

보울트 이음에 있어서  
最適狀態의 考察

지도교수 : 왕지석



논문 작성자

박성한 황재성 백일국

目 次

- 1. 序 論
- 2. 最大剪断变形 에너지 理論
- 3. 하 쪽 접 치 기 이 음
- 4. 양 쪽 접 치 기 이 음
- 5. 좌 임 회 전 각 도
- 6. 실험 장치
- 7. 실험
- 8. 考 察
- 9. 結 論



### 記 号 說 明

$\mu$	판 마찰계수	
$A$	보울트 골 단면적	$mm^2$
$\sigma_{yp}$	항복응력	$kg/mm^2$
$\sigma$	인장응력	$kg/mm^2$
$\tau$	전단응력	$kg/mm^2$
$Q$	보울트 인장력	$kg$
$Q_{max}$	최대 보울트 인장력	$kg$
$Q_{opt}$	$Q$ 의 최적치	$kg$
$F$	판에 걸리는 하중	$kg$
$F_{max}$	최대하중	$kg$
$\tau_{opt}$	최적 전단응력	$kg/mm^2$
$\sigma_{opt}$	최적 인장응력	$kg/mm^2$
$\theta$	보울트 최입각도	( $^{\circ}$ )
$r$	나사의 리어드	$mm$
$l$	이음판의 총두께	$mm$
$E$	영률상계수	$kg/mm^2$

# 1. 序論

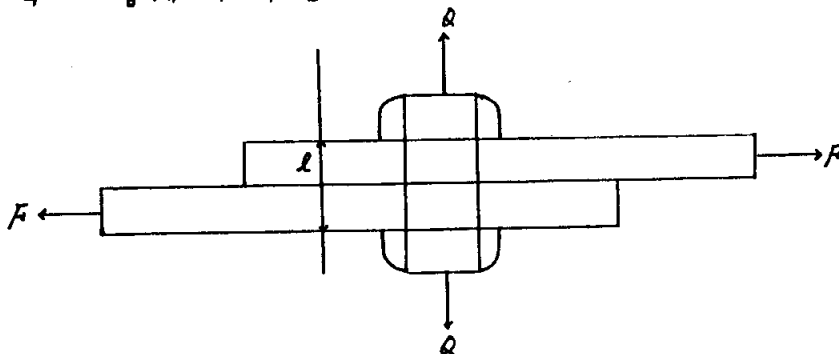
一般構造物에서應力이集中되는데이나鎔接  
 하는곳에荷重이트복이되므로자구分解하는경우가組立하  
 는곳에서,破壤의이유에서應力의集中을어느정도  
 다다시키고어의最大適狀能의조각을어느정도  
 이음부에의最大適應力狀能을조각을어느정도  
 이음부의構造物의最安全性을조각을어느정도  
 이構造物의最安全性을조각을어느정도

# 2. 最大剪斷變形 에너지理論

實際設計面에나타난복잡한應力狀能에대하  
 許容應力을결정하기위하여여러가지強度理論이  
 개발되고있다.알려져있는材料에대하여組合應  
 力下에서破壤의조건을결정하려는데있다.여기  
 는여러강도치用하要素에 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 가同時에作用하  
 는一般應力狀能에서純粹剪斷變形에너지값이그  
 材料가單純引張에너지값과같아지며,그要素에서  
 수직단면의작용과실제라기에서材料의破壤  
 狀況을함의미한다.剪斷應力 $\tau$ 를동시에받는경  
 우의최대전단변형에너지의식은다음과  
 같  
 다.

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_0^2$$

3. 랑쪽 결치기 이음



<그림 2-1>

최대전단 변형 에너지 이론에 의해서

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_{yp}^2 \quad \text{--- (a)}$$

그림 <2-1> 에서  $\Sigma F_x = 0$ ,  $z \cdot A = F - \mu \cdot Q$

( $\therefore z = \frac{F - \mu Q}{A}$ ,  $\sigma = \frac{Q}{A}$ ) --- (b), (b) 식을 (a) 식에 代入

$$\left(\frac{Q}{A}\right)^2 + 3\left(\frac{F - \mu Q}{A}\right)^2 = \sigma_{yp}^2 \quad \therefore F = \mu Q + \frac{A}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2} \quad \text{--- (c)}$$

