

강관 K형 접합부의 보강효과에 관한 연구

An Study on the Stiffened Effect of K-type Tubular Connection

김 우 범¹⁾ · 이 영 정²⁾ · 김 갑 순³⁾ · 정 수 영⁴⁾

Kim, Woo Bum Lee, Young Jung Kim, Kap Sun Chung, Soo Young

요약 : 리브로 보강된 가셋트-강관 접합부의 거동은 매우 복잡한 양상을 나타내므로 이론적인 방법으로는 극한강도평가가 불가능하다. 그러므로 본 연구에서는 리브로 보강된 K형 가셋트-강관접합부의 유한요소 해석결과를 실험결과와 비교·분석하여 그 타당성을 입증하고, 유한요소해석에 의한 접합부의 거동을 파악하고 극한강도를 추정하였다. 또한 횡력비, 편심률, 가셋트 길이를 고려한 유한요소해석으로부터 보강효과를 파악하였으며, 보강플레이트의 길이, 높이, 두께의 변화에 따른 해석을 수행하여 합리적인 보강방법을 제안하였다.

ABSTRACT : It is almost impossible to evaluate the ultimate strength theoretically, because the behavior of Gusset-Tube connection stiffened with rib-plate is considerably complicate. Therefore in this study a finite element model of gusset-tube connection stiffened with rib-plate was established. The validity of finite element analysis was examined through comparing with previous experimental result and the behavior and strength of the connection was examined. From the parametric study considering lateral force ratio, eccentricity, gusset length based on finite element model, the stiffened effect was estimated and stiffening method was proposed.

핵심 용어 : 가셋트-강관 접합부, 보강효과, 보강방법, 유한요소해석

KEYWORDS : Gusset-tube connection, Stiffened effect, Stiffening method, Finite element analysis

1. 서 론

가셋트-강관접합부에 축력과 횡력이 작용하는 경우 접합부의 강도는 관벽에 작용하는 모멘트에 의한 접합부의 국부적인 응력집중 및 국부소성화

에 의해 저하되므로, 일반적으로 이를 방지하기 위하여 가셋트 플레이트의 상·하단 부에 보강 플레이트를 부착한다. 그러나 이러한 경우 접합부의 거동은 보강된 리브의 형상 및 보강방법, 횡력비 등에 따라 보강되지 않은 경우와 상당히 다르게

1) 정희원, 공주대학교 건축공학과 부교수
2) 충남대학교 대학원 석사과정
3) 충남대학교 대학원 박사과정
4) 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수

본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

되며 응력분포도 매우 복잡한 양상을 나타내므로 여러 변수를 고려한 접합부 강도식을 이론적으로 제안하는 것은 불가능하다. 또한 현행 강관구조 설계규준의 리브로 보강된 가셋트-강관 접합부의 설계식은 제한적인 부분만을 다루고 있어 합리적인 보강방법을 제시하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 리브로 보강된 강관 K형 접합부의 구조적 성능을 파악하고 극한강도를 추정하기 위하여 유한요소 모형을 설정하였으며, 이에 대한 타당성을 실험결과와의 비교를 통해 입증하였다. 또한 각 변수에 따른 접합부의 보강효과를 파악함으로써 접합부 강도증진을 위한 효과적인 보강방법을 제시하고자 한다.

2. 접합부의 유한요소해석

유한요소해석 모형은 실험체와 비교분석을 통해 타당성을 검증하기 위하여 동일조건으로 모델링하여 유한요소해석을 탄성 및 비탄성 범위까지 수행하여 접합부의 극한강도를 추정하였다.

그림 1에는 시험체의 형상 및 가력조건을 나타내었으며, 해석시험체의 유한요소해석 모형을 그림 2와 같이 설정하였다.

유한요소해석은 강관의 국부좌굴변형과 소성호름을 정확히 모델링하기 위하여 ABAQUS 5.8의 S4R5 헬(shell)요소를 사용하여 수행하였으며, 이 요소는 thin-element이고 각 절점마다 5개의 자유도를 갖는 4노드 4변형 헬요소이다. 요소의 메쉬(mesh) 분할은 그림 2와 같이 응력집중 현상 및 정확한 최대내력 추정이 가능하도록 강관에 대해서는 길이방향으로 40개 요소, 강관의 원주 방향으로 24개 요소로 분할하여 총 960개의 요소를 사용하였고, 가셋트 플레이트는 200개의 요소를 사용하였으며, 리브는 상·하 30개씩 모두 60개의 요소를 사용하였다.

또한 모든 해석시험체에 대하여 동일하게 von Mises의 항복조건을 사용하였으며 재료의 탄성계수는 $2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$, 포아송비는 0.3을 적

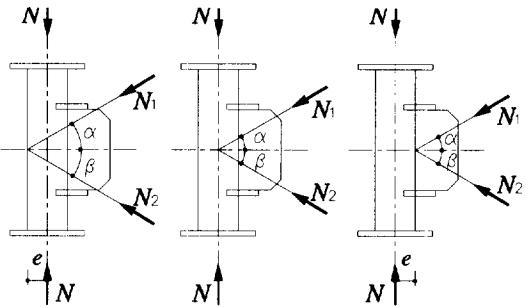


그림 1. 시험체의 형상 및 가력조건

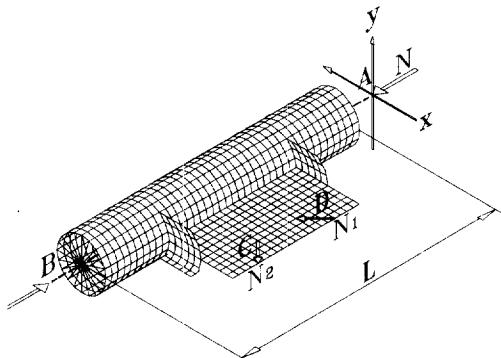


그림 2. 접합부의 유한요소해석 모형

용하였다. 재료의 항복응력으로는 실험결과와 비교하기 위한 해석시험체는 소재시험 결과를 그대로 적용하였고, 변수별 보강효과 및 거동을 파악하기 위한 추가적인 해석시험체는 동일하게 $3.3\text{tf}/\text{cm}^2$ 로 적용하였다.

