

格子桁의 彈塑性舉動에 관한 實驗的 研究

이종석 · 이동근
土 木 工 學 科
(1985. 9. 27. 접수)

〈要 約〉

格子桁(Grid, Grillage)은 일반적으로 橋梁이나 建築物의 바닥에 널리 사용되는 뼈대구조물로서 本研究에서는 몇가지 Type의 格子桁의 彈塑性舉動에 대한 實驗을 통하여 그 실험에 의한 결과를 本人 등이 작성한 프로그램인 EPAG(Elasto Plastic Analysis of Grillages)의 결과와 비교하여 프로그램 EPAG가 格子桁의 實際 彈塑性舉動을 알아내는데 實用的으로 쓰여질 수 있는 지를 검토하였다.

아울러 格子桁의 實際 彈塑性舉動을 보다 정확히 해석하기 위한 방향을 제시해 보았다.

An Experimental Investigation on Elasto-plastic Behavior of Steel Grillages

Lee, Jong-Seok · Lee, Dong-Guen
Dept. of Civil Engineering
(Received September 27, 1985)

〈Abstract〉

Elasto-plastic behavior of Steel grillages was Investigated through model Tests.

Test results were compared to the results obtained by the E.P.A.G(Elasto-plastic Analysis of Grillages) And a method to predict aelasto-plastic behavior of Steel Grillages is presented.

I. 序 言

格子桁이란 그림 1에서와 같이 X, Y, Z 軸으로 이루어진 空間上에 그 部材들이 X, Y 平面위에 놓여 있고 外部荷重으로서 Z 軸 方向의 힘을 받고 있는 뼈대構造物을 말한다.

그림 1-b에서 보는 바와 같이 外部荷重을 받아 格子桁의 各 部材에는 휨모멘트와 비틀모멘트 및 전단력 등이 유발된다.

理論 및 實驗의 대상인 格子桁의 材料로서는 鋼材를 택하였다.

II. 格子桁의 彈塑性舉動

1. 塑性滑節 形成條件

格子桁의 外部荷重이 점점 늘어나 各 部材端力이

증가하게 되어 어느 部材端이 받아낼 수 있는 耐力의 限界를 넘어 서게 되면 그 部材端에 塑性滑節이 발생하게 되는데 그 塑性滑節이 形成되는 條件은 다음과 같이 표현된다.^{1),3),4)}

$$\left(\frac{M}{M_P}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_P}\right)^2 = 1 \tag{1}$$

