

고력볼트의 길이-직경비 및 여유나사길이에 따른 조임력 평가 연구

Evaluation of Clamping Forces according to Length-to-diameter Ratios and Preserved Thread Lengths of High Strength Bolts

김 상 섭¹⁾ · 김 성 용²⁾ · 김 규 석³⁾

Kim, Sang Seup Kim, Sung Yong Kim, Kyu Suk

요 약 : 마찰접합에 있어서 작용외력은 고력볼트로 체결된 접합부재간의 마찰면에 작용하는 마찰력에 의해 전달된다. 이 마찰력은 마찰면의 미끄럼계수와 고력볼트 조임력의 곱에 비례한다. 그러나 너트회전법에 의한 조임시 고력볼트 조임력은 많은 인자에 의해 영향을 받는다. 여유나사길이와 길이-직경비는 고력볼트 조임력을 지배하는 중요한 인자 중에 하나이다. 따라서 본 논문은 여유나사길이와 길이-직경비에 따른 고력볼트 세트(F10T M16, M20, M22, M24)의 기계적 특성에 관한 실험을 통하여 고력볼트의 정확한 체결 방법을 제공하고자 한다.

ABSTRACT : In the friction-type joints the external applied load is transmitted by frictional force acting on the contact area of the plates fastened by the high strength bolts. This frictional force is proportional to the product of the bolt clamping force and slip coefficient of the faying surface. But the bolt clamping force is dependent on many factors when the turn-of-nut method is used. The preserved thread length and length-to-diameter ratios are one of the major factors governing the bolt clamping force. This paper presents the correct method of high strength bolt tightening through the experiment on the mechanical properties on sets of high strength bolts in accordance with preserved thread length and length-to-diameter ratios.

핵 심 용 어 : 고력볼트, 너트회전각, 길이-직경비, 여유나사길이, 도입축력

KEYWORDS: High Strength Bolt, Nut Rotation Angle, Length-to-diameter Ratios, Preserved Thread Length, Axial Tension

1) 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
2) 동국대학교 대학원 박사과정
3) 정희원, 동국대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

고력볼트의 마찰접합은 고강도 볼트를 사용하여 큰 축력을 도입함으로써 그 결과 생기는 접합재간의 마찰저항에 의해 볼트축에 직각방향의 응력을 전달하는 접합형식이다. 이러한 마찰접합에서 전달할 수 있는 마찰력의 크기는 다음 식으로 표현되어진다.

$$R = n\mu C \quad (1)$$

여기서,

n : 마찰면의 수

μ : 미끄럼계수

C : 부재간 압축력

식 (1)에서 알 수 있듯이 고력볼트 마찰접합에서 마찰력의 크기는 마찰면의 미끄럼계수와 고력볼트 조임에 의한 접합재간의 압축력에 비례한다. 따라서 접합부의 설계내력을 확보하기 위해서는 반드시 미끄럼계수와 조임시 표준볼트장력의 확보가 보장되어야 한다. 특히 현장접합시 고력볼트 축력도입방법에 관해서는 엄격한 품질관리가 요구된다.¹⁾

고력볼트의 일반적인 축력도입방법으로는 토크관리법(Torque Control Method)과 너트회전법(Turn of the Nut Method)이 있다. 토크관리법은 고력볼트의 조임을 체결토크에 의해 제어하는 방법으로 고력볼트의 조임을 정확하게 실시하기 위해서는 토크계수값의 편차를 적게 하여야 한다. 또한 고력볼트의 너트와 와서에는 표면윤활처리가 되어 있어 온도에 따라 토크계수값이 변동하므로 시공에 주의할 필요가 있다. 반면, 미국에서 일반화되고 있는 너트회전법은 토크관리법이 가지고 있는 시공관리의 복잡함을 간단히 할 목적으로 검토된 방법으로서 나사의 원리에 근거하여 너트를 소요량 회전시켜 고력볼트를 체결하는 방법이다. 따라서 너트회전법은 너트회전각과

도입축력의 관계가 매우 중요하다.

일반적으로 너트회전법에 의한 조임시 도입축력과 너트회전각의 관계는 고력볼트 세트의 기계적 성질, 고력볼트의 여유나사길이(S_1) 및 머리밀길이(l , 이하 볼트길이), 토크계수값(k) 등의 인자에 영향을 받는다.^{1),2)} 그러나 현재 1차 조임이후를 기점으로 해서 일률적으로 너트회전각을 120° 로 정하고 있다.³⁾

본 연구는 고력볼트의 여유나사길이(S_1)와 볼트길이-직경비(l/d)를 변수로 한 실험을 통하여 도입축력과 너트회전각의 관계를 검토하고, 고력볼트 접합부의 품질확보를 위해 필요한 기초적인 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험계획 및 방법