$F_{max}$  를 얻기 위하여  $\frac{dF}{dQ} = 0$  으로 하면

$$\frac{dF}{dQ} = \mu + \frac{A}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{-\frac{2Q}{A}}{\sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2}} = \mu - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2}} = 0$$

$$\therefore \frac{Q}{A} = \sqrt{3\mu^2 \left[\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2\right]} \quad \text{--- (d)}, \quad \frac{Q}{A} = \sigma \text{ 이므로 (d) 식을}$$

$$\sigma^2 = 3\mu^2 (\sigma_{yp}^2 - \sigma^2) \quad \text{--- (e)}$$

$$\sigma = \sigma_{yp} \cdot \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} \quad \text{--- (f)} \quad \text{(e) 식을 (c) 식에 代入 하면}$$

$$\begin{aligned} F_{max} &= \mu Q + \frac{A}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2} = \mu \cdot A \cdot \left(\sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}\right) + \frac{A}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}\right)^2} \\ &= \mu \cdot A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} + \frac{A}{\sqrt{3}} \sigma_{yp} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} = \sqrt{3} \cdot \mu^2 \cdot A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} + \frac{A}{\sqrt{3}} \sigma_{yp} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} \end{aligned}$$

$$= A \cdot \sigma_{yp} \left( \sqrt{3} \mu^2 + \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{1+3\mu^2}$$

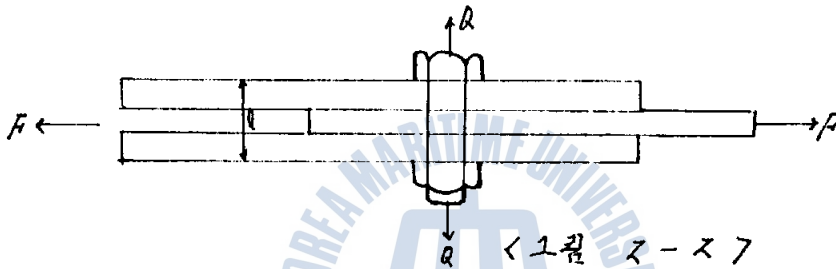
$$\therefore F_{max} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{1+3\mu^2} \quad \text{--- (g)}, \quad \text{(a) 와 (e) 식에서}$$

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_{yp}^2 \quad \text{로부터}$$

$$\tau_{yc} = \sqrt{\frac{\sigma_{yp}^2 - \sigma^2}{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} = \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}}$$

$$\therefore \tau_{yc} = \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} \quad \text{--- (h)}$$

4. 양쪽 접착기 이음



최대전단 변형 에너지 이론에 의해서

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_{yp}^2 \quad \text{--- (a)}$$

그림 (2-2)에서  $\sum F_x = 0$ ,  $2\tau \cdot A = F - 2\mu R$

$$\therefore \tau = \frac{F - 2\mu R}{2A} \quad \text{--- (b)}$$

$\sigma = \frac{R}{A}$  와 (b) 식을 (a) 식에代入하면

$$\left(\frac{R}{A}\right)^2 + 3\left(\frac{F - 2\mu R}{2A}\right)^2 = \sigma_{yp}^2$$

$$\therefore F = 2\mu R + \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{R}{A}\right)^2} \quad \text{--- (c)}$$

$F_{max}$  를 얻기 위하여  $\frac{dF}{dR} = 0$  으로 하면

$$\frac{dF}{dR} = 2\left(\mu - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{R}{A}\right)^2}}\right) = 0$$

$$\frac{R}{A} = \sqrt{3\mu^2 \left\{ \sigma_{yp}^2 - \left(\frac{R}{A}\right)^2 \right\}} \quad \text{--- (d)}$$

$\frac{Q}{A} = \sigma$  이므로 (d) 식은

$$\left( \sigma = \frac{Q}{A} = \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}, \quad Q = A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} \right) \text{ --- (e)}$$

$$\therefore \left( \tau_{opt} = \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}, \quad Q_{opt} = A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} \right) \text{ --- (f)}$$

(c) 식에서  $F_{max} = 2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_{yp} \cdot A \sqrt{1+3\mu^2} \right) \text{ --- (g)}$

(a), (f) 식에 의해서

$$\tau_{opt} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \sigma_{yp}^2 \frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}} = \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}} \text{ --- (h)}$$

2축 응력 상태의 조건에서 보울트에 걸리는 최  
 적 상태의 응력우  $load(F_1)$  를 최대로 걸 수 있는  
 한이 되며 다음과 같다.  
 식은 보울트에 걸리는 최적 상태의 응력우 2  
 재료의 항복응력과 변형계수와 관계한다는 것을  
 알 수 있다.

