

◎ 論 文

# 해양構造物 圓筒部材의 最終強度에 對한 損傷의 影響

白 点 基\* · 辛 柄 任\*\*

(1989年 10月 31日 접수)

## Damage Effects on the Ultimate Strength of Offshore Tubular Members

Jeom K. Paik\* and Byung C. Shin\*\*

Key Words : Ultimate Strength(最終強度), Tubular Member(圓筒部材), Local Dent(局部損傷), Bending Damage(굽힘損傷), Combined Load(組合荷重)

### Abstract

In this paper, a detail evaluation of ultimate strength of offshore unstiffened tubular members with bending and local denting damage which are subjected to combined axial force and bending moment and to component load is presented through theoretical and experimental approaches. Based upon the results obtained here, the damage effect on the ultimate strength of tubular member under combined loads and component load is investigated.

### 1. 序 論

해양 石油試錐船을 구성하는 원통부재는 운항중에 파랑등으로부터 발생되는 각종 조합하중을 받는다. 이를테면, 파랑하중등이 작용하여 구조물이 전체적으로 변형하게 되면 구성부재에는 축 방향의 내력과 굽힘모멘트가 발생한다.

이들 힘의 크기가 비교적 작은 범위내에 있을 때에는 파손이 일어나지 않으나, 극단적으로 큰 힘이 작용하게 되면 원통부재는 좌굴 또는 소성발생과 함께 더 이상의 외력에 견디지 못하는 限界強度상태에 도달한다. 선체구조와 같은 판구조물에 비해 해양 석유시추선과 같이 不靜定度(redun-

dancy)가 작은 骨組構造物에 있어서는 구성부재가 한계상태에 도달하면 구조물 내부의 내력 재분포가 극심하게 일어나고 타 부재의 거동에도 큰 영향을 미치게 되어 구조물이 전체적으로 붕괴할 위험성이 높다.

따라서, 해양 석유시추선의 안전성을 평가하고 합리적인 구조설계를 수행함에 있어서 기본적으로 해야할 일중의 하나는 이들 구조물을 구성하는 원통부재가 각종 조합하중을 받는 경우의 최종강도를 계산하는 것이다. 더욱이, 운항중인 해양 석유시추선의 원통부재에는 보급선의 충돌이나 갑판으로부터의 중량물 낙하등으로 인하여 손상을 일으키는 충돌사고가 빈번히 일어나고 있으며, 그결과 원통부재에는 굽힘손상과 국부손상이 생기게 되고

\* 正會員, 釜山大學校 工科學科 造船工學科

\*\* 正會員, 韓國海洋技術研究所 船體構造室

이들 손상은 부재의 최종강도에 큰 영향을 미치므로 이들의 영향도 고려하여 최종강도를 평가하여야 한다.

지금까지 손상을 가진 원통부재의 최종강도에 관한 이론적, 실험적 연구가 다수 수행되어 왔다<sup>1)</sup>. 그러나, 기존의 연구에서는 주로 순수 축 압축력<sup>2)~5)</sup> 또는 순수 굽힘모멘트<sup>6)</sup>를 받는 경우만을 대상으로 하고 있으며, 조합하중을 받는 경우에 대한 연구결과는 드물다<sup>7)~9)</sup>.

이상의 관점에서 본 연구에서는 굽힘 및 국부손상을 가진 해양구조물의 원통부재가 축력, 굽힘모멘트 및 이들의 조합하중을 받는 경우의 최종강도를 이론적 및 실험적 방법으로 상세히 평가하고, 이들 결과를 바탕으로 단위성분 하중 뿐 아니라 조합하중을 받는 원통부재의 최종강도에 관한 손상의 영향을 검토하고자 한다.

한편, 수면하에 위치한 원통부재에는 일정한 수압이 작용하고 있으며, 이것도 부재의 최종강도를 저하시키는 요인이 되기도 하지만, 수심이 비교적 얇은 곳에서 조업하는 경우나, 충돌이 주로 발생하는 수면 근처에 위치한 부재의 경우 수압의 크기가 비교적 작으며, 이들이 부재의 최종강도에 미치는 영향은 일반적으로 작다고 생각되므로 본 연구에서는 수압의 영향을 고려하지 않기로 하였다.

## 2. 數值解析 理論의 概要

본 연구에서는 저자들이 정식화한 탄소성 유한요소해석이론<sup>10)</sup>을 적용하여 손상원통부재의 최종강도를 해석하였다.

이 방법에서는 손상 원통부재를 보-기둥 (beam-column) 요소로 모델링하고, 각 요소양단의 원통 중앙부에 절점을 설정한다. 또한, 요소의 강성행렬은 각 절점에 6개의 자유도를 부여하여 updated Lagrangian 기법을 적용하여 계산한다. 여기서, 국부손상이 존재하는 부분은 별도의 보-기둥 요소로 모델링하며, 이 요소의 강성행렬 계산시에는 손상부위의 강성은 미소하므로 무시하고 굽힘손상은 초기처짐으로서 다룬다. 한편, 소성화의 진전에 따른 요소의 탄소성 강성행렬은 소성절점법<sup>11)</sup>을 적용하여 도출한다.

## 3. 最終強度 實驗의 概要

여기서는 조합하중을 받는 손상 원통부재의 최종강도 상관관계를 검토하기 위하여 26개의 손상 원통부재를 대상으로, 주로 국부손상의 크기를 변화시켜 수행한 최종강도 실험의 개요를 설명한다.

### 3.1 試驗體 概要

본 실험에 사용된 원통부재는 KSD 3566 SPS41 규격에 따라 제작된 일반 구조용 강관으로서 공칭 외경은 114.3mm, 공칭두께는 2.8mm와 3.0mm 두 종류이며, 실측한 시험체의 치수와 재료적 특성들은 Table 1에 주어져 있다.