KS B 1010⁴⁾에 따라 국내에서 생산되고 있는 고력볼트 길이는 직경별로 여러 종류(5mm간격)가 있으나, 나사부 길이는 일정하다. 따라서 피접합재의 체결두께에 따라 고력볼트의 여유나사길이(S_1)는 변화하게 된다. 또한 고력볼트 길이가 고력볼트 축직경의 5배 이상인 경우에는 120° 보다 더 큰 회전량이 필요하기 때문에 실험 등의 방법을 통하여 적정 한 회전량을 결정하도록 하고 있다.³⁾

본 연구는 여유나사길이(S_1)와 볼트길이-직경비(l/d)를 변수로 하여 각 직경별 도입축력과 너트회전각의 관계를 규명하기 위하여 표 1과 같이 실험체를 계획하였다. 실험체는 F10T A종 고력볼트를 대상으로 각 직경별로 가장 많이 사용되고 있는 볼트길이-직경비(l/d) 4배를 기준으로 하여 3배~6배까지 변화시켰다. 그리고 각 직경별로 볼트길이-직경비(l/d)는 4배이고, 여유길이(S_2)가 3산인 경우를 기준으로 접합부재 조절용 지그(그림 3 참조)를 이용하여 5mm를 더한 경우와 5mm를 뺀 경우로 분류하여 총 24조 72개로 구성되어 있다.

그림 1은 실험체 각부의 명칭을 나타낸 것이

표 1. 실험체 계획

볼트 호칭 (F10T A종)		l/d = 3		l/d = 4		l/d = 5		l/d = 6		실험체 개수
		l (mm)	S _l (mm)	l (mm)	S _l (mm)	l (mm)	S _l (mm)	l (mm)	S _l (mm)	
M 16	l ₋₅			65	2.66					1조(3개)
	l ₀	50	7.03	65	7.24	80	4.10*	95	6.14	4조(12개)
	l ₊₅			65	11.94					1조(3개)
M 20	l ₋₅			80	1.60					1조(3개)
	l ₀	60	3.76*	80	6.80	100	3.82*	120	3.65*	4조(12개)
	l ₊₅			80	10.15					1조(3개)
M 22	l ₋₅			90	6.57					1조(3개)
	l ₀	65	10.95	90	11.40	110	9.47	130	8.80	4조(12개)
	l ₊₅			90	16.25					1조(3개)
M 24	l ₋₅			95	5.97					1조(3개)
	l ₀	70	9.72	95	10.35	120	6.19*	145	6.65*	4조(12개)
	l ₊₅			95	15.97					1조(3개)

주) l₀ : 여유길이 3산을 기준으로 실측하여 계산한 여유나사길이(평균치)
 l₋₅ : 여유길이 3산 - 5.0mm(조절용 지그)로 실측하여 계산한 여유나사길이(평균치)
 l₊₅ : 여유길이 3산 + 5.0mm(조절용 지그)로 실측하여 계산한 여유나사길이(평균치)
 S_l : 여유나사길이 = (볼트 나사부 길이) - (H_n + S₂)
 S₂ : 여유길이 (너트 바깥쪽의 나사길이, 실험시 실측에 의함)
 l : KS B 1010에 제시된 고력볼트의 머리밀 길이(볼트길이)
 * : 접합부재 조절용지그의 한정된 치수로 인하여 여유길이 3산을 만족시키지 못한 경우

다. 여기서 여유나사길이(S_l)는 손 조임이 완료된 시점에서 여유길이(S₂)를 측정하고, 이를 너트 두께(H_n)와 접합부재 조절용지그 두께를 고려하여 실측 계산한 값이다.

고력볼트의 기계적 성질을 파악하기 위하여 시험편 인장시험(KS B 0801 : 4호 시험편)과 제

품인장시험(KS B 1010)을 실시하였다.^{4),5)} 실험체의 종류 및 개수는 각각 직경별로 1조(3개)씩 총 24개로 구성되어 있다. 또한 고력볼트의 토크계수값을 측정하기 위하여 조임력 실험용 고력볼트와 동일한 로트(lot)에서 각 호칭별로 1조(3개)씩 총 12개의 실험체에 대하여 상온에서 토크계수값 시험을 실시하였다.

조임력 실험은 너트회전량, 도입축력 그리고 변형량을 측정할 수 있는 볼트축력 시험기(그림 2 참조)를 이용하였으며, 접합두께의 조절은 볼트축력 시험기에 부착된 로드셀(load-cell)에 접합부재 조절용지그(그림 3 참조)를 사용하여 조절하였다.

하중재하시 상한값은 시험기의 파손 및 위험성 등을 고려하여 1차 조임으로부터 너트를 360° ~ 450° 까지 회전하였다.