해석시험체에 적용된 경계조건은 축소모형 실험시의 조건을 그대로 구현하기 위하여 그림 2와 같이 주관의 단부에 다이아프램을 설정하여 주절점(B점)을 x축 회전만 가능하게 한 힌지로, A점은 Z축 방향으로의 이동 및 x축 회전만 가능하게 한 롤러지지로 설정하였다. 또한 하중재하는 주관 단부 A점의 z축상에 주관 도입축력으로 집중하중 N을, 가袈트플레이트 내의 C, D점에 지관 도입축력으로 집중하중 N₁, N₂를 작용시켰다.

3. 접합부의 실험

3.1 소재 인장강도 시험

소재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801의 제 12호 시험편을 제작하여 인장강도 시험을 실시하였다. 여기에 사용된 강관의 재질은 SPS400이며 시험결과를 표 1에 나타내었다.

3.2 단주 압축 실험

인장시험 결과와의 비교를 통해 시험체 제작시의 잔류응력의 영향, 폭두께비에 의한 국부좌굴의 영향을 파악하기 위하여 단주 압축 실험을 실시하였다. 시험체는 직경의 3배를 모재로부터 절취하여 양단부에 앤드플레이트를 용접 부착하여 제작하였다.

실험결과는 표 2에 나타내었다. 여기에서 N_y 는

표 1. 사용 재료의 기계적 성질

Name	σ_y tf/cm ²	ϵ_y $\times 10^{-3}$	σ_u tf/cm ²	E tf/cm ²	σ_y/σ_u %	연신률 %
T1	2.693	1.273	3.287	2116	81.96	35.62
T2	2.694	1.300	3.32	2073	81.14	36.35
T3	2.799	1.390	3.296	2014	84.92	38.09

(E=탄성계수, σ_y =항복응력도, σ_u =인장강도, ϵ_y =항복변형률)

표 2. 단주압축실험결과

Name	D mm	t mm	A cm ²	N_u tf	N_u/A tf/cm ²	N_u/N_y
Stub-A	76.6	1.5	3.539	9.499	2.684	0.996
Stub-B	76.6	1.5	3.539	9.626	2.72	1.010
Stub-C	76.6	1.5	3.539	9.466	2.675	0.993

(D=강관직경, t=강관두께, A=단면적, N_u =최대내력, N_y =항복축력)

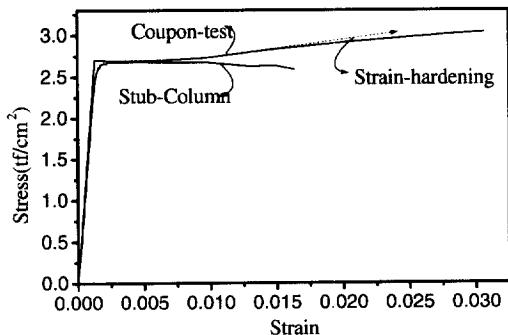


그림 3. Stub-Column 실험결과

항복축력으로 재료의 인장시험에서 얻어진 항복응력(σ_y)에 공칭단면적(A)을 곱한 것으로 하였다. 그럼 3과 같이, 실험체는 제작시의 잔류응력의 영향으로 항복 전에 비선형성을 보이며 항복 후 소성영역에서 국부좌굴로 파괴되었다. 이로부터 국부좌굴은 소성영역에서 발생하므로 부재의 항복내력에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3.3 실험체 계획

편심률, 횡력비, 가셋트 길이 보강각도 등을 고려하여 표 3과 같이 실험체를 계획하였다. 실험체는 실험장치의 용량제한으로 1/3축소모형으로 제작하였다. 주관은 76.6×1.5 로 사용하였고 가셋트 플레이트는 PL-9를 ϕ 사용하였으며, 모든 실험체에 대해 폭두께비는 51.1로 동일하게 하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 실험결과와 유한요소해석 결과의 비교

표 4는 가셋트-강관 접합부의 최대내력을 추정

표 3. 실험체 재원

실험체명	횡력비 α (e/R)	편심률 (cm)	가셋 길이 (cm)	보강 각도 (°)	σ_y (tf/cm ²)	N_y (tf)
RPA10	0.1	0	20	90 °	2.694	9.534
RPA30	0.3	0	20	90 °	2.694	9.534
RPA50	0.5	0	20	90 °	2.694	9.534
RPA70	0.7	0	20	90 °	2.694	9.534
RPA31	0.3	1	20	90 °	2.694	9.534
RPA71	0.7	1	20	90 °	2.694	9.534
RPB30	0.3	0	16	90 °	2.694	9.534
RPC30	0.3	0	12	90 °	2.694	9.534
RPA30-3	0.3	0	20	60 °	2.694	9.534
RPA30-6	0.3	0	20	120 °	2.694	9.534

*RPA30-3-보강각도 (3: 60°, 6: 120°, 그 외: 90°)

횡력의 편심거리(0:e=0, 1:e=1)

축력에 대한 횡력의 비(1:0.1, 3:0.3, 5:0.5, 7:0.7)

가셋트플레이트 길이(A:20cm, B:16cm, C:12cm)

표 4. 실험결과와 유한요소해석 결과

Name	σ_y (tf/cm ²)	N_y (tf)	FEM		EXP		$\frac{N_{r-f}}{N_y}$
			N_{r-f} (tf)	$\frac{N_{r-f}}{N_y}$	N_{r-e} (tf)	$\frac{N_{r-e}}{N_y}$	
RPA10	2.694	9.534	9.46	0.992	9.617	1.009	0.983
RPA30	2.694	9.534	9.34	0.979	9.395	0.985	0.994
RPA50	2.694	9.534	9.21	0.966	9.248	0.970	0.996
RPA70	2.694	9.534	9.08	0.953	9.160	0.961	0.992
RPA31	2.694	9.534	9.13	0.957	9.188	0.964	0.993
RPA71	2.694	9.534	8.87	0.930	8.915	0.935	0.995
RPB30	2.694	9.534	9.25	0.970	9.362	0.982	0.988
RPC30	2.694	9.534	9.09	0.953	9.222	0.967	0.985
RPA30-3	2.694	9.534	9.21	0.966	9.341	0.980	0.986
RPA30-6	2.694	9.534	9.43	0.989	9.519	0.998	0.991