시험체 외경은 시험체 1개당 길이방향으로 5군데, 원주방향으로 8군데에서 vernier caliper를 이용하여 측정하였으며, 원통벽의 두께는 micrometer를 이용하여 양단에서 8군데씩 측정하여, 이들은 평균값을 각각 취하였다.

시험체에 인위적인 손상을 일으키기 전의 원통부재에 존재하는 초기처짐의 크기는 Fig. 1에 나타내고 있는 바와 같이 부재길이에 걸쳐 균등하게 설치된 6개의 dial gage를 이용하여 측정하였으며, 초기처짐의 최대치는 부재 전체길이의 0.05% 이하였다.

시험체의 재료특성을 파악하기 위하여, 부재 1개당 2개의 인장시험편을 ASTM A319규정에 따라 채취/가공하여 인장시험을 수행하였다. 재료의 항복응력은 0.2% 잔류 인장변형률을 기준으로 추정하였으며, 탄성계수는 응력-변형률 관계곡선의 초기경사로부터 구하였다(Table 1).

본 연구의 시험체 양단에는 실험장치에 시험체를 용이하게 설치할 수 있도록 하고, 실험장치의 하중 중심선과 시험체의 중심선을 항상 일치시켜 부가적인 편심하중이 생기지 않도록 하기 위하여 플랜지를 용접에 의해 부착하였다.

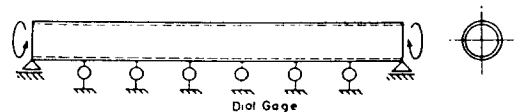


Fig. 1 Initial deflection measurement of tubular member prior to damage formation

Table 1 Result of ultimate strength test for damaged tubular member

Specimen No <sup>(*)</sup>	Angle of comb. $\theta^{(2)}$ (Deg.)	Outer dia. D (mm)	Thick. t (mm)	Length L (mm)	Young's modulus E <sup>(*)</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield stress $\sigma_0^{(3)}$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	Max. bending deform. $w_0/L$	Dent depth $D_d/D$	Indentor length $L_i^{(4)}$ (mm)	Dent position $L_p/L$	Ultimate strength	
											P <sub>u</sub> /P <sub>p</sub>	M <sub>u</sub> /M <sub>p</sub>
											Exp.	Theory
A1		114.30	2.74	2167.	22,000	31.88	0.0008	0.0744	0.0	0.5	0.743	0.638
A2		114.00	2.76	2167.	22,000	31.88	0.0003	0.1211	0.0	0.5	0.647	0.603
A3		114.20	2.72	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.1760	0.0	0.5	0.564	0.547
A4		114.40	2.73	2167.	22,000	31.88	0.0006	0.2312	0.0	0.5	0.443	0.448
A5		114.30	2.77	2168.	22,000	31.88	0.0002	0.1251	50.0	0.5	0.676	0.600
A6		114.20	2.77	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.1160	100.0	0.5	0.705	0.606
A7		114.30	2.72	2166.	22,000	31.88	0.0002	0.1251	150.0	0.5	0.676	0.594
A8		114.20	2.72	2166.	22,000	31.88	0.0004	0.1225	200.0	0.5	0.687	0.579
A9		114.00	2.75	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.1211	0.0	0.6154	0.635	0.606
A10		114.00	2.75	2170.	22,000	31.88	0.0006	0.1208	0.0	0.7314	0.687	0.600
A11		114.00	2.75	2166.	22,000	31.88	0.0002	0.1228	0.0	0.8459	0.720	0.605
B1		113.80	2.77	2167.	22,000	31.88	0.0009	0.0000	0.0	0.5	0.932	0.944
B2		113.95	2.74	2167.	22,000	31.88	0.0001	0.0075	0.0	0.5	0.862	0.846
B3		114.20	2.93	2167.	22,000	31.88	0.0011	0.1243	0.0	0.5	0.768	0.722
B4		114.30	2.73	2167.	22,000	31.88	0.0001	0.1759	0.0	0.5	0.687	0.633
B5		114.30	2.93	2167.	22,000	31.88	0.0004	0.0744	0.0	0.5	-0.977	-0.969 <sup>(5)</sup>
B6		114.00	2.73	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.1230	0.0	0.5	-0.930	-0.954
C1	25	113.80	2.75	2166.	22,000	31.88	0.0002	0.0747	0.0	0.5	0.251	0.271
C2	45	113.80	2.73	2166.	22,000	31.88	0.0002	0.0721	0.0	0.5	0.407	0.413
C3	75	113.90	2.75	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.0746	0.0	0.5	0.625	0.660
C4	135	114.00	2.77	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.0746	0.0	0.5	0.483	0.470
C5	25	114.30	2.73	2167.	22,000	31.88	0.0008	0.1207	0.0	0.5	0.230	0.238
C6	45	114.05	2.72	2167.	22,000	31.88	0.0011	0.1210	0.0	0.5	0.353	0.337
C7	75	113.80	2.76	2167.	22,000	31.88	0.0005	0.1213	0.0	0.5	0.538	0.525
C8	115	113.90	2.75	2167.	22,000	31.88	0.0002	0.1212	0.0	0.5	0.789	0.590
C9	135	113.80	2.73	2167.	22,000	31.88	0.0003	0.1204	0.0	0.5	0.454	0.444

\* 1) A Series : pure compression

B Series : pure bending moment

C Series : combined loading

\* 2)  $\theta$  : prescribed loading ratio(=  $\tan(P/M * M_p/P_p)$ )

\* 3) E,  $\sigma_0$  : mean value obtained from every tension specimen

\* 4) L<sub>i</sub> : length of local dent

\* 5) negative sign(-) denotes that end moment is applied in the negative direction.