여기서

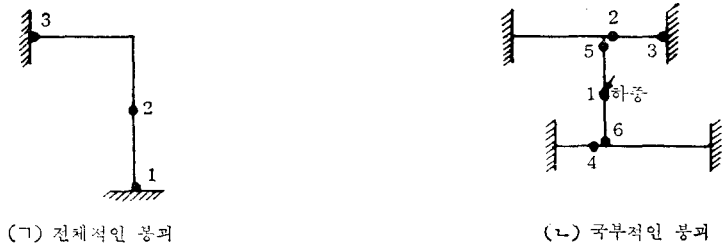
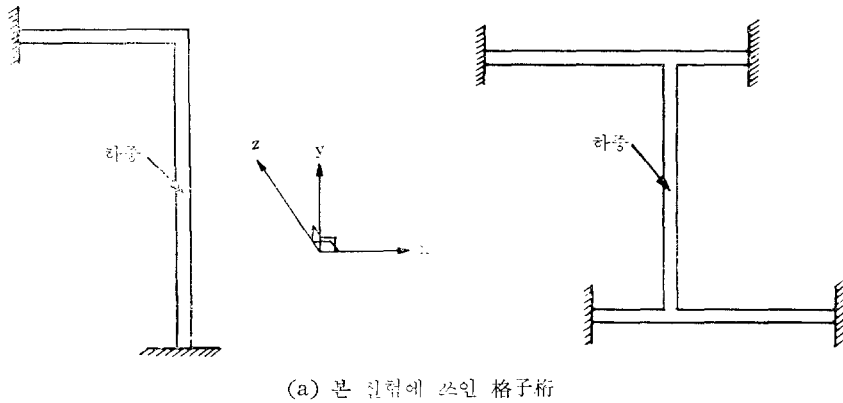
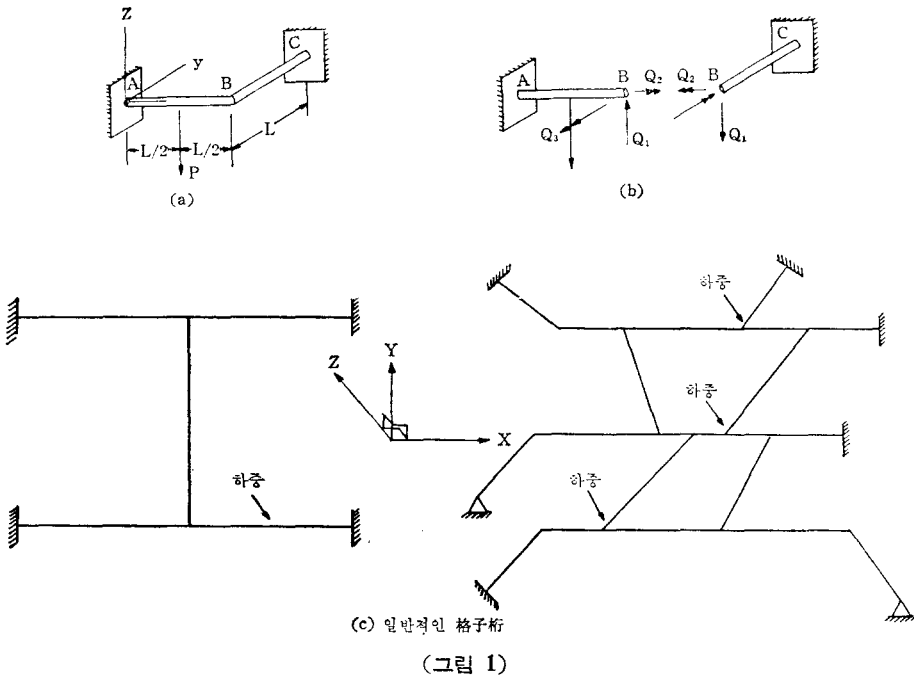
M: 외부하중에 의한 휨모멘트

T: 외부하중에 의한 비틀 모멘트

M_P: 휨 모멘트 만으로 소성滑節이 형성됐을때의 휨모멘트

T_P: 비틀 모멘트만으로도 소성滑節이 형성됐을때의 비틀모멘트

(1)式이 유효하게 적용되는 범위는 格子桁의 材料인 鋼의 變形硬化를 고려하지 않는다는 條件^{1),3),4)}과 剪斷力의 영향을 無視해도 되는 條件 즉 部材斷面の 크기에 비해 그 부재의 길이가 길다는 條件下에서



(b) 外部荷重을 받아 소성관절(김은점)이 발생되어 나가는 순서(소성관절은 검은 검은으로 나타냈으며 그 옆의 번호가 소성관절이 형성된 순서를 나타낸다.)

(그림 2)

成立된다⁷⁾. 위와 같은 降伏條件式은 格子桁을 構成하고 있는 部材 斷面의 모양이 中實斷面 이거나 薄肉閉斷面 이거나 薄肉閉斷面 이거나에 상관없이 적용된다.⁸⁾

2. 格子桁의 崩壞

外部荷重을 받아 어느 部材端에 처음 塑性滑節이 形成되고 난 후에도 계속 荷重이 加해지면 다른 部材端들에 塑性滑節의 形成이 확대 되어 가는데 그 結果 格子桁전체로서 더이상 外部荷重을 担当하지 못하는 붕괴현상을 일으킨다. 즉 崩壞란 「構造物의 一部 혹은 全體의 變形이 荷重의 增加없이 일어나는 狀態」⁹⁾ 이를 말한다.