(FEM : 유한요소해석결과, EXP : 실험결과, N_y : 항복하중, N_{r-e} : 실험시 최대하중, N_{r-f} : 유한요소해석시 최대하중)

하기 위해 설정한 유한요소 해석모형을 검증하기 위하여 유한요소해석결과와 실험결과를 비교한 것이다. 여기에서 N_y 은 실험체의 최대하중으로 주관으로부터의 축력과 지관으로부터의 횡력의 수직 분력값을 합친 값이며 $N_r = N + (N_1 + N_2) \cos \theta$ 로 산정하였다. 표 4에서 알 수 있듯이 유한요소해석 결과와 실험결과와의 최대내력 오차는 5%미만이고 횡력비, 편심률, 가셋트 길이 등에 따른 최대내력의 분포와 거동이 일치하므로 유한요소해석에 의해 리브로 보강된 강판 K형 접합부의 거동파악이 가능함을 알 수 있었다.

실험체의 종합적인 파괴거동을 나타내는 파괴성상을 표 5에 나타내었다. 실험결과와 마찬가지로 편심이 없는 경우에는 횡력비가 적으면 시험체 하부의 국부좌굴에 의해 파괴되었고, 횡력비가 커지면 접합부 부근의 국부소성변형에 의해 파괴되었으며, 편심이 있는 경우에는 가셋트 하단부의 응력집중으로 인한 국부좌굴에 의해 파괴되었다.

그림 4~5에는 유한요소해석에 의한 보강전·후의 접합부 응력분포를 나타내었으며 그림 6에는 보강전후의 실험체 파괴사진을 나타내었다. 그림 4~5에서 볼 수 있듯이 리브로 보강된 실험체의 경우 리브 플레이트에 의한 응력재분배 현상으로

표 5. 실험체의 파괴성상

실험체명	파괴위치	파괴형태
RPA10	가셋트 하단부 국부좌굴	가셋트 하단부 국부좌굴
RPA30	가셋트 하단부 국부소성변형 후 국부좌굴	가셋트 하단부 국부소성변형
RPA50	가셋트 하단부 국부소성변형	가셋트 하단부 국부소성변형
RPA70	가셋트 하단부 국부좌굴	가셋트 하단부 국부좌굴
RPA31	가셋트 하단부 국부좌굴	가셋트 하단부 국부좌굴
RPA71	가셋트 하단부 국부좌굴	가셋트 하단부 국부좌굴
RPB30	가셋트 하단부 국부소성변형	가셋트 하단부 국부소성변형
RPC30	가셋트 하단부 국부소성변형	가셋트 하단부 국부소성변형
RPA30-3	가셋트 하단부 국부소성변형	가셋트 하단부 국부소성변형
RPA30-6	가셋트 하단부 국부소성변형 후 국부좌굴	가셋트 하단부 국부소성변형 후 국부좌굴