표 2-17

	한쪽 접지기 이음	양쪽 접지기 이음
$F_1$	$\mu Q + \frac{A}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2}$	$2\left(\mu Q + \frac{A}{\sqrt{3}} \sqrt{\sigma_{yp}^2 - \left(\frac{Q}{A}\right)^2}\right)$
$\tau$	$\frac{F_1 - \mu Q}{A}$	$\frac{F_2 - 2\mu Q}{2A} \quad \left( = \frac{F_1 - \mu Q}{A} \right)$
$\sigma$	$\frac{Q}{A}$	$\frac{Q}{A}$
$\theta$	$\alpha \cdot \theta$	$\alpha \cdot \theta$
$\sigma_{opt}$	$\sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}$	$\sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}$
$\tau_{opt}$	$\frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}}$	$\frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{1+3\mu^2}}$
$Q_{opt}$	$A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}$	$A \cdot \sigma_{yp} \sqrt{\frac{3\mu^2}{1+3\mu^2}}$

5. 체결 회전 각도 ( $\theta$ )

$$\theta = \alpha \cdot \theta_1$$

1)  $\theta_1$ : 체결체(철판), 너트, 그리고 나사간의 변형이 없는 이상적인 상태의 체결 회전 각도

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta l}{l} = E \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{\theta}{360} \cdot P$$

$$\therefore \theta_1 = \frac{360 \cdot l}{P \cdot E} \cdot \sigma$$

- 2)  $\alpha$ : 실험과 재료소에 의한 수정 계수
- i) 체결된 나사부의 체결량에 의한 부가적인 체결 회전 각도 고려.
  - ii) 철판면에서 접촉면의 거칠기 상태 고려.
  - iii) 체결체(철판), 너트, 그리고 체결체사이의 접촉 상태와 변형 고려.
  - iv) 실험상의 오차 및 나사면의 접촉 상태 혹은 로를 고려.
  - v) 이상을 고려해 볼 때, 실제적으로 나사를 최대한 조였을 때 실제 체결 회전 각도가  $180^\circ$  근처에 있었다. 이때의 최대 볼트 축인장력( $\sigma_{max}$ )의 이론치와 조합 시킴으로써  $\alpha$  계수를 설정 할 수 있었다.

표(2-2)

	$\theta$	$\theta_1$	$\alpha$
연강 M10	180	17.1	10.5
연강 M12	180	14.7	12.2
황동 M10	180	23.7	7.58
황동 W 5"	180	16.95	10.6



변장 M 10

표(2-3)

Q (kg)	$\theta$ (°)	$\alpha$	$\theta$ (°)
0	0	10.5	0
100	1.24	10.5	13.02
300	3.73	10.5	39.165
500	6.22	10.5	65.31
600	7.47	10.5	78.44
635	7.90	10.5	82.95
800	9.96	10.5	104.58
902	11.22	10.5	117.81
1000	12.45	10.5	130.72
1063	13.23	10.5	138.91
1300	16.18	10.5	169.89
1377.5	17.14	10.5	180

변장 M 12

표(2-4)

Q (kg)	$\theta$ (°)	$\alpha$	$\theta$ (°)
0	0	12.2	0
200	1.46	12.2	17.81
500	3.66	12.2	44.65
800	5.87	12.2	71.61
924.3	6.77	12.2	82.6
1100	8.07	12.2	98.46
1313.3	9.63	12.2	117.48
1546	11.34	12.2	138.34
1800	13.19	12.2	160.91
2005	14.7	12.2	180