이와 같은 붕괴현상은 크게 2가지의 典形(패턴)으로 나누는데 하나는 局部的인 붕괴기구의 形成(그림 2 참조)으로 인한 것과 다른 또 하나는 전체적인 붕괴기구의 形成(그림 2 참조)으로 인한 것이 있다.¹⁰⁾

III. EPAG 프로그램의 구성 및 가정

1. 假定 및 條件

외부하중의 변화로 소성완전이 생겨나거나 除荷(unloading)가 생기는 등 격자형 전체로서 탄소성 거동을 해석할 수 있는 프로그램을 作成하는데는 다음과 같은 가정 및 조건을 설정했다.

- 1) 材料(鋼材)는 理想的인 彈塑性的 性質을 가지며 變形硬化(strain hardening)는 무시하였다.
- 2) 材料의 Bauschinger effect는 무시하였다²⁰⁾.
- 3) 構造物의 한 요소(member)는 材質이 均一한 直線部材로 되어있다.

4) 휨모멘트와 비틀모멘트에 의해 이루어지는 降伏條件 즉 소성완전이 발생하는 조건에는 전단력의 영향을 고려하지 않았다¹¹⁾.

5) 變形硬化는 무시하므로 일단 소성완전이 만들어진다면 그 소성완전에서의 비틀모멘트와 휨모멘트의 비가 소성완전이 처음 만들어질 때의 상태를 그대로 유지한다.

6) 기하학적인 비선형은 고려하지 않는다.

7) 국부적인 좌굴은 일어나지 않는다.

8) 塑性滑節은 部材端에서 形成되며 그 形成領域의 길이는 常으로 본다.

9) 等分布荷重은 等價 節點荷重으로 환산해서 적용한다.

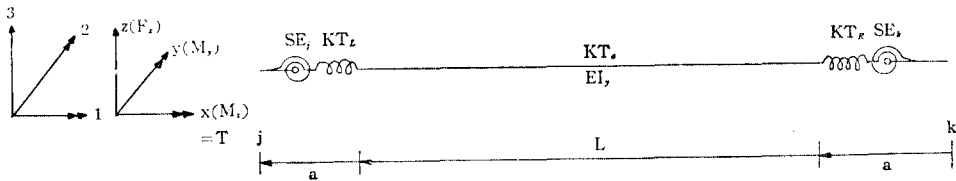
2. 各部材의 모델화

部材端마다 塑性滑節이 形成될 것을 대비하여 各部材를 그림 3과 같이 모델(model)化 하였다.

外部荷重을 받기 시작하여 格子桁의 모든 부재들이 탄성한도내에 있을 때는 부착된 모든 스프링들의 강성을 무한대로 하고 외부하중이 증가하여 어느 부재단의 內力들이 (1)의 降伏條件을 만족하면 그쪽의 휨스프링(bending spring)과 비틀스프링(torsional spring)의 강성을 常으로 하여 常으로써 그 부재단에 塑性滑節이 形成되는 효과를 내는 것이다.

3. 프로그램의 구성

전체로서의 彈塑性舉動을 program 을 통해 추적하는 때는 소성완전이 1 개씩 만들어 질때마다 전체 강도 매트릭스를 변화시키 주고 그때의 變位量, 部材端力, 作用荷重 등을 求하였다.



L: 부재 전체 길이

a: 0.