그림 1. 실험체 각부 명칭

표 2. 기계적 성질 및 토크계수값 실험결과

구분	시험편 인장 시험				제품 인장강도 (kgf/mm ²)	토크계수값
	항복강도(kgf/mm ²)	인장강도(kgf/mm ²)	연신율(%)	단면수축율(%)		
평균치	103.67	108.96	20.11	65.80	110.18	0.137
표준편차	3.318	1.992	1.405	1.473	2.407	0.0038
변동계수	0.0320	0.0183	0.0699	0.0224	0.0218	0.0280

그림 2. 볼트축력 시험기

은 KS B 1010에서 제시하고 있는 항복강도(90 kgf/mm² 이상), 인장강도(100~120kgf/mm²), 연신율(14% 이상) 및 단면수축율(40% 이상) 규정에 적합하였다. 또한 제품의 기계적 성질도 각 직경별 최소인장하중을 만족하고 있는 것으로 나타났으며, 10±0.5° 췌기에 의하여 고력볼트 머리가 파손된 것은 없는 것으로 관찰되었다.⁴⁾

고력볼트 세트로서 품질특성은 토크계수값으로 표현하고 있다. KS B 1010에서는 제조로트의 토크계수값의 평균치(A종 : 0.110~0.150)와 표준편차(0.010 이하)를 규정하고 있으며, 본 실험에서 구한 토크계수값은 규정치를 만족하는 것으로 나타났다.⁴⁾

그림 4는 각 직경별 제품 인장강도와 시험편 인장강도를 나타내었다. 이 중에서 시험편 인장강도는 M16이 가장 높게 나타났으며, 고력볼트 직경이 증가할수록 시험편 인장강도는 낮게 나타났다. 이는 참고문헌 (6)에서와 같이 고력볼트 직경이 클수록 열처리가 축부 내부까지 충분히 되지 않으므로, 고력볼트 직경이 클수록 시험편 인장강도는 저하되는 것으로 판단된다.⁶⁾

그림 3. 접합부재 조질용지그

3. 실험결과

3.1 고력볼트의 기계적성질 및 토크계수값 실험결과

표 2는 인장 시험과 토크계수값 실험결과를 통계 처리하여 나타낸 것이다. 여기서 시험편의 항복강도는 고강도강이므로 항복점의 판정이 불가능하였기 때문에 용력-변형도 곡선에서 0.2% 오프셋방법(offset method)으로 구하였다.

고력볼트로부터 채취한 시험편의 기계적 성질

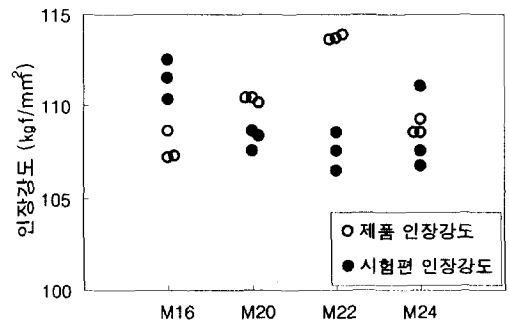
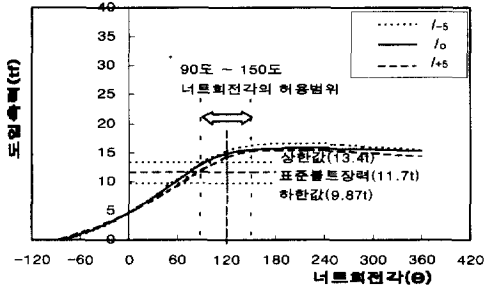
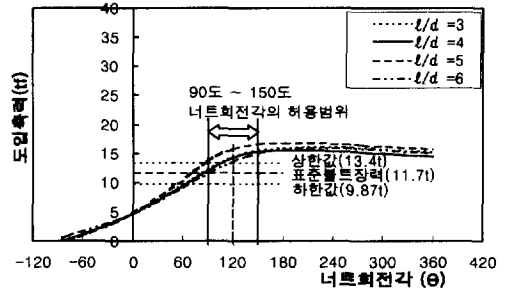