활동 M 10

표 < 2-57

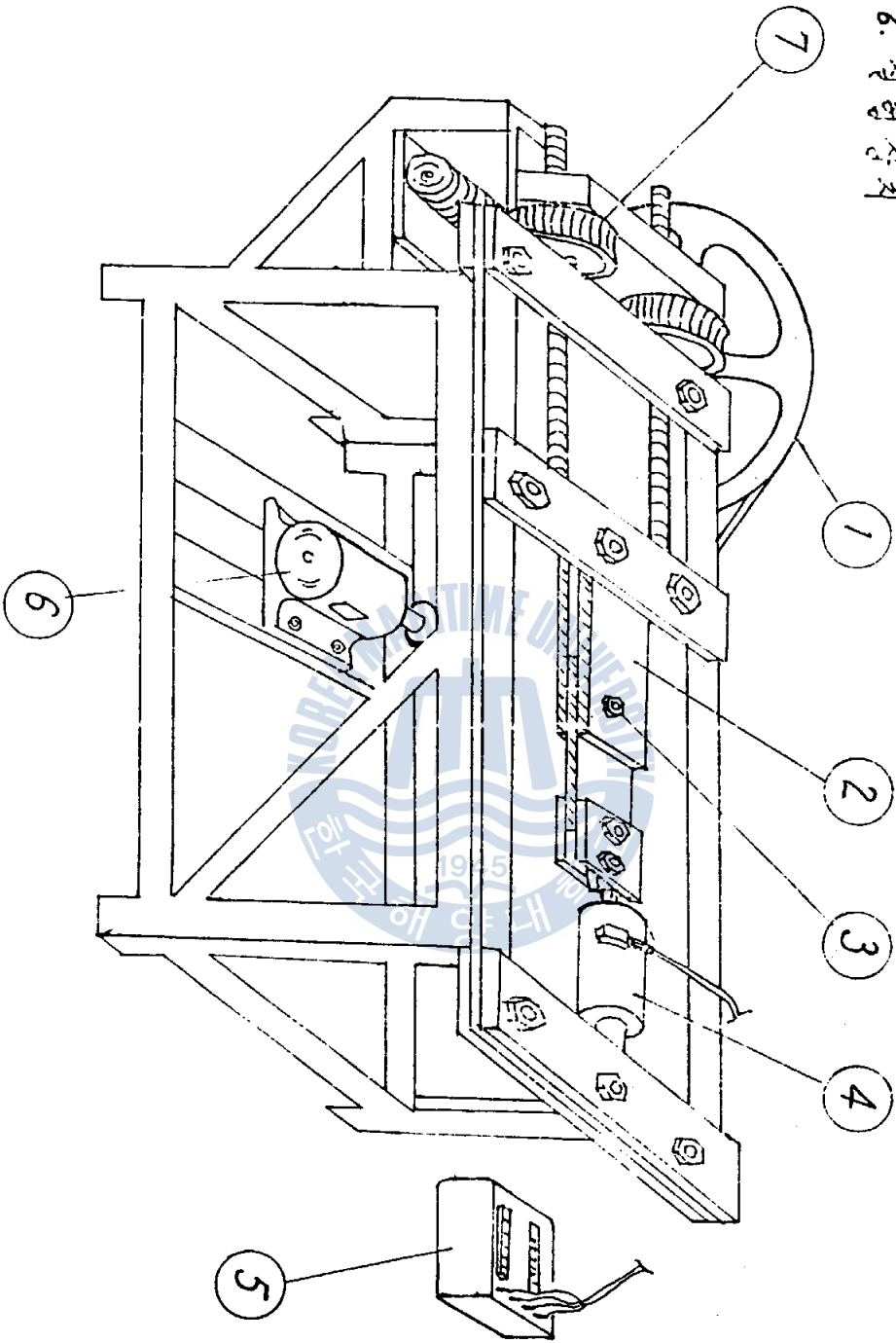
$R$	$\theta_1$	$\alpha$	$\theta$
0	0	7.58	0
100	2.86	7.58	21.67
200	5.74	7.58	43.5
300	8.61	7.58	65.26
381	10.93	7.58	82.84
63	15.54	7.58	117.79
637	18.29	7.58	138.63
700	20.10	7.58	152.35
826.5	23.74	7.58	180