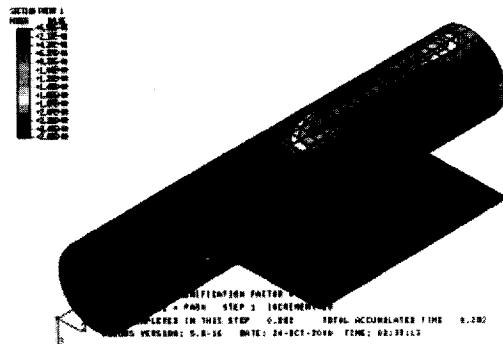


그림 4. 보강전 실험체 응력분포 - PA30

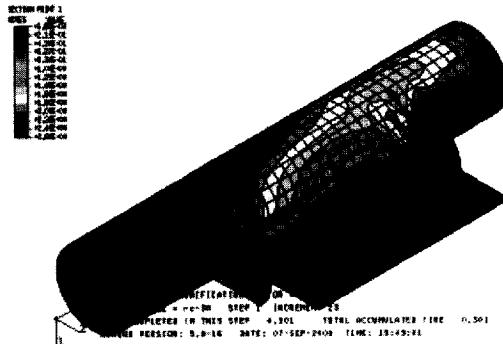


그림 5. 보강후 실험체 응력분포 - RPA30

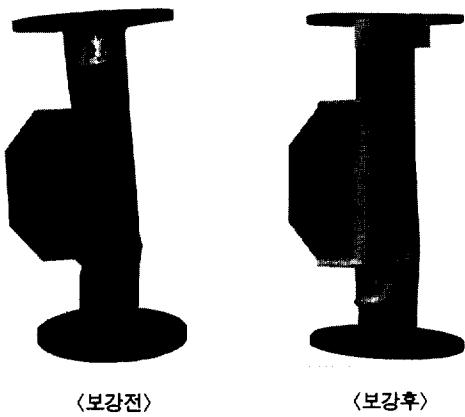


그림 6. 보강전·후의 실험체 파괴사진

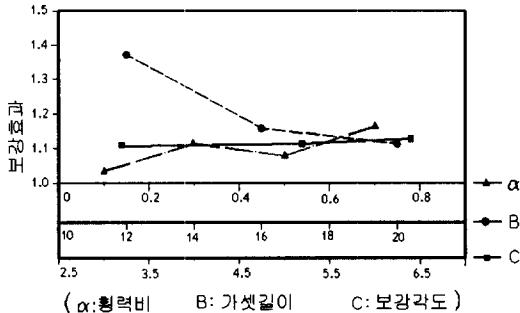


그림 7. 각 변수에 따른 보강효과

표 6. 횡력비/편심률에 따른 해석결과

Name	N_y (tf)	N_r (tf)	N_r/N_y N(%)	Name	N_y (tf)	N_r (tf)	N_r/N_y R(%)	R/N
NI10	11.682	11.370	97.33	RI10	11.682	11.397	97.56	100.23
NI30	11.682	11.087	94.91	RI30	11.682	11.150	95.44	100.56
NI50	11.682	10.880	93.13	RI50	11.682	10.988	94.06	100.99
NI70	11.682	10.696	91.56	RI70	11.682	10.818	92.61	101.14
NI90	11.682	10.541	90.23	RI90	11.682	10.722	91.78	101.72
NC10	11.682	11.405	97.63	RC10	11.682	11.536	98.75	101.15
NC30	11.682	10.607	90.80	RC30	11.682	11.414	97.70	107.60
NC50	11.682	9.601	92.19	RC50	11.682	11.207	95.94	116.73
NC70	11.682	8.518	72.92	RC70	11.682	11.061	94.69	129.86
NC90	11.682	7.703	65.94	RC90	11.682	10.901	93.32	141.52
NE10	11.682	10.499	89.87	RE10	11.682	11.292	96.66	107.56
NE30	11.682	7.082	60.62	RE30	11.682	10.592	90.67	149.56
NE50	11.682	5.253	44.97	RE50	11.682	9.927	84.97	188.97
NE70	11.682	4.359	37.31	RE70	11.682	9.934	79.90	214.15
NE90	11.682	3.833	32.81	RE90	11.682	8.834	75.62	230.49

* NI10- 축력에 대한 횡력의 수직분력비 (10:10% ...)

— 편심접합 (I:내편심, C:무편심, E:외편심)
— 보강유무 (N:보강무, R:보강유)

가셋트 하단부의 응력이 고르게 분포하여 그림 6과 같이 국부소성정도가 완화되고 내력상승효과가 발생하였다. 이러한 응력재분배에 의한 보강효과는 그림 7과 같이 횡력비가 클수록, 가셋트길이가 작을수록, 보강각도가 클수록 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4.2 보강된 접합부의 각 변수에 따른 영향

본 연구에서 제안된 유한요소해석 모델은 4.1절에서와 같이 검증실험결과와 잘 일치함을 알 수 있었지만 실험장치의 용량제한으로 제한된 범위만을 검토만을 수행하였으므로, 리브로 보강된 접합부의 보강효과를 종합적으로 파악하기 위하여 각 변수에 따른 유한요소해석을 수행하고 극한강도를 추정하여 보강효과를 파악하였다.

4.2.1 횡력비(α), 편심률(e/R)에 따른 보강효과
편심률과 횡력비의 변화에 따른 보강된 접합부의 보강효과를 파악하기 위하여 표 6과 같이 해석시험체를 계획하여 유한요소해석을 수행하였다.

리브 플레이트의 보강효과를 고려하기 위하여 리브로 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체로 구분하였으며, 모든 시험체에 대하여 폭두께비는 51.1, 가셋트 길이는 20cm로 동일하게 적용하였고, 횡력비는 10, 30, 50, 70, 90%의 5가지에 대하여 총 30개의 시험체를 계획하였다. 또한 횡력의 편심률에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 횡력의 편심은 내편심, 무편심, 외편심의 3가지 경우에 대하여 적용하였다.

횡력비, 편심률에 따른 최대내력 비교와 보강효과를 그림 8~9에 나타내었다. 그림 8~9에서 볼 수 있듯이 무편심의 경우에는 횡력비가 증가할수록 접합부에 작용하는 관벽모멘트의 영향이 커지므로 보강효과가 증가하여 보강된 접합부의 경우엔 횡력비에 따른 내력저하가 크지 않음을 알 수 있었다. 외편심의 경우 무편심보다 관벽모멘트의 영향이 크므로 횡력비가 증가할수록 더 큰 보강효과를

보였지만, 가셋트 하부의 강관부에 작용하는 횡력의 편심에 의한 편심모멘트의 영향으로 최대내력이 낮게 나타났다. 그러나 내편심의 경우에는 관벽모멘트가 발생하지 않으므로 보강효과가 크지 않았다.

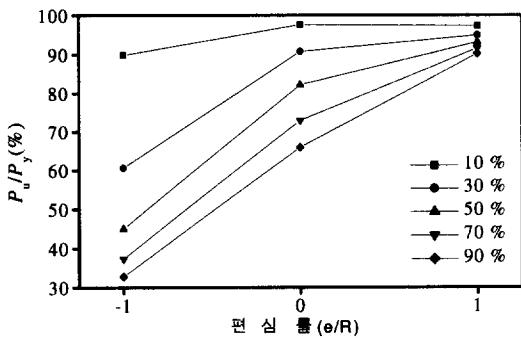


그림 8(a). 횡력비-편심률에 따른 최대내력(보강무)

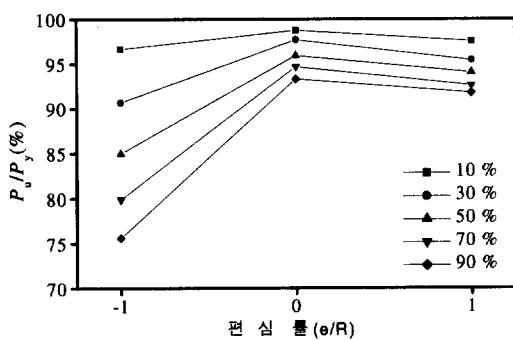


그림 8(b). 횡력비-편심률에 따른 최대내력(보강유)

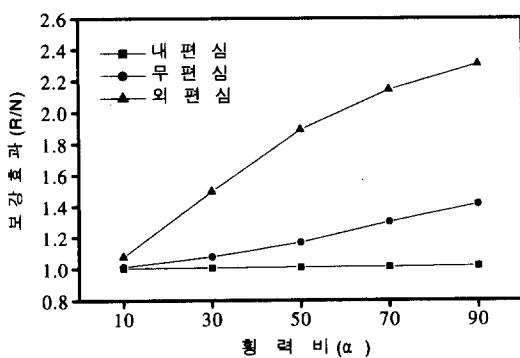


그림 9. 횡력비-편심률에 따른 보강효과

4.2.2 가셋트 길이(B)에 따른 보강효과

리브로 보강한 강관 접합부에서 가셋트 길이에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 표 7과 같이 시험체를 계획하여 유한요소 해석을 수행하였다.