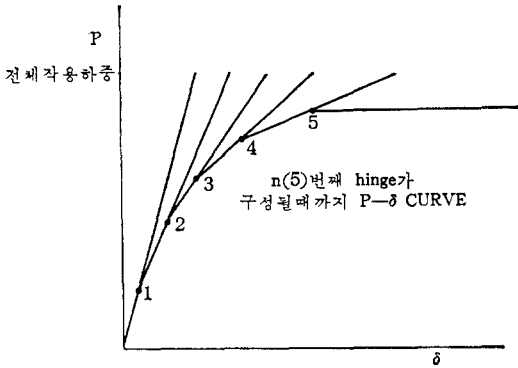
SE_j, SE_k: 휨모멘트만을 받는 스프링의 탄성강도

KL_L, KT_R: 비틀모멘트만을 받는 스프링의 탄성강도

KT₀: 원 부재의 비틀탄성강도

EI_j: 원 부재의 휨 탄성강도

(그림 3)

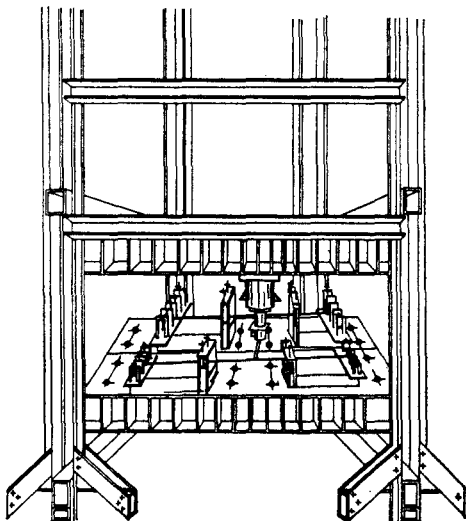


(그림 4)

Ⅶ. 實驗 장치

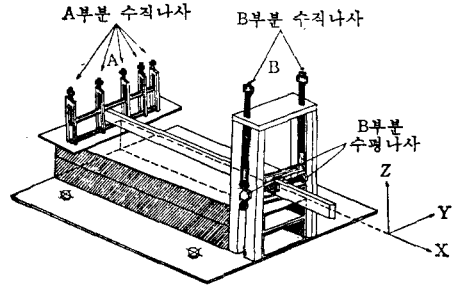
1. Loading Frame

loading frame 은 높이 6m 가로폭 5m 세로폭 2.5m 정도의 크기이고 上下로 約 200', 橫방향으로 約 50' 정도의 힘을 받을 수 있으며 油壓작키는 上下이동, 支點은 左右前後 移動이 가능하다. 하중의 전달은 油壓작키, 로드셀(load cell), 格子桁, 支點, Loading Frame 의 순서로 전달된다.



(그림 5) 格子桁, 支點장치, loading frame

2. 支點裝置



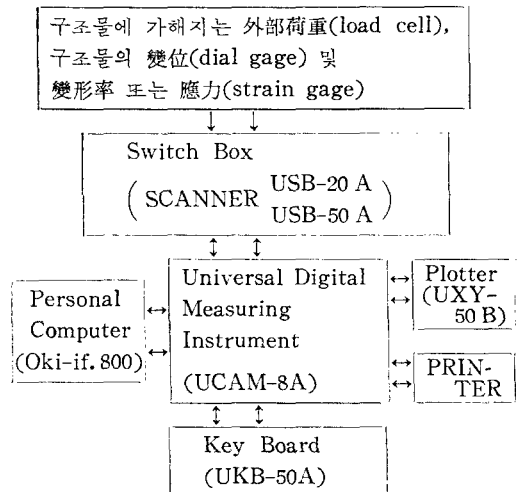
(그림 6)

A, B 두지점이 1개의 固定端의 역할을 할 수 있는 이 支點裝置는 格子桁의 塑性擧動시 과도한 수직처짐으로 인한 格子桁部材의 軸方向力을 유발시키지 않도록 고안되었다.

그림 6은 格子桁의 한쪽단이 지지된 모양이다. A 부분은 Z 축방향의 수직변위만 구속되었으며 B 부분은 Z 축방향의 수직변위와 X축을 중심으로한 회전 변위 즉 비틀모멘트로 인한 변위가 구속되어있다.