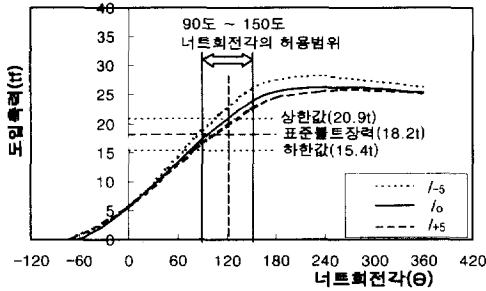
그림 4. 각 직경별 제품 인장강도 및 시험편 인장강도



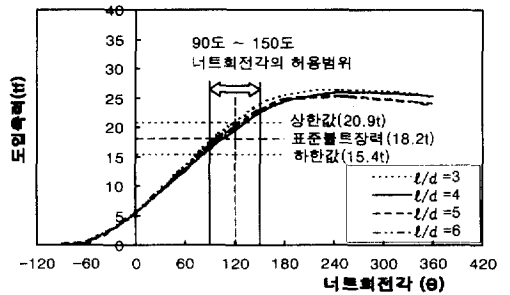
(a) M16볼트



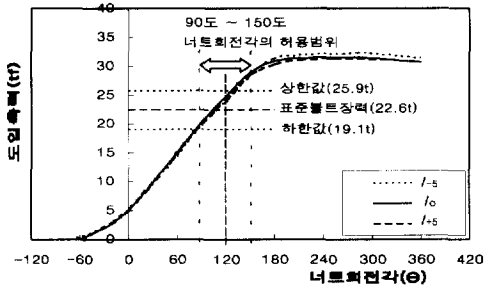
(a) M16볼트



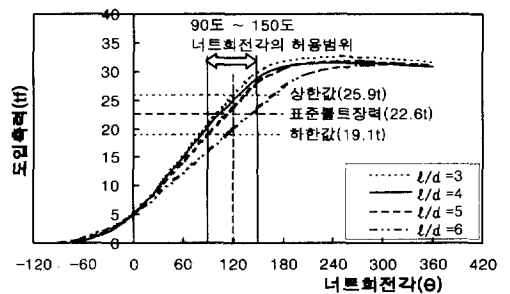
(b) M20볼트



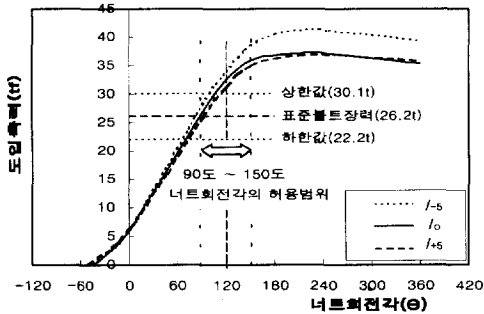
(b) M20볼트



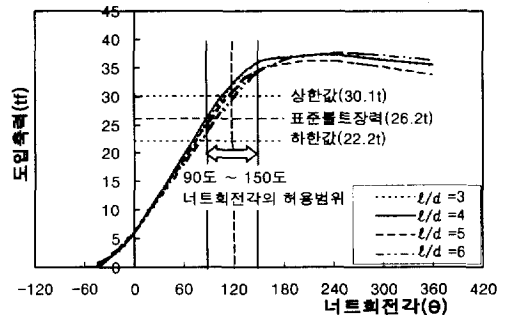
(c) M22볼트



(c) M22볼트



(d) M24볼트



(d) M24볼트

그림 5. 여유나사길이에 따른 도입속력-너트회전각

그림 6. 볼트길이-직경비에 따른 도입속력-너트회전각

표 3. 고력볼트 조임력 실험 결과

볼트지름 (d)	l/d 비	S_l (mm)	너트회전각에 의한 볼트 도입속력			최대도입속력 N_{max} (tf)	너트회전각에 의한 도입속력과 토크관리법에 의한 볼트 도입속력 비교		
			N_{90} (tf)	N_{120} (tf)	N_{150} (tf)		N_{120}/N_0'	하한값비교	상한값비교
M 16	3	7.03	12.27	14.40	15.63	16.15	1.231	1.243	1.166
	4	2.66	13.23	15.32	16.25	16.65	1.309	1.340	1.213
	4	7.24	13.10	14.75	15.40	15.72	1.261	1.327	1.149
	4	11.94	12.10	14.28	15.32	15.51	1.221	1.226	1.143
	5	4.10*	13.50	15.72	16.57	16.91	1.344	1.368	1.237
	6	6.14	11.42	13.49	15.17	16.04	1.153	1.157	1.132
M 20	3	3.76*	17.57	20.77	24.00	26.51	1.141	1.141	1.148
	4	1.60	18.77	22.73	26.12	28.26	1.249	1.219	1.250
	4	6.80	17.27	20.78	23.87	26.27	1.142	1.121	1.142
	4	10.15	16.47	19.57	22.57	25.93	1.075	1.069	1.080
	5	3.82*	16.88	20.13	23.07	25.45	1.106	1.096	1.104
	6	3.65*	16.45	19.60	22.53	25.25	1.077	1.068	1.078
M 22	3	10.95	21.00	25.73	29.90	32.61	1.138	1.099	1.154
	4	6.57	19.90	24.70	28.75	32.42	1.093	1.042	1.110
	4	11.40	20.40	24.87	28.97	31.60	1.100	1.068	1.119
	4	16.25	19.93	24.00	28.40	31.43	1.062	1.043	1.097
	5	9.47	19.00	23.60	28.00	31.82	1.044	0.995	1.081
	6	8.80	16.17	19.87	23.63	31.35	0.879	0.847	0.912
M 24	3	9.72	26.30	32.27	36.00	37.35	1.232	1.185	1.196
	4	5.97	28.23	33.97	38.57	41.35	1.297	1.272	1.281
	4	10.35	26.85	32.50	35.97	37.26	1.240	1.209	1.195
	4	15.97	25.67	31.33	35.08	37.02	1.196	1.156	1.165
	5	6.19*	25.63	31.00	34.63	36.22	1.183	1.155	1.150
	6	6.65*	24.38	29.73	34.27	37.59	1.135	1.098	1.139

주) N_{90} , N_{120} , N_{150} 에서 아래첨자는 1차 조임이후 너트회전각을 의미하고, N 은 도입속력을 의미한다.