여기에서 편심률은 무·내편심의 두 경우만을 고려하였고, 보강효과를 파악하기 위하여 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체로 구분하였다. 또한 모든 해석시험체에 대하여 횡력비 30%, 폭두께비 51.1로 동일하게 적용하였으며 가셋트 길이를 변화시켜 총 20개의 해석시험체를 계획하였다.

표 7에는 유한요소해석에 의한 최대내력값을 나타내었고, 가셋트길이에 따른 각 시험체의 최대내력과 보강효과를 그림 10~11에 나타내었다.

그림 10과 같이 내편심의 보강하지 않은 시험체와 보강한 시험체, 무편심의 보강한 시험체가

표 7. 가셋트 길이에 따른 해석결과

Name	N_y (tf)	N_r (tf)	N_r/N_y N(%)	Name	N_y (tf)	N_r (tf)	N_r/N_y R(%)	R/N
NIB10	11.682	10.776	92.24	RIB10	11.682	10.838	92.78	100.58
NIB16	11.682	10.963	93.84	RIB16	11.682	11.025	94.38	100.57
NIB20	11.682	11.087	94.91	RIB20	11.682	11.150	95.44	100.56
NIB26	11.682	11.243	96.24	RIB26	11.682	11.305	96.78	100.55
NIB30	11.682	11.368	97.31	RIB30	11.682	11.368	97.31	100.00
NCB10	11.682	6.017	51.50	RCB10	11.682	10.905	93.35	181.25
NCB16	11.682	9.623	82.37	RCB16	11.682	11.304	96.77	117.48
NCB20	11.682	10.607	90.80	RCB20	11.682	11.414	97.70	107.60
NCB26	11.682	11.117	95.17	RCB26	11.682	11.429	97.83	102.80
NCB30	11.682	11.273	96.50	RCB30	11.682	11.491	98.37	101.93

* NIB10 - 가셋트길이(10:10cm, 16:16cm...)

— 편심접합 (I:내편심, C:무편심)

— 보강유무 (N:보강무, R:보강유)

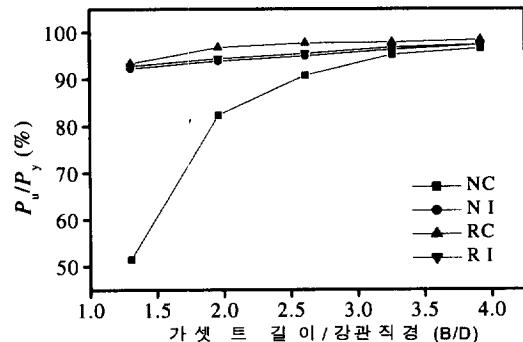


그림 10. 가셋트 길이에 따른 최대내력

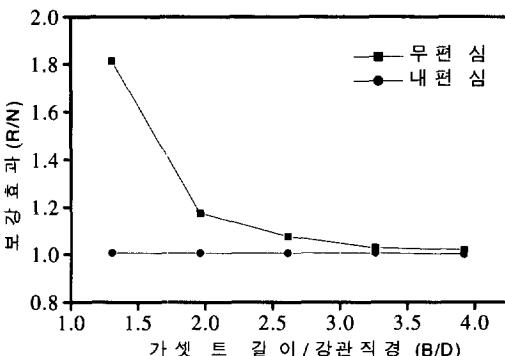


그림 11. 가셋트 길이에 따른 보강효과

가셋트 길이변화에 관계없이 유사한 내력을 보임을 알 수 있었다. 하지만 무편심의 경우에는 가셋트 길이가 작아질수록 동일한 크기의 횡력에 대한 관벽모멘트의 영향이 커지므로 보강하지 않은 시험체의 내력저하가 심해지며, 이를 리브플레이트로 보강할 경우 그림 11과 같이 가셋트 길이가 작아질수록 보강효과가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 내편심의 경우에는 접합부에 관벽모멘트가 발생하지 않으므로 보강효과가 거의 없음을 알 수 있었다.

4.2.3 강관직경(D), 강관두께(t)에 따른 보강 효과

리브로 보강한 강관접합부에서 강관직경 및 강관두께에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 표 8과 같이 해석시험체를 계획하였다. 무·내편심의 모든 해석시험체에 대하여 횡력비는 30%, 가셋트 길이는 20cm로 동일하게 적용하였으며, 강관직경 및 강관두께를 변화시켜가며 유한요소 해석을 수행하였다.

표 8에는 유한요소해석에 의한 최대내력값을 나타내었고, 이를 무차원화하여 그림 12에 나타내었다. 그림 12와 같이 보강하지 않은 시험체의 경우 강관직경이 증가함에 따라 같은 크기의 횡력에 대하여 관벽모멘트가 크게 증가하고 폭두께비(D/t)의 증가로 인한 단면의 국부좌굴 내력이 감소하므로 접합부 내력이 크게 저하되었다. 또한