활동 W 1/2

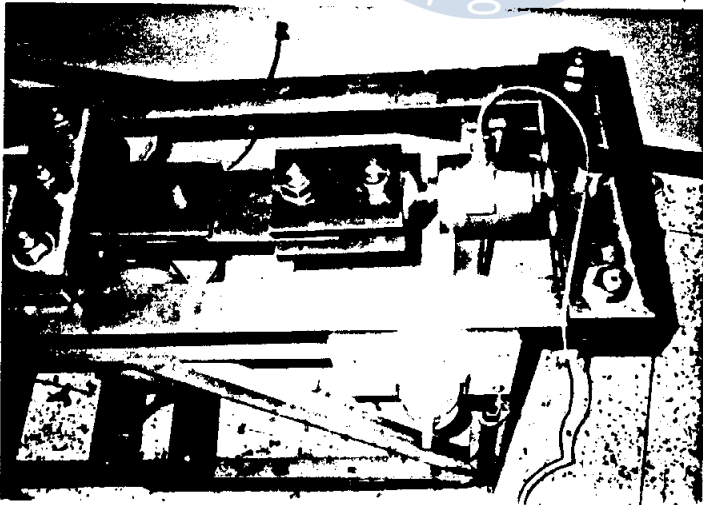
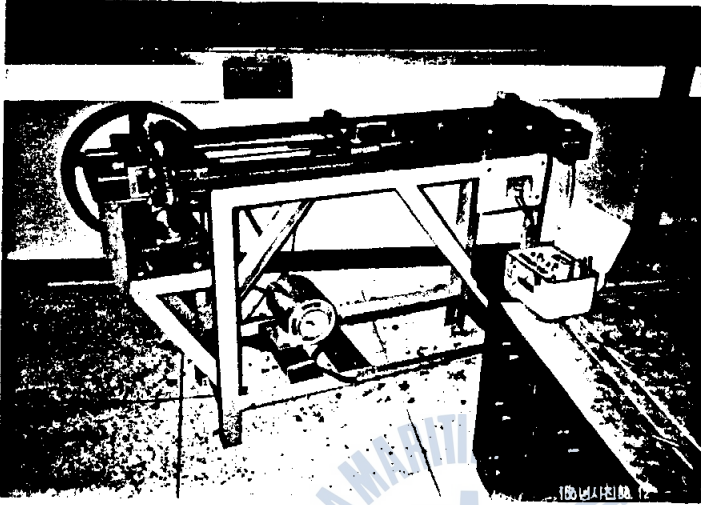
표 < 2-67

$R$	$\theta_1$	$\alpha$	$\theta$
0	0	10.6	0
200	2.88	10.6	30.52
300	4.33	10.6	45.89
400	5.76	10.6	61.05
542	7.82	10.6	82.89
600	8.66	10.6	91.79
770	11.10	10.6	117.66
906	13.06	10.6	138.43
1000	14.42	10.6	152.85
1175.7	16.95	10.6	180

6. 실험 장치



- ① pulley
- ② 실험용 보물통
- ③ 실험용 셀
- ④ Load gauge
- ⑤ Load gauge
- ⑥ Motor
- ⑦ flywheel gear



7. 실험

그림 (2-3) 에서 처럼 실험은 철판 두께 20 mm, 3 장을 접친 양쪽 접치기 이음으로 하고 판파찰 계수는 0.5 를 택했으며 실험용 볼트는 연강 M12, 연강 M10, 황동 M10, 황동 W 스크 등의 4 가지를 택했다. 그리고, 각 볼트에 따른 수치는 표 (2-8) 과 같다.

표 (2-8)

	Pitch(mm)	d.(골경)	A(골단면적)	E(kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{yk}$ (kg/mm <sup>2</sup> )
연강 M1	1.5	8.376	55.1	$2.1 \times 10^4$	25
연강 M12	1.75	10.106	80.2	$2.1 \times 10^4$	25
황동 M10	1.5	8.376	55.1	$0.91 \times 10^4$	15
황동 W 스크	2.1167	9.99	78.38	$0.91 \times 10^4$	15

실험 방법은 볼트 좌임 각도를  $0^\circ \sim 180^\circ$  까지  $30^\circ$  씩 6 등분 하여 2 개의 철판에 걸리는 load 를 측정했다. 처음에는 어떤 지정된 수치의 load 가 걸릴 때까지 Motor 를 사용했으며 그 이후는 손으로 Pulley 를 돌려서 실험용 볼트가 剪斷될 때까지 最大의 load 를 임했다. 각 볼트의 수치 (이론치) 는 표 (2-9) ~ 표 (2-12) 에서 나타나 있다.

연 강 M10 이론치

$\mu$	Q (kg)	$\mu \cdot Q$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{\frac{Q^2 - (\mu \cdot Q)^2}{A^2}}$	F (kg)	$\tau$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	l (mm)	p (mm)	$\theta$ (°)
0.5	0	0	31.8	25	1590	14.43	0	60	1.5	0
0.5	100	50	31.8	24.9	1684	14.37	1.81	60	1.5	13.0
0.5	300	150	31.8	24.4	1852	14.08	5.44	60	1.5	39.2
0.5	500	250	31.8	23.3	1982	13.45	9.07	60	1.5	65.3
0.5	600	300	31.8	22.5	2032	12.99	10.89	60	1.5	78.4
0.5	800	400	31.8	20.4	2098	11.78	14.52	60	1.5	104.6
0.5	902	451	31.8	18.9	2104	10.91	16.37	60	1.5	117.8
0.5	1000	500	31.8	17.2	2094	9.93	18.15	60	1.5	130.7
0.5	1300	650	31.8	8.3	1828	5.70	23.59	60	1.5	169.9
0.5	1377.5	689	31.8	0	1378	0	25	60	1.5	180