하한값비교는 너트회전각이 90° 일때의 도입속력과 토크관리법에 의한 도입속력의 하한값과의 비

상한값비교는 너트회전각이 150° 일때의 도입속력과 토크관리법에 의한 도입속력의 상한값과의 비를 의미한다.

* : 여유길이 3산을 만족시키지 못하여 여유나사길이의 영향을 받는 경우

3.2 고력볼트 조임력 실험결과

고력볼트 접합부 설계시 내력은 설계볼트장력 (N_0)으로 설계한다. 그러나 시공시에는 고력볼트의 이완작용(Relaxation)과 시공오차 등을 고려하여 설계볼트장력에 10%를 할증한 표준볼트장력(N_0')을 목표로 조임을 실시하여야 한다.

그림 5와 그림 6은 조임력 실험에 의한 도입속력과 너트회전각의 관계를 고력볼트의 직경별로 나타낸 것이다. 또한 각 직경별 표준볼트장력(N_0')과 토크관리법에 의한 도입속력의 상한값과 하한값을 나타내었다.

1차 조임이후 너트회전각이 120° 일 때, M22 $l/d = 6$ 인 경우를 제외하고 도입속력(N_{120})은

표준볼트장력(N_0') 이상으로 도입되었다. 그리고 여유나사길이(S_l)의 변화에 따른 도입속력($\theta = 120 \pm 30^\circ$)은 여유나사길이가 증가할수록 작게 나타났다. 볼트길이-직경비(l/d)의 변화에 따른 도입속력($\theta = 120 \pm 30^\circ$)은 l/d 비가 증가할수록 작게 도입되고 있음을 알 수 있었다.

표 3은 너트회전각에 의한 도입속력과 토크관리법에 의한 도입속력을 비교한 것이다. 여기서 너트회전각(120°)에 의한 도입속력은 각 조별 평균값으로 나타내었다.

너트회전법에 의한 고력볼트 조임시 1차 조임 후에 너트회전각이 120°의 범위에 있는 것을 합격으로 하고 있으며, 토크관리법에 의한 고력볼트 조임시 토크계수값을 고려하여 도입속력

은 그림 5와 그림 6에 나타난 것과 같이 상한값과 하한값 사이에 있어야 한다.

표 3의 실험결과에 의하면 M22의 경우 너트회전각에 의한 도입축력과 토크관리법에 의한 도입축력은 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나, 고력볼트 직경(d)이 증가함에 따라 너트회전각에 의한 도입축력은 토크관리법에 의한 도입축력보다 작아지는 경향으로 나타났다. 반면에, M24의 경우 너트회전각에 의한 도입축력은 다시 증가하는 경향으로 나타났다.

이러한 이유는 M24의 경우 피치가 M20 및 M22보다 길어지므로 너트회전각에 따른 볼트 단면적당 도입축력은 증가하는 것으로 판단된다.

건축공사표준시방서에서 제시하고 있는 너트회전각이 120° 일 때의 도입축력(N_{120})과 표준볼트장력을 비교하면, M22는 1차 조임이후 120° 의 너트회전각으로 고력볼트 조임시 표준볼트장력보다 약 4% 높게 나타났다. 그러나 고력볼트 직경(d)이 작을수록(M16, M20) 도입축력(N_{120})은 표준볼트장력보다 약 1.2배 높게 나타났다.

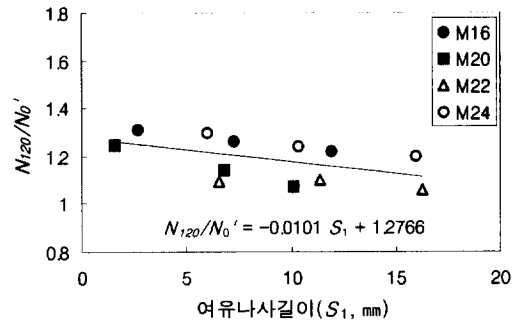
또한 접합부재 조절용지그의 한정된 치수로 인하여 여유길이(S_2) 3산을 만족시키지 못한 경우, 여유나사길이(S_1)가 짧게 되어 도입축력은 약간 상승한 것으로 나타났다.