3.2 損傷發生裝置

본 실험에서는 해양구조물의 손상형태 중 국부 손상에 주목하고 있다. 원통부재에 국부손상을 발생시키기 위한 시험장치는 Fig. 2에 나타내고 있는 바와 같이 강체의 받침대 위에 시험체를 올려놓고, actuator에 부착된 indenter를 통하여 원하는 크기의 손상이 발생할 때까지 하중을 작용시킨다. 특히, 강체의 받침대는 본 저자들이 수행한 참고문헌<sup>12)</sup>의 연구결과를 바탕으로 손상부 단면이 실제의 손상형태를 유지할 수 있도록 적절한 곡률을 가진 초승달 모양의 특수 가공품이다.

원통부재에 국부손상만을 생성시킬 경우도 손상부 단면에서 불균일한 변형률이 생겨 전체 굽힘손상이 발생하게 된다. 따라서, 본 실험의 목적상 이를 가능한 한 억제하기 위하여 가장 큰 초기처짐이 생기는 부분의 반대편에 국부손상을 발생시켜 원래의 초기처짐이 상쇄되도록 하였으며, 원통부재 양단에 부착된 플랜지에 물려 지지력을 하여 전체적인 굽힘변형이 생기지 않도록 하였다.

손상이 생성된 후의 시험체 측면형상은 개략적으로 Fig. 3에 나타내고 있는 바와 같으며, 국부손상의 크기는 원래의 외경에서 Fig. 3의  $D_{min}$ , 즉 손상부 단면의 최소외경을 뺀 값으로 정의한다. 또한, 굽힘손상의 크기는 시험체를 동일 평면의 V형 블록위에 놓고 시험체 양단을 기준으로 손상부와 그 반대편의 높이를 엄밀하게 측정하였으며 Fig. 3의 굽힘손상  $W_{01}$ 은 측정된 값에서 국부손상의 깊이를 뺀 값이며, 굽힘손상  $W_{02}$ 는 측정치 그대로이다. 이들은 국부손상 깊이에 따라 다소의 차이는 있으나, 대략  $0.1mm \sim 0.6mm$  정도였다. 본 실험에서는 이들 중 굽힘손상  $W_{01}$ 을 전체 굽힘손상으로 규정하였다(Table 1).

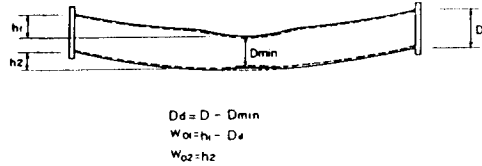


Fig. 3 Side view of tubular member with local denting damage

3.3 最終強度 實驗裝置 및 荷重作用 方法

본 실험장치는 순수 축 압축력, 순수 굽힘모멘트 및 이들이 임의 성분비를 유지하면서 동시에 작용하는 조합하중 상태에서 각각 원통부재의 최종 강도 거동을 평가할 수 있는 것으로서, 하중장치는 25ton actuator를 사용하였다. Fig. 4에는 실험장치의 개략적인 구성도를 나타내고 있다.

시험체는 2개의 actuator hinge 사이에 설치하여 양단 단순지지의 경계조건이 되도록 하였다. 또한, 축력과 굽힘모멘트 크기 및 이들의 성분비를 조절, 계측하기 위하여 2개의 load cell(L/C)을 설치하였고, 시험체의 축 방향 변형량은 actuator에 내장된 LVDT를 통하여 측정하였으며, 시험체의 횡방향 처짐은 국부손상 위치의 상하에 2개의 DCDT를 설치하여 측정하였다. 다음으로, 하중작용 방법은 다음과 같은 과정을 거쳐 원하는 크기의 하중 및 굽힘모멘트를 작용시켰다.

(1) 純粹 軸 壓軸力

축 압축력  $P$ 는 L/C-A가 부착된 actuator를 이용하여 변위제어 방법으로 작용시켰으며, 변위증분은  $D/A$  변환의 최소단위인 초당  $0.05mm$ 이다. Fig. 4에 보인 것과 같이 본 실험장치의 특성상 시

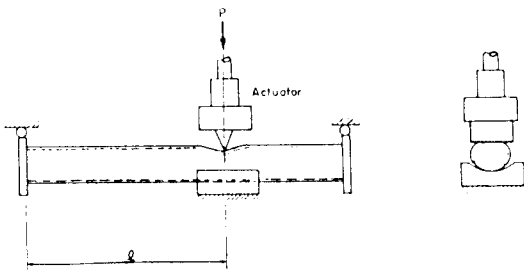


Fig. 2 Damage formation of tubular member prior to experiment

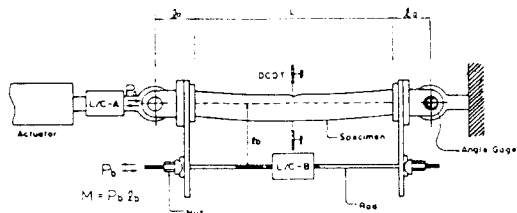


Fig. 4 Experimental apparatus for the ultimate strength of damaged tubular member under various loading conditions

험체 단부와 hinge와의 거리  $l_a$ 가 시험체 전체길이의 4% 정도로서, 좌굴하중 근방에서는 처짐의 증가와 함께 상당한 크기의 굽힘모멘트가 발생할 가능성이 있다. 따라서, 본 실험에서는 L/C-B가 연결된 강봉의 볼트를 죄면 편심 축 하중  $P_b$ 가 작용하여 시험체 단부에 가해지는 굽힘모멘트가 항상 0이 되도록 조절하며, 이때 축력의 크기는 L/C-A와 L/C-B에서 각각 계측된 크기의 합으로 주어진다. 한편, 실제 실험시에는 부가 굽힘모멘트의 값이  $\pm 5 \text{ ton} \cdot \text{mm}$ (시험체의 전단면 소성모멘트의 약 0.5%) 이하가 되도록 제어하였다.