연 강 M12 이론치

$\mu$	Q (kg)	$\mu \cdot Q$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{\frac{Q^2 - (\mu \cdot Q)^2}{A^2}}$	F (kg)	$\tau$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	l (mm)	p (mm)	$\theta$ (°)
0.5	0	0	46.3	25	2315	14.43	0	60	1.75	0
0.5	200	100	46.3	24.9	2506	14.38	2.49	60	1.75	17.8
0.5	500	250	46.3	24.2	2741	13.97	6.23	60	1.75	44.7
0.5	800	400	46.3	22.9	2921	13.22	9.98	60	1.75	71.6
0.5	1100	550	46.3	20.9	3035	12.06	13.72	60	1.75	98.5
0.5	1313	657	46.3	18.9	3064	10.91	16.38	60	1.75	117.5
0.5	1800	900	46.3	11.0	2819	6.35	22.44	60	1.75	160.9
0.5	2005	1003	46.3	0	2005	0	25	60	1.75	180

황동 M10 이론치

$\mu$	Q (kg)	$\mu \cdot Q$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{\frac{Q^2 - Q_p^2}{A}}$	F (kg)	$\tau$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	l (mm)	p (mm)	$\theta$ (°)
0.5	0	0	31.8	15	954	8.66	0	60	1.5	0
0.5	100	50	31.8	14.9	1048	8.60	1.81	60	1.5	21.7
0.5	200	100	31.8	14.6	1129	8.43	3.63	60	1.5	43.5
0.5	300	150	31.8	14.0	1190	8.08	5.44	60	1.5	65.3
0.5	541	271	31.8	11.3	1261	6.34	9.82	60	1.5	117.7
0.5	700	350	31.8	8.0	1209	4.62	12.70	60	1.5	152.9
0.5	827	414	31.8	0	826	0	15	60	1.5	180

황동 W<sub>10</sub> 이론치

$\mu$	Q (kg)	$\mu \cdot Q$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{\frac{Q^2 - Q_p^2}{A}}$	F (kg)	$\tau$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	l (mm)	p (mm)	$\theta$ (°)
0.5	0	0	45.3	15	1359	8.67	0	60	2.1	0
0.5	200	100	45.3	14.8	1541	8.55	2.55	60	2.1	30.5
0.5	300	150	45.3	14.5	1614	8.38	3.83	60	2.1	45.9
0.5	400	200	45.3	14.1	1677	8.15	5.10	60	2.1	61.1
0.5	600	300	45.3	12.9	1769	7.46	7.66	60	2.1	91.8
0.5	770	385	45.3	11.3	1794	6.53	9.82	60	2.1	117.7
0.5	1000	500	45.3	7.9	1716	4.57	12.76	60	2.1	152.9
0.5	1176	588	45.3	0	1176	0	15	60	2.1	180

F의 실험치

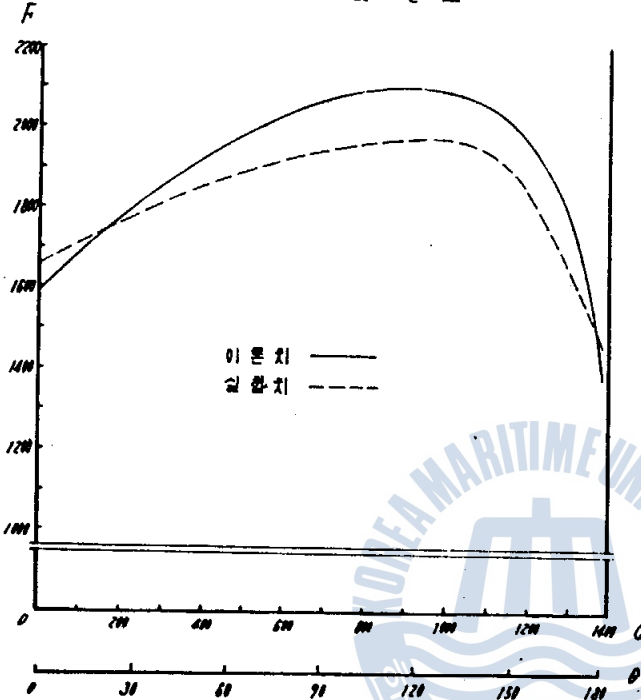
보울트 $\theta$	연강M12 (F1)	연강M12 (F2)	연강M12 (F3)	연강M12 (Fave)	연강M10 (F1)	연강M10 (F2)	연강M10 (F3)	연강M10 (Fave)
0°	2413	2470	2430	2437	1705	1690	1600	1665
30°	2550	2580	2510	2546	1790	1748	1690	1742
60°	2750	2790	2760	2767	1890	1905	1810	1868
90°	2920	2990	2890	2933	1820	1990	1895	1901
120°	2990	2870	2900	2920	1910	2010	2005	1975
150°	2920	2810	2990	2906	1800	1805	1880	1828
180°	2320	2410	2470	2400	1490	1405	1450	1448