표 8. 강관직경 및 강관두께에 따른 해석결과

t	Name	N_y	N_t	N_y/N_t	Name	N_y	N_t	N_y/N_t	R/N (%)
		(tf)	(tf)	N(%)		(tf)	(tf)	R(%)	
0.10	NCD6	6.22	5.78	93.0	RCD6	6.22	6.13	98.5	105.95
	NCD8	8.29	6.03	72.8	RCD8	8.29	7.88	95.0	130.57
	NCD10	10.36	5.03	48.6	RCD10	10.36	9.50	91.7	188.82
	NCD12	12.43	4.16	33.4	RCD12	12.43	11.03	88.7	265.41
	NCD14	14.30	3.59	25.1	RCD14	14.30	12.35	86.4	344.35
0.12	NCD6	7.46	7.09	95.1	RCD6	7.46	7.38	98.9	103.96
	NCD8	9.95	8.06	81.1	RCD8	9.95	9.53	95.8	118.22
	NCD10	12.43	6.97	56.1	RCD10	12.43	11.50	92.5	165.02
	NCD12	14.92	5.81	39.0	RCD12	14.92	13.41	89.9	230.65
	NCD14	17.20	5.05	29.4	RCD14	17.20	15.03	87.4	297.53
0.15	NCD6	9.33	9.03	96.9	RCD6	9.33	9.22	98.9	102.08
	NCD8	12.43	10.88	87.5	RCD8	12.43	12.07	97.0	110.92
	NCD10	15.54	10.06	64.8	RCD6	15.54	14.63	94.1	145.34
	NCD12	18.65	8.72	46.8	RCD8	18.65	17.00	91.2	194.98
	NCD8	21.45	7.64	35.6	RCD8	21.45	19.08	89.0	249.80
0.15	NID6	9.33	8.97	96.2	RID6	9.33	9.00	96.5	100.35
	NID8	12.43	11.85	95.3	RID8	12.43	11.91	95.8	100.53
	NID10	15.54	14.69	94.5	RID10	15.54	14.82	95.3	100.85
	NID12	18.65	17.50	93.8	RID12	18.65	17.69	94.8	101.07
	NID8	21.45	19.96	93.0	RID14	21.45	20.18	94.1	101.09

* NID6: 강관직경(6.6cm, 8.8cm...)

□ 편심접합 (I:내편심, C:무편심)

■ 보강유무 (N:보강무, R:보강유)

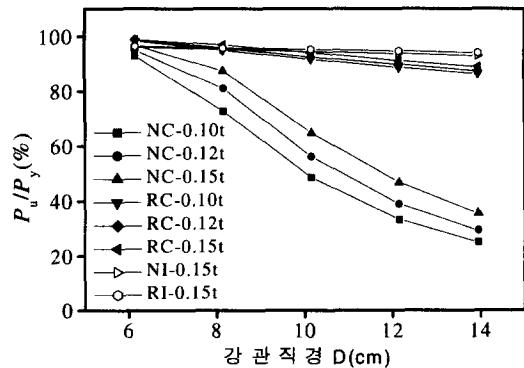


그림 12. 강관직경 및 강관두께 따른 보강효과

동일한 강관직경에 대하여 강관두께가 감소함에 따라 강관의 단면계수 및 단면의 국부좌굴 내력이 감소하여 접합부 내력이 저하되었다. 하지만 가셋트 상하단부를 리브 플레이트로 보강할 경우 그림 12와 같이 강관직경에 따른 내력저하를 보이지 않으므로 그림 13과 같이 강관직경이 증가함에

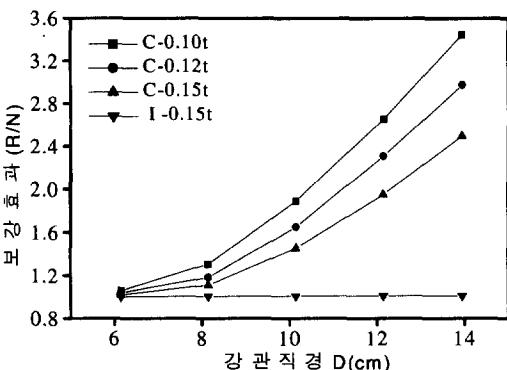


그림 13. 강관직경 및 강관두께 따른 보강효과

따라 보강효과가 크게 증가하였다. 그러나 내편심의 경우 관벽모멘트가 발생하지 않으므로 강관직경에 관계없이 유사한 내력을 보였다.

4.3 접합부의 합리적 보강방법 고찰

이상에서는 여러 가지 변수에 대하여 보강효과를 파악하여 각 변수에 따른 접합부 보강의 필요성에 대하여 알아보았다. 4.3절에서는 보강을 하는 경우에 있어서 합리적인 보강방법을 제시하기 위하여 보강각도, 리브 플레이트의 높이, 두께, 개수를 변화시켜 표 9와 같이 시험체를 계획하여 유한요소해석을 수행하였다. 그림 14는 시험체의 형상을 나타낸 것이다.

4.3.1 원주방향 보강각도(θ)에 따른 영향

강관 원주방향의 리브 플레이트의 보강각도에 따른 영향을 파악하기 위하여 원주방향에 대해 60° , 90° , 120° , 180° , 360° 로 보강각도를 변화시켜 유한요소해석을 수행하였다. 모든 시험체에 대하여 폭·두께비는 51.1, 가셋트 길이는 20cm로 적용하였으며 횡력비가 30, 70%인 경우에 대하여 고려하였다.

그림 15는 강관의 원주방향으로의 보강율에 따른 접합부의 보강효과를 나타낸 것이다. 리브의 보강각도가 증가할수록 보강효과가 증가하였으며 횡력비가 클수록, 즉, 관벽모멘트의 영향이 클수록