4. 실험 결과 비교 및 분석

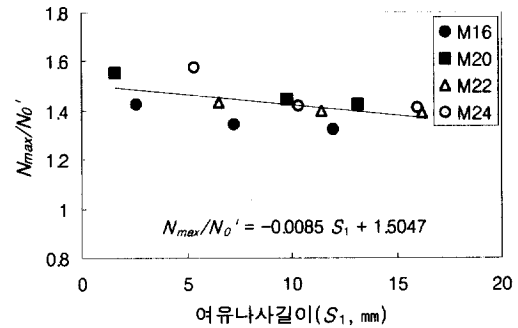
4.1. 여유나사길이(S_1)에 따른 도입축력과 너트회전각

그림 7의 (a)는 표 3을 이용하여 건축공사표준시방서에서 정하고 있는 너트회전각 120° 의 도입축력(N_{120})과 표준볼트장력(N_0)의 비(이하 축력비)를 나타낸 것이고, (b)는 최대도입축력(N_{max})과 표준볼트장력(N_0)의 비를 나타낸 것이다. 여기서 각 직경별 l/d 비는 4이다.

여유나사길이(S_1)가 증가할수록 초기강성이 감소하여, 1차 조임이후 허용 너트회전각 범위



(a) $N_{120}/N_0'-S_1$ 관계



(b) $N_{max}/N_0'-S_1$ 관계

그림 7. 고력볼트의 여유나사길이에 따른 축력비

($120 \pm 30^\circ$)에 따른 도입축력(N_θ)은 낮게 도입되었으며, 최대도입축력(N_{max})도 감소하였다. 또한 허용 너트회전각 범위($120 \pm 30^\circ$)에 따른 도입축력의 감소율은 거의 비슷한 비율(8.7~10.1%)로 감소하는 것으로 나타났다.

그림 7의 (a)에서와 같이 여유나사길이가 10 mm 증가하면 축력비(N_{120}/N_0')는 10.1% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 표 3의 조임력 실험 결과를 이용하여 각 직경별로 여유나사길이가 10 mm 증가할 때의 축력비(N_{120}/N_0') 감소율은 3.2~20.4% 정도로 나타났다. 이는 여유나사길이가 작을수록 나사부의 변형이 제한되어 축력비(N_{120}/N_0')는 높게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 고력볼트 직경이 증가함에 따라 축력비(N_{120}/N_0')의 편차는 증가하는 경향으로 나타났다.

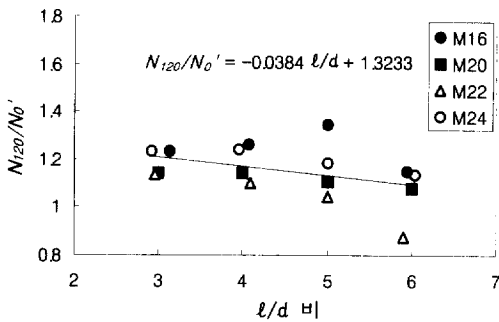
그림 7의 (b)에서 최대도입축력과 표준볼트장력의 비(N_{max}/N_0')는 여유나사길이가 10mm 증가

할 때 8.5% 정도 낮게 나타났으며, 각 직경별로 산정한 결과는 4.5~15.8% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

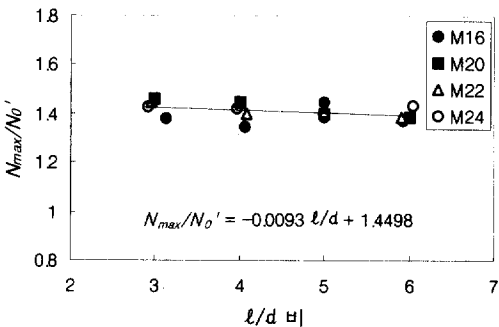
따라서 여유나사길이의 변화는 최대도입축력 및 허용 너트회전각 범위($120 \pm 30^\circ$)의 도입축력에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 조임력 실험결과 전반적으로 여유나사길이가 작을수록 고력볼트 도입축력은 높게 도입됨을 알 수 있었다.

4.2 볼트길이-직경비(l/d)에 따른 도입축력과 너트회전각

그림 8에서 (a)는 볼트길이-직경비(l/d)에 따른 축력비(N_{120}/N_0')를 (b)는 최대도입축력과 표준볼트장력의 비(N_{max}/N_0')를 나타낸 것이다. 여기서 여유길이(S_2)는 건축공사표준시방서에서 정



(a) N_{120}/N_0' - l/d 관계



(b) N_{max}/N_0' - l/d 관계

그림 8. 볼트길이-직경비에 따른 축력비

하는 3산을 기준으로 하여 체결하였다.

l/d 비가 증가할수록 1차 조임이후 허용너트회전각 범위($120 \pm 30^\circ$)의 도입축력(N_θ)은 낮게 나타났으며, 최대도입축력(N_{max})도 l/d 비가 증가할수록 감소하였다. 또한 허용너트회전각 범위에서의 도입축력 감소율은 거의 비슷한(3.31~3.84%) 것으로 나타났다. 이런 결과는 여유나사길이가 증가할 때 나타난 결과와 일치한다.