F의 실험치

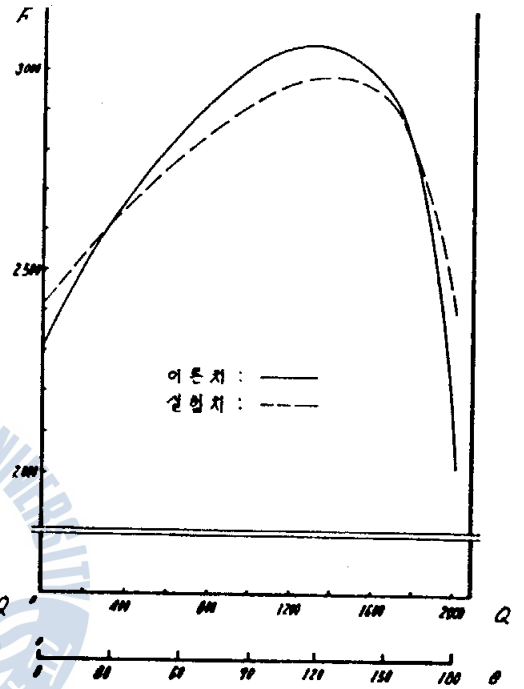
보울트 $\theta$	황동M10 (F1)	황동M10 (F2)	황동M10 (F3)	황동M10 (Fave)	황동W1/2 (F1)	황동W1/2 (F2)	황동W1/2 (F3)	황동W1/2 (Fave)
0°	1070	1109	1130	1103	1505	1509	1510	1508
30°	1130	1205	1160	1161	1520	1610	1705	1611
60°	1140	1220	1280	1213	1708	1690	1750	1716
90°	1230	1192	1185	1202	1790	1801	1820	1803
120°	1205	1310	1290	1268	1900	1920	1930	1916
150°	1110	1201	1090	1134	1810	1795	1820	1808
180°	934	1000	1050	994	1390	1420	1460	1423