표 9. 보강방법에 따른 해석결과

Name	N_r/N_y %	Name	N_r/N_y %	Name	N_r/N_y %
RC θ 0-3	90.80	RC θ 0-7	72.92	RI θ 0-3	94.91
RC θ 6-3	96.37	RC θ 6-7	92.27	RI θ 6-3	95.18
RC θ 9-3	97.70	RC θ 9-7	94.69	RI θ 9-3	95.44
RC θ 12-3	98.50	RC θ 12-7	96.41	RI θ 12-3	95.71
RC θ 18-3	98.76	RC θ 18-7	98.49	RI θ 18-3	95.98
RC θ 36-3	98.76	RC θ 36-7	98.83	RI θ 36-3	96.24
RCN0-3	90.80	RCN0-7	72.92	RIN0-3	94.91
RCN2-3	97.70	RCN2-7	94.69	RIN2-3	95.44
RCN3-3	98.23	RCN3-7	96.76	RIN3-3	95.71
RCN4-3	98.50	RCN4-7	97.45	RIN4-3	95.71
RCN5-3	98.50	RCN5-7	97.45	RIN5-3	95.71
RCH0-3	90.80	RCH0-7	72.92	RIH0-3	94.91
RCH1-3	97.17	RCH1-7	93.30	RIH1-3	95.44
RCH2-3	97.70	RCH2-7	94.34	RIH2-3	95.44
RCH3-3	97.71	RCH3-7	94.34	RIH3-3	95.45
RCH5-3	97.71	RCH5-7	94.34	RIH5-3	95.45
RCH7-3	97.71	RCH7-7	94.34	RIH7-3	95.45
RCT0-3	90.80	RCT0-7	72.92	RITE0-3	94.91
RCT0.15-3	97.17	RCT0.15-7	93.30	RITE0.15-3	95.44
RCT0.3-3	97.44	RCT0.3-7	94.00	RITE0.3-3	95.44
RCT0.5-3	97.70	RCT0.5-7	94.69	RITE0.5-3	95.45
RCT1.0-3	98.16	RCT1.0-7	95.72	RITE1.0-3	95.45
RCT1.2-3	98.16	RCT1.2-7	96.07	RITE1.2-3	95.45
RCT1.5-3	98.16	RCT1.5-7	96.07	RITE1.5-3	95.45

* RC θ 6-3 - 축력에 대한 수직분력비(3:30%, 7:70%...)

└ (θ = 6:60°, 9:90° H = 1:1cm, 2:2cm....)

└ (θ:보강각도, N:보강개수, H:보강높이, T:보강두께)

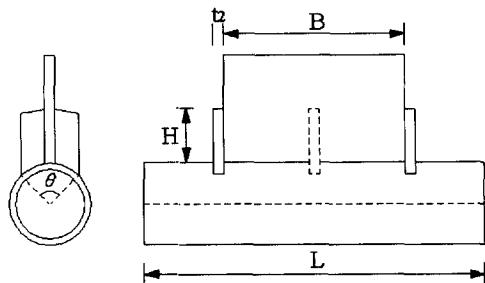


그림 14. 시험체 형상

보강각도가 증가함에 따른 보강효과의 증가율도 크게 나타났다. 그러나 본 연구에서 설정된 형상 및 크기의 접합부에 축력과 횡력이 작용하는 경우에 대해서는 응력이 집중되는 접합부를 1/3 이상

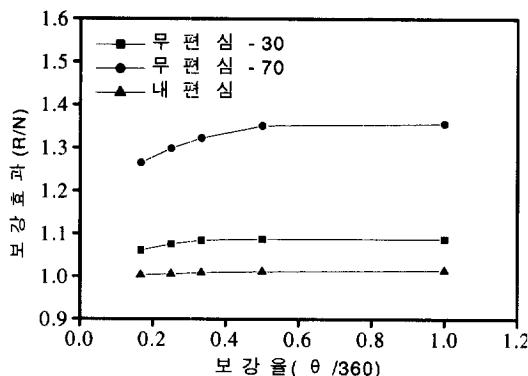


그림 15. 보강율에 따른 보강효과

보강하면 보강각도에 따른 보강효과는 크게 증가하지 않음을 알 수 있었다.

4.3.2 보강판의 개수에 따른 영향

보강판의 개수가 증가함에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 보강판의 개수를 2, 3, 4, 5개로 증가시키면서 무·내편심에 대하여 유한요소해석을 수행하여 그 결과를 그림 16에 나타내었다. 이때 모든 시험체에 대하여 폭두께비(D/t)는 51.1, 가셋트 길이 20cm, 횡력비 30, 70%를 적용하였다.

횡력비가 큰 경우에는 리브개수가 증가함에 따라 보강효과가 미소하게 증가하였으나, 횡력비가 작은 경우에는 보강효과가 거의 증가하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설정된 범위의 접합부에 대해서는 관벽모멘트에 의해서 가셋트 상·하단부에 응력이 집중되므로, 가셋트플레이트의 상·하단부만을 각각 보강하는 경우에 비하여 추가적인 보강판에 의한 보강효과의 증가가 미소하므로 부가적인 보강판은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

4.3.3 보강판의 높이(H)에 따른 영향

보강판의 높이에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 모든 해석시험체에 대하여 폭두께비는 51.1, 가셋트 길이는 20cm로 하였으며 횡력비가 30, 70%인 경우에 대하여 높이를 1, 2, 3, 5,

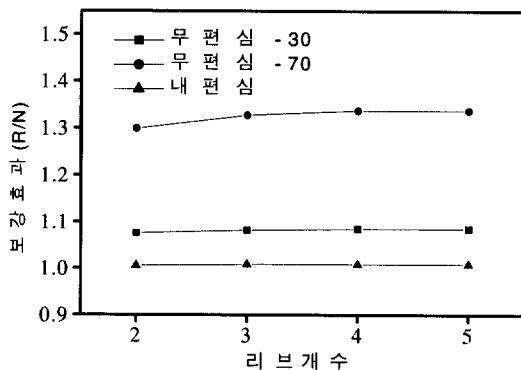


그림 16. 리브 개수에 따른 보강효과

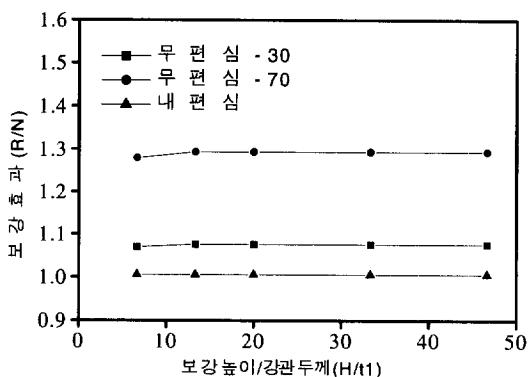


그림 17. 리브의 높이에 따른 보강효과

7cm로 변화시켜가며 유한요소 해석을 수행하였다.