그림 8의 (a) 및 (b)에서 볼트길이-직경비(l/d)가 1배 증가할 때 축력비(N_{120}/N_0')는 3.84% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, N_{max}/N_0' 비는 0.93% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 각 직경별로 l/d 비가 1배 증가할 때 축력비는 1.61~8.37% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, N_{max}/N_0' 비는 0.79~2.55% 정도 감소하였다.

본 실험결과, 건축공사표준시방서에서 실용적 측면을 고려해 볼트길이-지름비가 5이하인 경우 일률적으로 너트회전각을 120° 로 정하고 있으나 많은 연구를 통하여 너트회전법에 의해 고력볼트 체결시 여유나사길이, 볼트길이-지름비, 토크계수치 등을 고려한 너트회전각의 허용범위 및 체결방법이 제시되어야 할 것으로 생각된다.

4.3. 표준볼트장력과 너트회전각

표 4와 표 5는 여유나사길이(S_1)와 볼트길이-직경비(l/d)에 따라 표준볼트장력(N_0')을 도입하는데 필요한 너트회전각을 의미한다. 그림 9는 표 4의 값을 보다 정량적으로 분석하고자 여유나사길이(S_1)에 따른 너트회전각의 관계를 그림으로 나타낸 것이다.

건축공사표준시방서에서 제시하고 있는 여유길이(S_2)가 3산인 경우, 표준볼트장력(N_0')을 도입하기 위하여 필요한 너트회전각은 직경별로 $75^\circ \sim 105^\circ$ (M16~M24)로 나타났다. 또한 표준볼트장력을 도입하기 위해 KASS 8에서 정하고 있는 너트회전각 120° (150°)을 기준으로 할 경우, 허용한계 여유나사길이는 28.13mm(48.13mm)로

표 4. 표준볼트장력에 따른 소요 너트회전각 (S_1 에 대하여)

직경	N_o' (tf)	l_5		l_o		l_{+5}	
		$\theta_{표준}$	S_1 (mm)	$\theta_{표준}$	S_1 (mm)	$\theta_{표준}$	S_1 (mm)
M16	11.7	75	2.66	75	7.24	85	11.94
M20	18.2	85	1.60	97	6.80	105	10.15
M22	22.6	106	6.57	105	11.40	109	16.25
M24	26.2	82	5.97	86	10.35	92	15.97

표 5. 표준볼트장력에 따른 소요 너트회전각 (l/d 에 대하여)

직경	N_o' (tf)	$l/d = 3$		$l/d = 4$		$l/d = 5$		$l/d = 6$	
		$\theta_{표준}$	l/d 비	$\theta_{표준}$	l/d 비	$\theta_{표준}$	l/d 비	$\theta_{표준}$	l/d 비
M16	11.7	84	3.13	86	4.06	72	5.00	96	5.94
M20	18.2	99	3.00	107	4.00	105	5.00	108	6.00
M22	22.6	100	2.96	104	4.09	112	5.00	143	5.91
M24	26.2	91	2.92	90	3.96	95	5.00	102	6.04

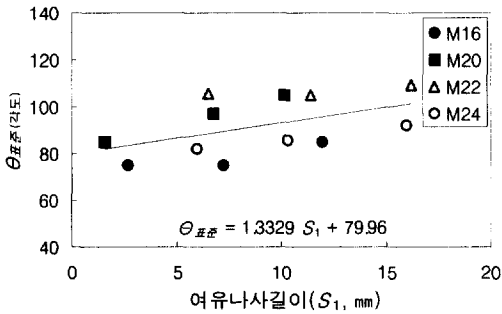


그림 9. 표준볼트장력 도입시 적정 회전각(S_1 에 대하여)

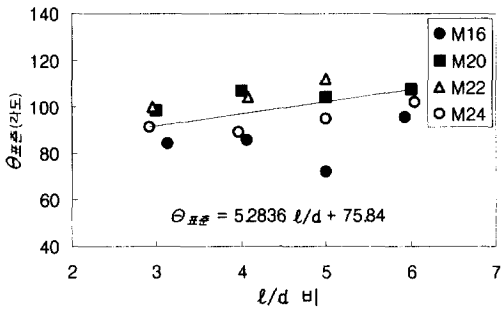


그림 10. 표준볼트장력 도입시 적정 회전각(l/d 비에 대하여)

평가되었다.

