경우에는 하중의 증가에 따라 미끄러짐이 즉시 발생하고 있으며, 그 기울기는 85kgf·mm 보다 낮게 나타나고 있다.

한편, 표 3 및 그림 5를 살펴보면, 표준공 샷블라스트 시험편은 축력의 증가에 따라 하중-변위선도의 기울기가 증가함을 알 수 있으나, 나머지 시험편은 동일하거나 오히려 감소하는 경향도 나타났다. 그러나, 전반적으로 축력의 증가에 따라 기울기가 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 징크리치 프라이머 시험편 보다 샷블라스트 처리한 시험편에 있어서 그 경향이 뚜렷하게 나타

났다. 이로 부터, 징크리치 프라이머한 경우 미끄러짐 계수는 축력의 영향이 크지 않지만, 숏블라스트 처리한 경우는 축력이 증가할 수록 미끄러짐 계수가 증가하는 경향이 나타난다. 이는 숏블라스트는 표면이 징크리치 프라이머 보다 크고 거칠어 축력이 크게 도입되면 면 사이의 마찰면적이 증가하기 때문이고, 징크리치 프라이머는 입자가 작고 세밀하여 입자와 면 사이의 어느 정도의 한계 마찰력을 넘게 되면 축력과는 큰 상관없이 되는 이유인 것으로 판단된다.

3.3 미끄러짐 계수

하중-변위선도로 부터 미끄러짐 하중을 결정하고 이로 부터 미끄러짐 계수를 구한 결과는 표 4와 같다. 한편, 미끄러짐 계수를 볼트 구멍의 크기에 따라 비교하면 그림 6과 같다.

표 4. 미끄러짐 하중 및 미끄러짐 계수

시험편 번호	체결토크 (kg-m)	도입축력 (tonf)	미끄러짐 하중 (tonf)	미끄러짐 계수	
표준공	ST-B-S1	70	17.7	24.0	0.339
	ST-B-S2	85	21.5	25.0	0.291
	ST-Z-S1	70	17.7	25.5	0.346
	ST-Z-S2	85	21.5	25.0	0.291
과대공	OV-B-S1	70	17.7	24.0	0.339
	OV-B-S2	85	21.5	24.5	0.285
	OV-Z-S1	70	17.7	24.0	0.339
	OV-Z-S2	85	21.5	24.0	0.279

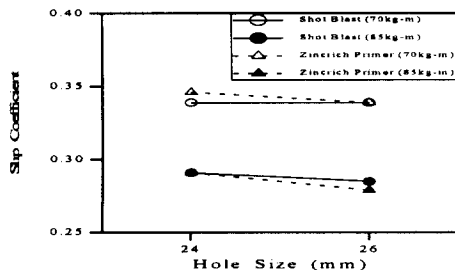


그림 6. 구멍 크기에 따른 미끄러짐 계수

표 4를 살펴보면, 체결 토크가 약 18% 정도 감소하여도 초기 미끄러짐 하중은 최대 약 4% 정도의 저하에 지나지 않아 숏블라스트나 징크리치 프라이머와 같이 소정의 표면 거칠기가 확보된다면 어느 정도 축력이 감소하여도 미끄러짐 하중에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 또한, 체결력이 증가하여도 미끄러짐 계수가 오히려 작아지는 것은 체결 토크의 증가에 대한 미끄러짐 하중의 변화가 상대적으로 작기 때문인 것이며, 숏블라스트와 징크리치 프라이머와 같은 이음부의 표면처리가 미끄러짐 하중의 크기를 좌우함을 확인할 수 있다.

한편, 구멍 크기에 따른 미끄러짐 계수의 영향을 비교한 그림 6을 살펴 보면, 숏블라스트 및 징크리치 프라이머 시험편 모두 구멍 크기의 증가에 따라 미끄러짐 계수가 동일하거나 다소 감소하는 경향이 나타나며, 숏블라스트 보다는 징크리치 프라이머 시험편에서 감소 경향이 다소 큼을 알 수 있다. 그러나 감소량은 약 4% 정도로 그 정도가 매우 미약하여 직경 26mm의 과대공에서의 미끄러짐 계수의 차이는 표준공과 비교하여 거의 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

고장력 볼트 이음부의 볼트 구멍의 크기, 표면 처리 조건 및 고장력 볼트의 체결 축력을 변화시켜 미끄러짐 시험을 실시한 결과 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전반적으로 축력의 증가에 따라 미끄러짐 하중이 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 징크리치 프라이머 시험편 보다 숏블라스트 시험편에 있어서 그 경향이 뚜렷하게 나타났다.
- (2) 소정의 미끄러짐 하중을 확보하기 위해서는 표면을 숏블라스트 처리할 경우는 체결력이 충분히 확보되어야 하지만, 징크리치 프라이머의 경우는 체결력이 다소 떨어진다 하더라도

도 소정의 미끄러짐 하중을 확보하는데 있어 용이함을 알 수 있었다.

- (3) 슛블라스트 및 징크리치 프라이머 시험편 모두 구멍 크기의 증가에 따라 미끄러짐 계수가 동일하거나 다소 감소하는 경향이 나타나나 감소량은 최대 약 4% 정도로 그 정도가 매우 미약하여 직경 26mm의 과대공에서의 미끄러짐 계수의 차이는 표준공과 비교하여 거의 없는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 社團法人 日本道路協會, 1994, 道路橋示方書・同解説, pp.174-193
- (2) American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986, Standard Specification for Highway Bridges, pp.109-113
- (3) British Standards Institution, 1982, Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 3. Code of Practice for Design of Steel Bridges
- (4) ECCS, 1985, European Recommendations for Bolted Connections in Structural Steelwork [5] HOYER, W, 1960, On Slide-Proof Bolted Connections, High-Strength Bolts with Different Hole Clearance, 3rd Report, Wissenschaftliche Zeitschrift Der Hochschule Fur Bauwesen Cottbus, 3, pp.49-53
- (5) HOYER, W, 1960, On Slide-Proof Bolted Connections, High-Strength Bolts with Different Hole Clearance, 3rd Report, Wissenschaftliche Zeitschrift Der Hochschule Fur Bauwesen Cottbus, 3, pp.49-53
- (6) ALLAN, R. N. and FISHER, J. W., 1968, Bolted joints with oversize or slotted holes, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 94, No. ST9, pp.2061-2079
- (7) 田島二郎, 吉田定太郎, 三塚寅雄, 1969, 大きなボルト孔の摩擦継手のすべり耐力, 日本土木學會第24回年次學術講演會概要集
- (8) 西村昭, 松本忠夫, 宇藤滋, 1979, 高力ボルトのすべり係數についての一實驗, 日本土木學會關西支部概要集, pp.I-501~502
- (9) 田中淳夫, 小久保勳, 1974, 高力ボルト摩擦接合に關する研究(過大穴と目違いの問題について), 日本建築學會學術講演會概要集
- (10) 건설부, 1992, 도로교 표준시방서, pp. 229-241
- (11) 최일윤, 이승용, 경갑수, 장동일, 1996, 축력 및 표면조도를 감소시킨 고장력 볼트 이음부의 정적 및 피로거동, 대한토목학회논문집, 제16권 제 I-5호, pp.607-619
- (12) 김성훈, 이승용, 최준혁, 장동일, 1997, 고장력 볼트 이음부의 내부 압축응력 분포, 한국강구조학회논문집, 제9권 제2호, pp.171-179

(접수일자 : 1997. 9. 1)