(2) 純粹 굽힘모멘트

굽힘발생 강봉에 부착된 너트를 체결함으로써 발생하는 하중  $P_b$ 에 의하여 굽힘모멘트가 발생하도록 하였으며, 순수 굽힘모멘트가 작용되도록 하기 위하여 Fig.4에 나타내는 L/C-B를 통하여 계측된 하중  $P_b$ 와 크기가 같으나 부호가 반대인 축 하중이 actuator에 자동적으로 작용하도록 하였다. 따라서, 시험체에 작용하는 축 압축력은 항상 0이 되며, 이 경우의 굽힘모멘트는 다음과 같이 나타내어진다.

$$M = P_b l_b \sin\theta - P_a l_a \cos\theta$$

- 여기서,  $P_a$  : 중심하중(actuator 작용력)
- $P_b$  : 편심하중
- $l_a$  : 시험체 단부와 hinge와의 거리
- $l_b$  : 편심하중선과 시험체 중심선과의 거리
- $\theta$  : hinge에서의 회전각

한편, hinge에서의 회전각은 actuator의 hinge 중심에 각도계(rotation potentiometer)를 설치하여 측정하였다.

(3) 軸 壓軸力 및 굽힘모멘트의 組合荷重

이 경우는 순수 축 압축력과 순수 굽힘모멘트의 하중 작용방법이 복합된 것으로서 하중 초기단계에서부터 최종강도후까지 사전에 설정된 축 압축력과 굽힘모멘트의 성분비가 일정하게 유지되도록 하였다. 즉, Fig.5에 나타낸 바와 같이 먼저 변위 제어 방법으로 축 압축변위를 0.05mm 간격으로 증가시키고, 주어진 하중성분비  $\alpha$ (Fig.5 참조)를 만족할 때까지 굽힘 발생용 강봉의 너트를 죄거나 풀어 굽힘모멘트를 작용시키는 과정을 반복적으로 수행한다.

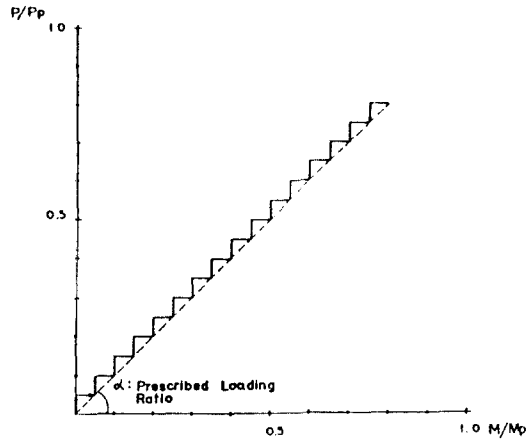


Fig. 5 Load increment method for the experiment of damaged tubular member under combined loading condition

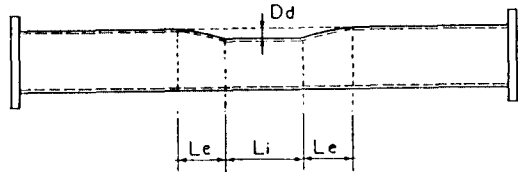


Fig. 6 Geometry of dented region of tubular member

3.4 實驗種類

합계 26개의 손상 원통부재에 대한 실험을 종류별로 분류하면 다음과 같으며, 그 결과는 Table 1에 수치해석의 결과와 대비하여 나타냈다.

- 하중종류
  - 순수 축 압축력 : 11 시험체
  - 순수 굽힘모멘트 : 6시험체
  - 조합하중 : 9시험체
- 국부손상깊이 ( $D_d/D$ ) : 0.071~0.231(4종류)
- 국부손상의 편평부길이( $L_i/D$ )(Fig. 6참조) : 0.0~1.751(5종류)
- 국부손상위치( $L_w/L$ ) : 0.5(중앙)~0.846(4종류)

4. 數值解析 및 實驗結果

본 연구에서는 2절 및 3절에서 설명한 수치해석 방법과 실험장치를 이용하여 단위성분의 하중 및 조합하중을 받는 원통부재에 대한 최종강도를 국부 및 굽힘손상의 크기를 변화시켜 계통적으로 평가하였다.

4.1 局部損傷의 影響

먼저, 미소한 굽힘손상을 가진 양단단순지지된 원통부재에 대하여 국부손상의 크기를 변화시켜 수행한 이론적 및 실험적 결과를 검토한다.

Fig. 7에는 순수 축 압축력을 받는 원통부재의 최종강도에 대한 국부손상깊이의 영향을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 원통부재의 최종강도는 국부손상깊이가 증가함에 따라 급격히 저하하고 있다. 여기서, 수치해석 결과가 실험결과보다 최종강도를 다소 낮게 평가하고 있는 것은 수치해석에서는 하 항복응력을 적용하고 있으며 재료의 변형률경화효과를 고려하지 않은데 그 원인이 있다고 생각된다. 그러나, 수치해석 결과는 실험결과와 비교하여 실용적으로 충분한 정도로서 잘 대응하고 있다.