여기서 A와 B 사이의 부재의 강성을 크게 하여 주면 A, B 부분은 합하여 고정단으로 볼 수 있다. 또 A 부분의 수직나사를 풀고, B 부분의 수평나사를 풀면 A, B 부분은 합하여 單純支點이 되어 버린다. 이와 같은 지점장치는 다른 형태의 모델(model) 에도 다시 사용할 수 있다는 長點이 있다.

3. 靜的 測定 裝備(Static Measuring System)



(그림 7) 靜的測定裝備(Static Measuring System)의 系統圖

이 실험에 쓰이는 計測機器는 UCAM, Plotter, Switch Box, Key Board 等으로서 어떤 構造物에 작용하는 외부힘의 크기와 그 힘에 의한 변위, 응력 등을 同時에 측정하여 기록하거나 우리가 원하는 그래프(하중-처짐 곡선 等)를 즉시 그릴수 있으며 측정된 각 데이터(data)들을 보존할 수 있는 裝置이다.(그림 7 참조 要)

Ⅴ. 實驗用 構造物의 選定

실험용 構造物의 Type 을 선정하는 데는 다음 事項들이 고려되었다.

- 崩壞機構 形成에 필요한 塑性滑節의 갯수가 많은 것(B, C Type)과 적은 것.(A Type)
- 局部的인 崩壞機構 形成에 의해 파괴되는것(B, C Type)과 全體的인 崩壞機構 形成에 의해 파괴되는것(A, Type)
- 部材斷面이 中實斷面(A, B Type)인 것과 薄肉斷面인 것.(C Type)
- 塑性滑節들이 形成될 당시의 휨모멘트와 비틀모멘트의 비율이 가능하면 같도록 했다.(A, B, C

Type)

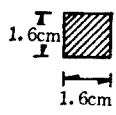
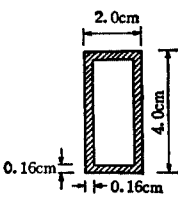
◦ 鋼橋設計時 主桁의 높이는 보통 橋梁길이의 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 로 하여준다. 이 실험에서도 構成部材 단면의 높이는 가능하면 構造物 전체 길이의 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 이 되도록 하였다.(C Type)

◦ 油壓작키의 行動범위가 7 cm 정도이므로 하중 작용 절점의 처짐이 4 cm 정도 이내에서, 또, 사용할 수 있는 Load Cell의 용량은 1 ton 및 5 ton 정도이므로 이 이내에서 붕괴기구를 形成해야 한다.(A, B, C Type)

Ⅵ. 鋼材에 대한 單純引張試驗

M_p, T_p 값을 구하기 위해 σ_s 값을 알아야 하기 때문에 KSD 0801, 0802 규정에 의거 試驗片을 鋼材의 종류별로 5개씩 채취하여 引張試驗을 行하고(引張試驗機는 Shimadzu UMH-30) 평균을 내어 σ_s 값을 구하였고, 그 σ_s 값에 의거하여 M_p, T_p 를 求했다.(표 1 참조)

(표 1)

鋼材의 종류	單純引張試驗		M_p	T_p	I	J	E	G	비 고
	횟수	σ_s (kg/cm ²)							
 中實斷面	1	6479.	6815.	5246.	546cm ⁴	1.0922 cm ⁴	2.1×10 ⁶ kg·cm ²	8.1×10 ⁵ kg/cm ²	A, B Type 構造物에 사용.
	2	6525.							
	3	6570.							
	4	6491.							
	5	6462.							
	평균	6505.							
 薄肉閉斷面	1	6325.	15908.	8534.	3.69 cm ⁴	4.902 cm ⁴	2.1×10 ⁶ kg·cm ²	8.1×10 ⁵ kg/cm ²	C Type 構造物에 使用
	2	6419.							
	3	6375.							
	4	6407.							
	5	6389.							
	평균	6383.							

Ⅶ. 實驗의 進行 및 結果

實驗은 다음과 같은 순서로 進行되었다.