그림 10은 표 5의 볼트길이-직경비(l/d)에 따라 표준볼트장력(N_o')을 도입하는데 필요한 소요

너트회전각을 평가한 결과를 나타낸 것이다.

볼트길이-지름비(l/d)에 따라 표준볼트장력을 도입하기 위하여 필요한 소요 너트회전각은 볼트 길이-지름비(l/d)가 3인 경우 91.69° , 6인 경우 107.54° 이다. 따라서 너트회전법에 의한 고력 볼트 조임시, 허용너트회전각 범위($120 \pm 30^\circ$)에서의 도입속력은 표준볼트장력이 충분히 도입되었다. 그리고 표준볼트장력을 도입하기 위한 허용너트회전각 120° (150°)을 기준으로 할 경우 허용한계 볼트길이-지름비는 8.36(14.04)으로 평가되었다.

5. 결론

고력볼트의 여유나사길이(S_1)와 볼트길이-직경비(l/d)를 변수로 한 조임력 실험 통하여 도입속력과 너트회전각의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고력볼트의 시험편 인장강도는 열처리에 의한 영향으로 직경이 클수록 낮게 나타났다.
- 2) 너트회전법에 의한 조임시 M22의 경우 너트회전각에 의한 도입속력($120 \pm 30^\circ$)과 토크관리법에 의한 도입속력은 비교적 잘 일치하고 있다.

- 3) 여유나사길이의 변화는 최대도입축력 및 허용 너트회전각 범위($120 \pm 30^\circ$)의 도입축력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 여유나사 길이가 작을수록 나사부의 변형이 제한되어 도입축력이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 여유나사길이가 10mm 증가하면 축력비(N_{120}/N_0)는 10.1% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 표준볼트장력을 도입하기 위해 KASS 8에서 정하고 있는 너트회전각 120° (150°)을 기준으로 할 경우 허용한계 여유나사길이는 28.13mm (48.13mm)로 평가되었다.
- 5) 볼트길이-직경비의 변화는 최대도입축력 및 허용 너트회전각 범위의 도입축력에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 볼트길이-직경비가 1배 증가할 때 축력비(N_{120}/N_0)는 3.84% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- 6) 표준볼트장력을 도입하기 위해 허용너트회전각 120° (150°)을 기준으로 할 경우 허용한계 볼트길이-지름비는 8.36(14.04)로 평가되었다.

이상과 같이 고력볼트의 여유나사길이와 볼트 길이-직경비에 따른 조임력 실험결과, 너트회전법에 의한 고력볼트 조임시 여유나사길이와 볼트길이-직경비를 고려하여 조임을 실시하여야 하며, 추후 너트회전각에 영향을 미치는 인자들에 대한 많은 연구를 통하여 너트회전각의 허용범위 및 체결방법이 제시되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) 김상섭, "고력볼트 및 T/S볼트 시공지침", 동부건설 기술연구소, 1994. 2
- (2) 김진호, "고력볼트의 마찰접합에 관한 기초적 연구", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 1994.10.
- (3) 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 1999개정.

- (4) 한국표준협회, KS B 1010 「마찰접합용 고장력 6각 보울트·6각너트·평와셔의 세트」, 1986.
- (5) 한국표준협회, KS B 0801 「금속 재료 인장 시험편」, 1992 개정.
- (6) 日本建築學會, 鋼構造接合資料集成, 技報堂, 1977.
- (7) 김규석, 김상섭, 김영호, 서규석, 박성진, "고력볼트의 여유나사 길이에 대한 도입축력 평가", 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 1998. 6.
- (8) K.S. Kim, S.S Kim, Y.H. Kim, M.H. Hwang, "An Evaluational Study on Proper Installation according to Length-Diameter Ratios of High-Strength Bolts", Fifth Pacific Structural Steel Conference, pp.777~782, 1998. 10.
- (9) JIS 1186 「摩擦接合用高力六角ボルト,六角ナット,平座金のセット」, 1979.
- (10) 日本建築學會, 高力ボルト接合設計施工指針, 1993
- (11) G.L.Kulak, et al., Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, John Wiley & Sons, 1987.
- (12) John H. Bickford, An Introduction to the Design and Behavior of Bolt Joints, MARCEL DEKKER, INC.,1990.
- (13) G.L.Kulak, et al., "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints", John Wiley & Sons, 1987.
- (14) G. C. Brookhart, I. H. Siddiqi, and D. D. Vasarhelyi, "Surface Treatment of High-Strength Bolted Joints", Journal of the Structural Division, ASCE, 1968.
- (15) G. W. Owens, P. R. Knowles, P. J. Dowling "Steel Designers' Manual", pp. 664~982, 1998
- (16) John H. Bickford, "An Introduction to the Design and Behavior of Bolt Joints", MARCEL DEKKER, INC., 1990.

(접수일자 : 2000년 2월 15일)