—연강 M10-F-Q 선도—

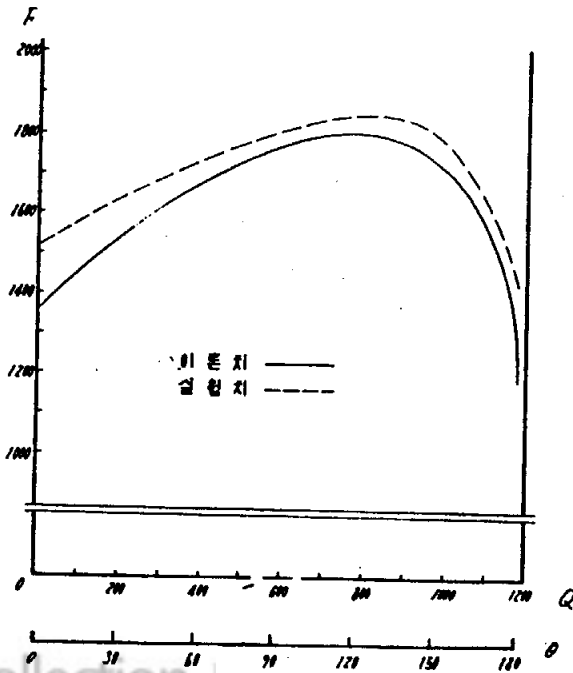


—연강 M12-F-Q 선도—

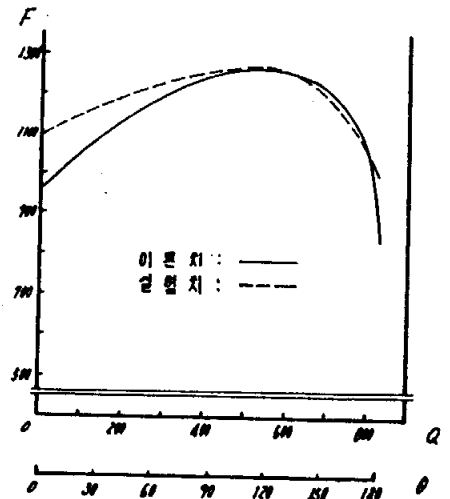


—연강 M12—

—황동 M10-F-Q 선도—



—황동 W1/2-F-Q 선도—



### 8. 考 察

(1) 이론치와 실측치의 비교 검토  
 볼트 의 짐 각 도가  $0^\circ$  인 상태 (축인장력  $(Q) = 0$ ) 에서  
 실측치인  $load (N)$  의 값이 이론치보다 큰 값을  
 나타냈다. 이것은 초기상태에서 볼트에 걸리는  
 축인장력이 이론적으로  $0$  이지만 실험에서는 철  
 판에  $load (N)$  가 걸려서 볼트가 파괴될 때, 양쪽  
 접합부를 밖으로 밀기 때문에 너트에 압축력이 작용하  
 는 때문이다. 볼트에 걸리는 축인장력은  $0$  이  
 아니므로, 철판에  $load (N)$  를 지는 속도에 따라  
 실측치는 여러 차례 이를 나타냈다. 즉, Motor로  $load$   
 를 빨리 거는 경우와 손으로 pulley를 돌려서  
 거는 경우와는 차이가 있었다.  $load$  를 걸 때,  
 볼트가 파괴되는  $load (N)$  의 가까운 수치에서 Motor  
 를 정지하여 손으로 돌리면 낮은  $load (N)$  에서 볼  
 트가 파괴되었다. 그리고, 실험용 볼트가 양쪽으로  
 트럭응력을 갖는 최대 축인장력  $(Q)$  이 작용하는 정도  
 에 철판에 걸수 있는  $load (N)$  의 값을 비교해보  
 면 실험치가 이론치보다 큰 값을 나타내고 있다.  
 이것은 단순히 손으로 볼트를 돌려서 나타낸  
 파괴가 없기 때문이다.

### (2) 최대 $load (N)$ 를 걸수 있는 볼트 축인장 력 $(Q_{opt})$

최대 의  $load (N)$  를 걸수 있는 최적상태의 축인장력  
 $(Q)$  은 최대의 외임각도가  $180^\circ$  인 경우  $110^\circ \sim$   
 $120^\circ$  부근에서, 각 볼트마다 비교적 공통적으로  
 나타나고 있다. 그러나, 실험치에서는 선도에서처럼 오른쪽으로  
 움직여진 상태를 보여주고 있다. 이것은 (1)에서  
 의 검토한 이유 때문에 분명히 알 수 있으며 선  
 강 볼트를 사용한 경우에는 황동 볼트를 사용한  
 경우보다,  $F_{max}$  의 값이, 실험치와 이론치를 비  
 교해 볼 때, 실험치가 작은 값을 나타내고 있다.  
 즉, 연성이 큰 재료는 비교적 큰  $load$  를 걸수  
 있으며 이론치에 매우 근접하고 있다.  
 (3) 이상에서 검토한 결과와 같이 실험한 결과

어려운 재가 발생했지만 실험 방법과 실험 장치의 개선이 뒤따르면 좀더 정밀한 이론치에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것이다.

9 結論

部材를 보울트 이음할 때 가장 큰 하중을 받기 위한 나사의 조임 정도에 따라 여하한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 최대 전단 변형 에너지 이론에 의하면 나사의 조임 정도에 따라 보울트 이음의 부하능력이 달라지는데 負荷能力이 가장 크게 되는 나사 조임이 존재한다.

(2) 최대 전단 변형 에너지 理論에 의하면 보울트 이음에 관한 負荷能力은 연강 보울트나 광동 보울트 모두 보울트 이음장 강도의  $\frac{2}{3}$  정도 되는 引張力이 생기도록 조였을 때 가장 크다.

(3) 軟性材料의 최대 전단 변형 에너지 理論에 의하면 보울트 이음 強度의 計算은 實驗値와 比較的 잘 일치한다.