다음으로, Fig. 8에는 순수 굽힘모멘트를 받는 원통부재의 최종강도에 대한 국부손상 깊이의 영향

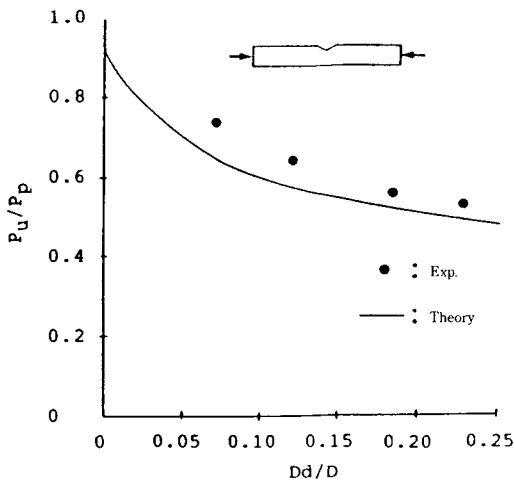


Fig. 7 Effect of dent depth on the ultimate strength of tubular member under pure axial compression

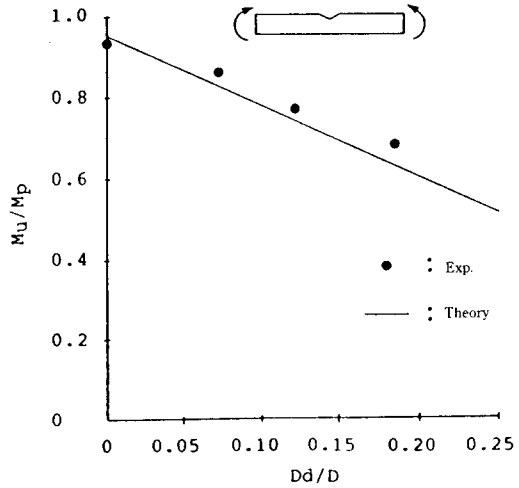


Fig. 8 Effect of dent depth on the ultimate strength of tubular member under pure bending moment

을 나타내고 있다. 이 경우, 굽힘모멘트는 국부손상의 깊이를 증가시키는 방향으로 작용하고 있다. 이 그림으로부터 순수 굽힘모멘트를 받는 원통부재의 최종강도는 국부손상의 깊이가 증가하면 거의 직선적으로 저하한다는 것을 알 수 있으며, 수치해석 결과는 실험결과와 잘 일치하고 있다.

Fig. 9에는 Fig. 2에 나타내는 바와 같이 국부손상의 생성시에 일정한 크기의 폭을 가진 indenter

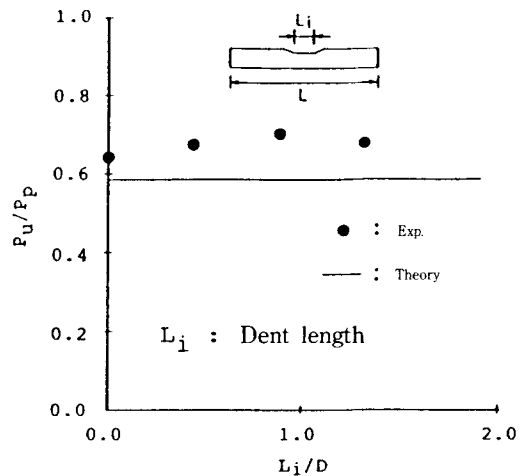


Fig. 9 Effect of dent length on the ultimate strength of tubular member under pure axial compression

를 사용함으로써 국부손상의 길이를 변화시키고 순수 축 압축력을 받는 원통부재의 최종강도에 대한 국부손상 길이의 영향을 나타내었다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 순수 축 압축력을 받는 원통부재의 최종강도는 국부손상의 길이변화에는 큰 영향을 받지 않는다. 본 수치계산에서는 국부손상 부위를 한개의 보요소로 모델링하였으며, 국부손상부 길이는 전체 길이에 비해 극히 작기 때문에 최종강도에 대한 영향은 거의 나타나지 않았다.

이상의 결과는 모두 국부손상이 부재길이의 중앙부에 존재하는 경우를 생각하였으나 실제적인 해양구조물의 원통부재에서는 충돌지점이 부재의 임의위치에 존재할 가능성이 있고, 손상위치가 부재의 최종강도에 영향을 미칠 가능성이 있다. Fig. 10에는 순수 축 압축력을 받는 원통부재의 최종강도에 대한 국부손상의 위치영향을 나타내고 있다. 이 그림의 횡축에서  $L_p/L=0.5$ 는 부재의 중앙위치를,  $L_p/L=1.0$ 는 단부를 의미한다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 국부손상의 위치가 중앙부에서 단부쪽으로 갈수록 최종강도는 증가하고 있다. 그러나, 그 증가량은 비교적 작으며, 국부손상부가 중앙부에 위치하는 경우를 기준으로 하면 안전측에서 실용적으로 충분한 정도의 최종강도를

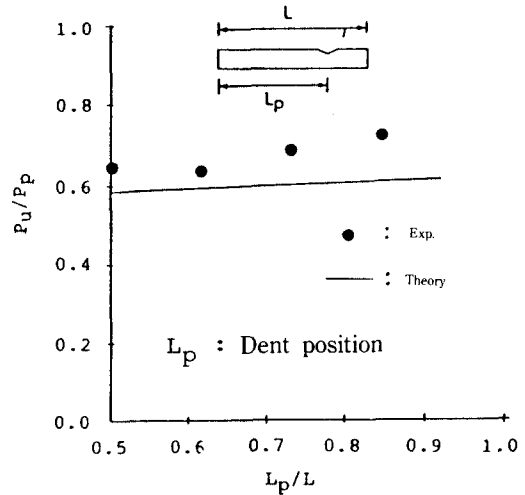


Fig. 10 Effect of dent position on the ultimate strength of tubular member under pure axial compression

추정할 수 있으리라 생각된다.