1) 프로그램 EPAG(Elasto-plastic Analysis of Grillages)를 통해 Ⅶ에서 설명한 條件에 맞도록 實驗用 構造物의 모델을 선정한다.

2) 1)의 조건에 맞추어 實驗用 構造物을 製作한다.

3) 2)의 作業과 병행하여 1)의 선정결과(최대외부 하중, 최대치짐, 최대치짐각)에 맞추어 하중-치짐 곡선과 하중-치짐 각 곡선(결과 그래프 1, 2, 3 참조)이 實驗進行과 同時에 그리 질 수 있도록 하기 위한 프로그램을 Key Board(UKB-50A)를 통해 UCAM에 入力시킨다.

上記 프로그램은 두 단계로 수행되는데 첫 단계는 그 그래프의 題目이나 하중-치짐軸 및 하중-치짐 각 軸들을 作圖하고, 그 軸들을 細分하는 눈금 및 그 눈금마다 그 눈금이 가르키는 값을 적어넣는 등 하중-치짐 및 하중-치짐 각 곡선을 그려넣기 위한 준비 단계이고,

두번째 단계는 그 構造物이 각 단계마다 가해지는 荷重의 양과, 그 荷重作用에 따른 構造物의 변위(치짐, 치짐 각) 등이 Load Cell, Dial Gage 등의 센서(Sensor)와 SCANNER(USB-20A USB-50A)를 통해 UCAM에 入力되면 그 入力된 데이터(data) 들을 가지고 하중이 더해질 때마다 그래프를 그려 나가는 과정을 構造物이 처음 외부하중을 받기 시작해서 그 구조물이 붕괴에 이르기 까지 되풀이 해서 그려 넣도록 하는 단계이다.(결과 그래프 1, 2, 3 참조)

4) 構造物을 Loading Frame의 支點에 설치한다.

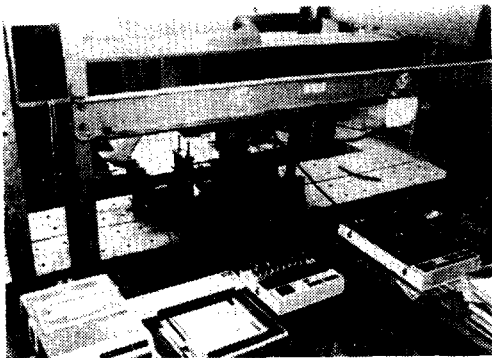
5) Dial Gage 및 Strain Gage를 설치하고 Load Cell 과 구조물과의 접촉부분을 점검한다.

6) 3)의 프로그램에서 첫 단계를 수행시킨다.

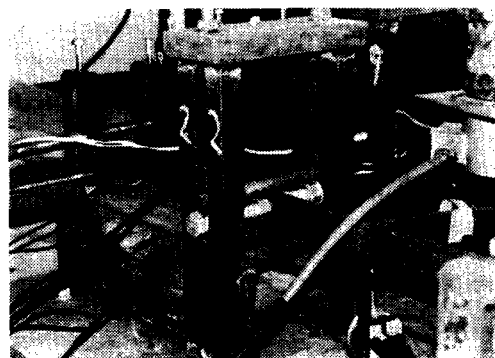
7) 油壓작키, Load Cell을 통해 荷重을 構造物에 전달한다.

8) 7)에 따라 構造物의 變位, 荷重量 등이 SCANNER(USB-20A USB-50A)를 통해 UCAM-8 A에 入力된다.