리브 플레이트의 높이에 따른 보강효과를 그림 17과 같이 강관두께에 대한 비율로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 횡력비가 큰 경우에는 리브의 높이가 증가함에 따라 보강효과가 미소하게 증가하였으나 횡력비가 작은 경우에는 보강효과가 거의 증가하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설정된 범위의 접합부에 대해서는 강관 두께에 대한 보강플레이트 높이의 비(H/t_1)가 13.33이상만 확보되면 보강판에 의한 보강효과 발현에 문제가 없으므로 시공성을 고려하여 적정 높이로 설정하여 주면 될 것으로 판단된다.

4.3.4 보강판의 두께(t_2)에 따른 영향

보강판의 두께에 따른 보강효과를 파악하기 위하여 리브의 두께를 0.15, 0.3, 0.5, 1.0, 1.2,

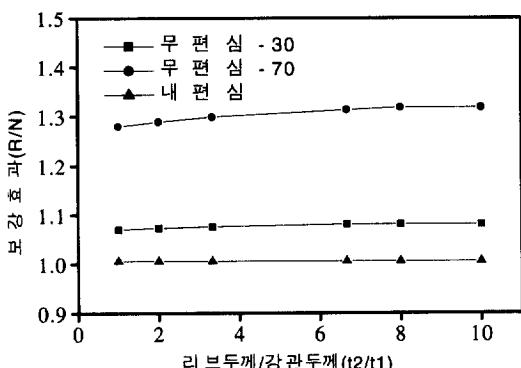


그림 18. 리브의 두께에 따른 보강효과

1.5cm로 하여 무·내편심에 대하여 해석시험체를 계획하였다. 모든 시험체에 대하여 폭두께비는 51.1, 가셋트 길이는 20cm로 적용하였으며, 횡력비가 30, 70%인 경우에 대하여 고려하였다.

리브두께에 따른 보강효과를 그림 18과 같이 강관두께에 대한 비율로 나타내었다. 그림과 같이 횡력비가 큰 경우 보강판의 두께가 증가함에 따라 보강효과가 미소하게 증가하였으나 횡력비가 작은 경우에는 보강효과가 거의 증가하지 않는 것을 볼 수 있었다.

5. 결 론

축력 및 횡력을 받는 리브 플레이트로 보강된 K형 가셋트-강관 접합부 보강효과 및 합리적 보강방법에 대하여 축소모형실험과 유한요소해석을 수행하여 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 설정된 유한요소해석 모형에 대한 해석결과와 실험에 의한 최대내력 오차는 5%미만이고, 각 변수에 따른 거동과 변형률분포, 파괴모드가 잘 일치하므로 유한요소해석에 의한 리브로 보강된 강관접합부의 최대내력추정 및 거동파악이 가능함을 알 수 있었다. 또한 시험체의 파괴성상은 보강에

의한 응력재분배효과로 가셋트 하단부의 국부적인 응력집중이나 국부소성변형 정도가 완화되었고 이에 따라 내력상승효과가 발생함을 알 수 있었다.

- (2) 횡력비가 클수록 보강효과 커지며, 보강된 접합부의 경우엔 횡력비에 따른 내력차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 내편심의 경우는 접합부에 관벽모멘트가 발생하지 않으므로 횡력비에 관계없이 보강효과가 매우 작았으며, 무·내편심의 보강된 접합부의 경우엔 횡력비에 따른 내력차이가 크지 않음을 알 수 있었다.
- (3) 무편심의 경우에는 가셋트 길이가 작아질수록 관벽모멘트의 영향이 크므로 리브로 보강할 경우 보강효과가 증가하였고, 보강된 접합부의 경우는 가셋트 플레이트 길이에 따른 내력차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 강관직경이 증가할수록 모멘트내력이 저하되므로 보강효과가 크게 증가하였으며 강관두께가 감소할수록 보강효과의 증가비율은 더욱 크게 나타났다.
- (4) 강관의 원주방향으로의 보강율이 증가할수록 보강효과가 증가하지만 본 연구에서 설정된 범위의 접합부에 대해서는 $1/3$ 이상만 보강하면 큰 차이는 없음을 알 수 있었다. 또한 보강판의 개수가 증가함에 따라 보강효과가 증가하기는 하지만 응력집중현상이 발생하는 가셋트 상·하단부만을 보강하는 경우에 비하여 보강효과의 증가가 미소하므로 추가적인 보강판은 필요하지 않을 것으로 판단된다.
- (5) 리브의 높이가 증가하여도 H/t_1 이 13.33 이상만 확보되면 이에 따른 보강효과의 증가는 미소하였고, t_2/t_1 이 3.33이상만 확보되면 리브의 두께 증가에 따른 보강효과 증가도 미소하였다. 따라서 향후 진행될 실용설계식 제안에 있어서 이에 따른 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김우범 외, "K형 강관 접합부의 보강효과에 관한 해석적 연구", 한국강구조학회 학술발표 논문집, 2001. 6.
2. 김우범 외, "리브로 보강된 가셋트-강관 접합부에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, 2001. 4.
3. 김우범 외, "가셋트 플레이트를 부착한 원형강관 접합부에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 1997. 3
4. 한국전력공사, "765KV급 송변전용 철탑 설계 및 제조기술 개발에 관한 연구", 1990.
5. 현대철탑산업 주식회사, "765KV 송전용 강관 철탑 설계에 관한 연구", 1990.
6. 대한건축학회, "강관구조 설계기준 및 해설" 1998.
7. 日本建築學會, "鋼管構造設計指針 同解說", 1990.
8. 日本鋼構造學會, "Experimental Study on Strength of Joint in Steel Tubular Structures", 1974. 6
9. Susan Saeko, "Experimental study on strength of tubular steel structures", Journal of Japanese Society of Steel Construction, 1973
10. Kurobane, Y, "New Developments and Practices in Tubular Joint Design", International Institute of Welding, Annual Assembly, Doc XV-488-81, 1981
11. ABAQUS user's Manual(Version 5.8), HKS Inc

(접수일자 : 2001년 9월 19일)