다음으로, Fig. 11. a, b에는 축 압축력과 굽힘모멘트의 조합하중을 받는 원통부재의 최종강도에 대한 국부손상 깊이의 영향을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 국부손상이 증가하면 원통부재의 최종강도는 크게 저하하며,

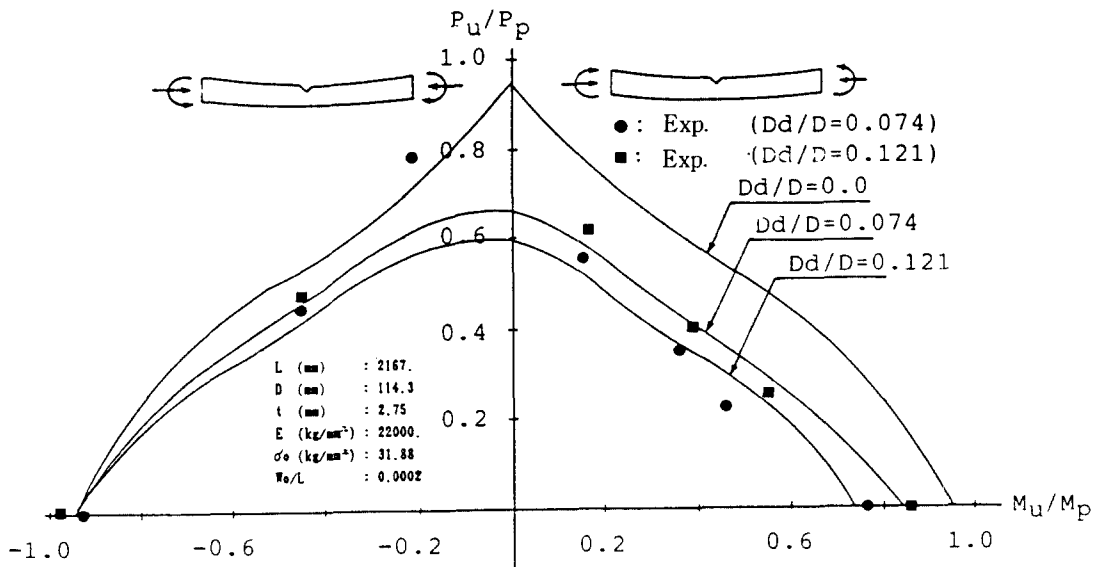


Fig. 11. a Results of analysis and experiment for the effect on the ultimate strength interaction of tubular member

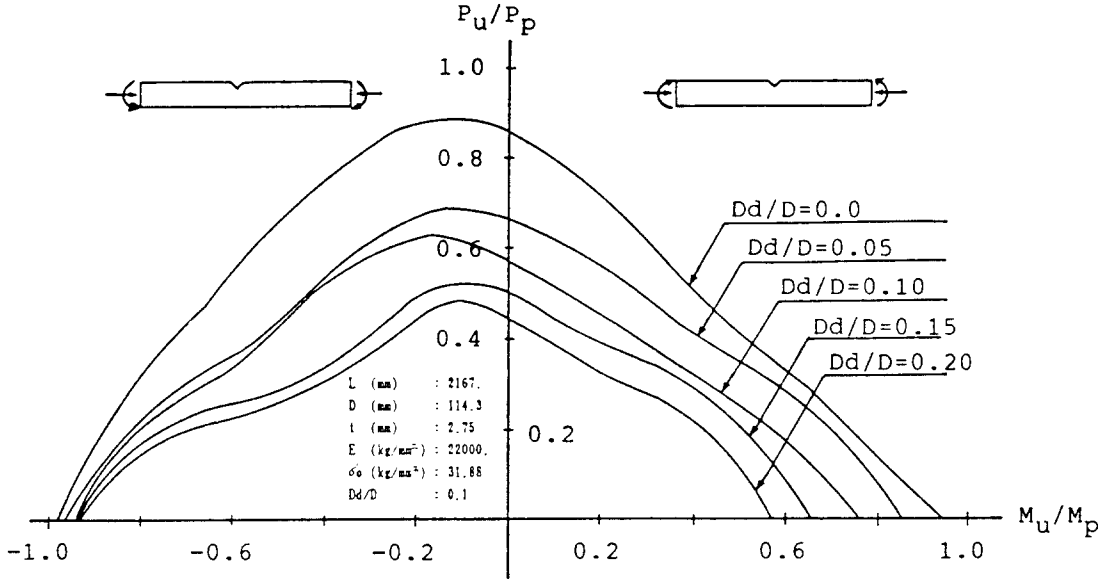


Fig. 11. b Effect of dent on the ultimate strength interaction of tubular member

특히, 전단면 소성강도에 대한 강도저하율은 순수 축 압축력이 작용하는 경우가 순수 굽힘모멘트의 경우보다 크다. 또한, 국부손상부가 굽힘모멘트의 인장측에 위치하는 경우는 부재의 최종강도를 거의 저하시키지 않는다. 이것은 참고문헌<sup>10)</sup>에서도 지적하고 있는 바와 같이 국부손상부에 작용하는 인장력의 영향으로 인하여 국부손상의 깊이가 줄어들게 되므로 전체 굽힘변형의 증가와 함께 손상부의 굽힘강성이 오히려 증가하기 때문이다. 또한, 국부손상 깊이의 변화에 따른 최종강도 상관관계는 유사한 형태를 나타내고 있으나, Fig. 11에 나타내고 있는 바와 같이 종축(순수 축 압축력)을 기준으로 좌우 비대칭의 형상을 나타내고 있다. 즉, 굽힘모멘트의 인장측에 국부손상부가 존재하는 경우에는 압축측의 경우보다 높은 최종강도를 보이고 있다. 따라서, 실제적인 해양구조물의 원통부재에서와 같이 조합하중을 받는 경우의 부재의 최종강도를 엄밀히 평가하기 위하여는 조합하중을 받는 최종강도 상관관계를 반드시 검토할 필요가 있다.

4.2 굽힘損傷의 影響

굽힘손상의 크기가 원통부재의 최종강도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 일정한 크기의 국부손상이 존재하는 양단단순지지된 원통부재의 최종강

도에 대한 이론 및 실험결과를 검토한다.

Fig. 12에는 2종류의 국부손상을 가진 원통부재가 순수 축 압축력을 받는 경우의 최종강도에 대한 굽힘손상의 영향을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 굽힘손상이 커짐에 따라 부재의 최종강도가 크게 저하하고 있으며, 그 경향은 국부손상 깊이에 관계없이 거의 유사하다.

Fig. 13. a, b에는 축력과 굽힘모멘트의 조합하중을 받는 양단단순지지된 원통부재의 최종강도에

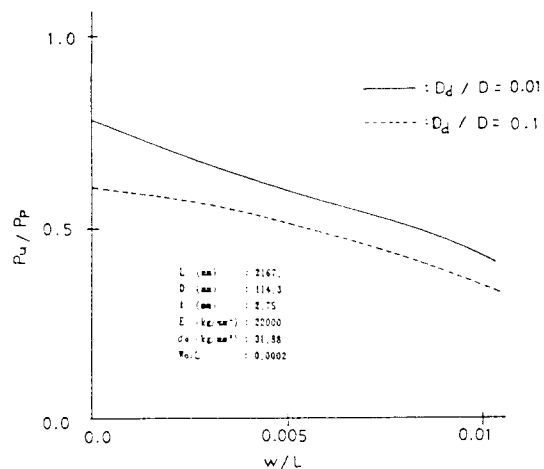


Fig. 12 Effect of bending damage on the tubular member under pure axial compression



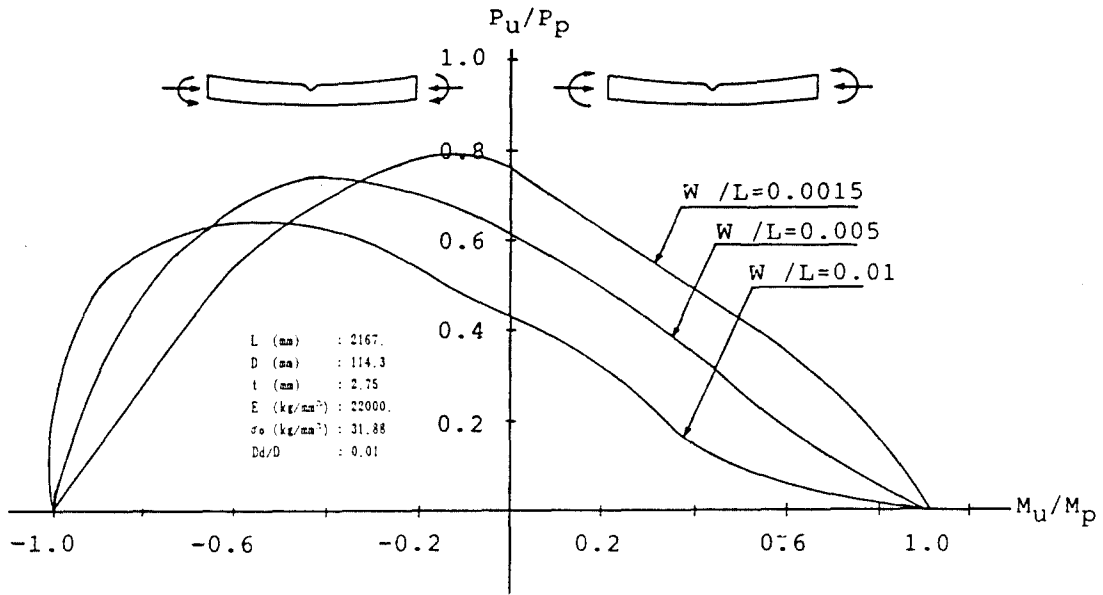


Fig. 13. a Effect of bending damage on the ultimate strength interaction of tubular member with small local denting damage

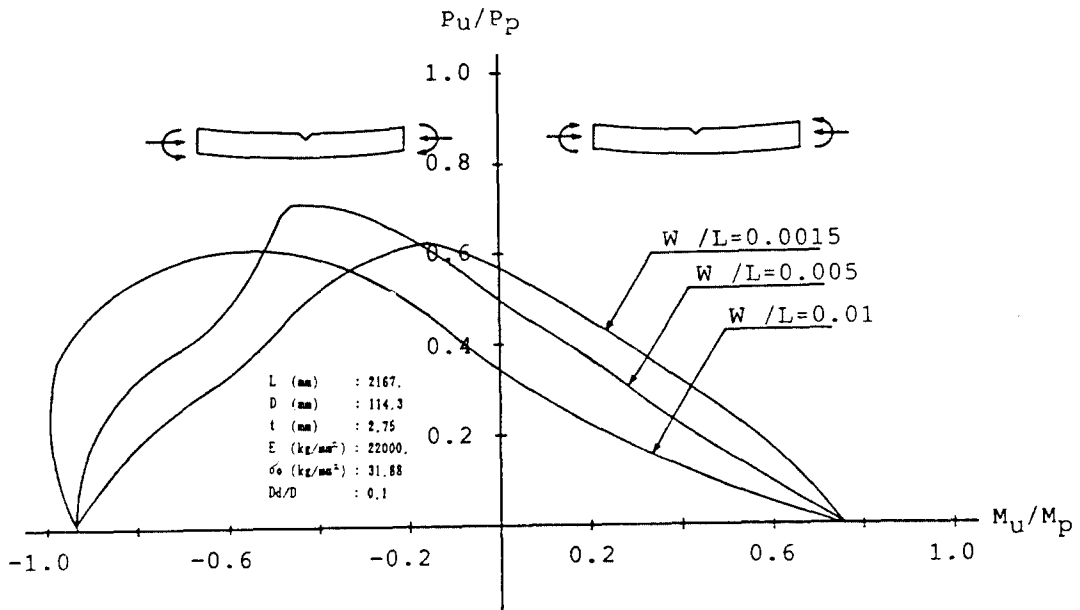


Fig. 13. b Effect of bending damage on the ultimate strength interaction of tubular member with moderate local denting damage

대한 굽힘손상의 영향을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 순수 굽힘모멘트를 받는 부재의 최종강도는 굽힘손상의 영향을 받지 않으나, 축력과 굽힘모멘트의 조합하중을 받는 경우에는 굽힘손상의 크기에 따라 부재의 최종강도는 크게 변화하고 있다. 특히 Fig. 11에 나타나는 국부손상 깊이의 영향과는 달리 굽힘손상을 가진 원통부재의 최종강도 상관관계는 굽힘손상을 증가시키는 방향으로 굽힘모멘트가 작용하는 경우와 그 반대의 경우는 완전히 다르다. 즉, 초기의 굽힘손상을 저하시키는 방향으로 굽힘모멘트가 작용하는 경우에는 굽힘거동에 대한 부재의 저항력이 오히려 증가되기 때문에 부재의 최종강도는 크게 증대된다.

## 5. 結 論

본 연구에서는 순수 축력, 순수 굽힘모멘트 및 이들의 조합하중을 받는 손상 원통부재의 최종강도를 이론적, 실험적 방법으로 평가하였으며, 이 결과를 바탕으로 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 순수 축 압축력을 받는 원통부재의 경우, 국부손상의 깊이나 굽힘손상의 크기가 증가하면 최종강도는 크게 저하한다. 그러나, 국부손상의 길이는 부재의 최종강도에 거의 영향을 미치지 않으며, 국부손상부가 부재의 중앙부보다 단부쪽에 위치할수록 최종강도는 다소 증가한다.
  - 2) 순수 굽힘모멘트를 받는 원통부재의 경우, 굽힘손상은 최종강도에 거의 영향을 미치지 않으며, 국부손상은 굽힘모멘트의 압축측에 위치할 때 최종강도를 크게 저하시키지만 인장측에 위치할 때에는 거의 영향이 없다.
  - 3) 축력과 굽힘모멘트의 조합하중을 받는 경우, 전반적으로 부재의 최종강도 상관관계는 일정한 크기의 국부손상 또는 굽힘손상의 변화에 따라 유사한 양상을 나타내고 있으나, 굽힘모멘트의 작용방향에 따라 큰 차이를 나타내고 있다.
- 2) Smith, C.S., W. Kirwood, and J. M., Swan, "Buckling Strength and Post-Collapse Behaviour of Tubular Bracing Members Including Damage Effects", BOSS'79, 1979
  - 3) Rashed, S. M. H., "Ultimate Strength and Post-Ultimate Strength Behaviour of Damaged Tubular Structural Members", Report SK/52, Div. of Marine Structure, Norwegian Institute of Technology, 1980
  - 4) Taby, J., T. Moan, and S. M. H. Rashed, "Theoretical and Experimental Study of the Damaged Tubular Members in Offshore Structures", Norwegian Maritime Research, Vol. 9, No. 2, pp. 26~33, 1981
  - 5) Ellinas, C. P., "Ultimate Strength of Damaged Tubular Members", ASME, Struc. Div. Vol. 110, No. 2, pp. 245~259, 1984
  - 6) Ueda, Y., and S. M. H. Rashed, "Behaviour of Damaged Tubular Structural Members", OAME, pp. 528~538, 1985
  - 7) Yao, T., et al, "Load Carrying Capacity of Damaged Tubular Members", J. of West Japan Society of Naval Architects, Vol. 73, pp. 136~150, 1987
  - 8) Cho, S. R., "Design Approximations for Offshore Tubular Against Collisions", Ph. D Thesis, Glasgow University, 1987
  - 9) 조상래, "Design Equation for Predicting the Residual Strength of Damaged Tubulars Under Combined Axial Compression and Hydrostatic Pressure", 大韓造船學會, 春季研究發表會, 1989
  - 10) 白点基, 辛柄仟, "損傷 圓筒部材의 最終強度 解析에 關한 研究", 大韓造船學會 船舶構造研究會, 1989. 8
  - 11) Ueda, Y., and T. Yao, "The Plastic Node Method: a New Method of Plastic Analysis", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 13, No. 1~3, pp. 1089~1104, 1982
  - 12) 白点基, 辛柄仟, 金昌烈, "Damage Estimation for Offshore Tubular Members under Quasi-Static Loading", 大韓造船學會誌, 第26卷, 4號, 1989

## 參 考 文 獻

- 1) 白点基, 辛柄仟, "海洋構造物을 構成하는 圓筒部材의 舉動에 對한 調査研究", 大韓造船學會, 船舶構造研究會, 1987. 8