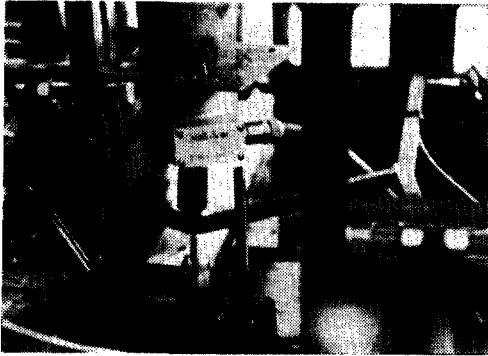
9) 8)에서 入力된 데이터(data)를 가지고 3)의 프로그램에서 두번째 단계를 수행시킨다. 7), 8), 9)과정을 통해 첫하중을 주었을 때의 하중-치짐 곡선과, 하중-치짐 각 곡선의 첫 부분을 作圖할 수 있다. 다음은 7), 8), 9)과정을 崩壞에 이를 때까지 계속함으로써 하중-치짐 곡선과 하중-치짐 각 곡선의 전체적인 그래프를 얻을 수 있는 것이다. 이와같은 순서에 의해 A, B, C 각 Type의 構造物에 대해 各各 5회씩의 實驗을 실시하였다. 그리하여 각 모델에 대한 실험결과들은 평균을 내어 그래프를 그리지 않고 plotter를 통해 실험현장에서 직접 그려진 그래프들 중 하나를 선택하였다. 왜냐하면 실험의 정확도가 용접 상태, extension(Ⅶ.1.①절에서 설명)의 부착 상태, 그 실험이 몇 번째 인가 하는 실험순서 등에 따라 조금씩 틀리기 때문에 가장 정확하다고 생각되는 결과만을 택했다. 결과의 비교 분석을 위해 A, B, C 각 Type의 構造物에 대한 실제 실험 결과(이하 실험치) 그래프를 프로그램 EPAG를 통해 解析한 結果(이하 이론치) 그래프에 직접 그렸다.



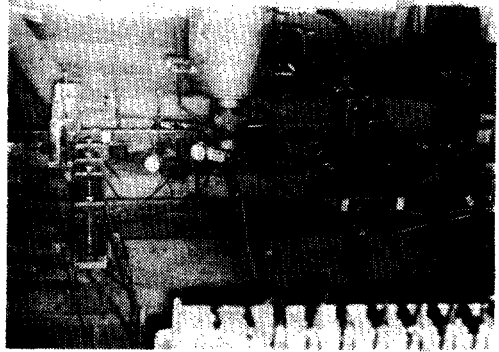
(사진 1) Loading Frame, 油壓작키, 支點裝置, 靜的測定裝備(Static Measuring System)



(사진 2) 支點裝置를 가까이서 본 모양



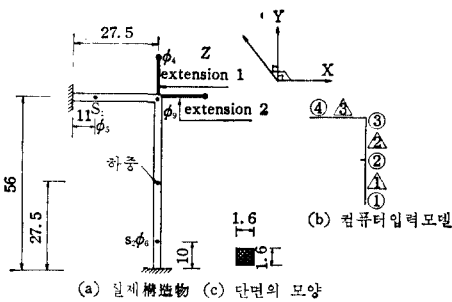
(사진 3) B Type 構造物의 塑性舉動時의 모양



(사진 4) C Type 構造物이 지점에 정착되어 있는 모양

1. A Type 構造物

① 설 치



길이단위 : cm
 ϕ_n : n 번 dial gage
 S_n : n 번 strain gage
 (그림 8)

③번 절점의 Slope 를 측정하기 위해 extension 1, extension 2를 부착하고 ϕ_5, ϕ_4, ϕ_7 을 설치했다. 즉, ③번 절점의 X 축 중심 회전자(반 시계 방향이 +)을 Slope 1, ③번 절점의 Y 축 중심 회전자(시계방향이 +)을 Slope 2라 하고 ③번 절점 밑에 놓여 있는 Dial Gage(ϕ_9)로서 측정되는 수직처짐량을 δ_9 , extension 1의 바깥쪽 끝에 놓여있는 Dial Gage(ϕ_4)로서 측정되는 수직처짐량을 δ_4 , extension 2의 바깥쪽 끝에 놓여있는 dial gage(ϕ_7)로

는 수직처짐량을 δ_7 라 하면,

$$\text{Slope1} = \frac{\delta_4 - \delta_9}{\text{extension 1의 길이}}$$

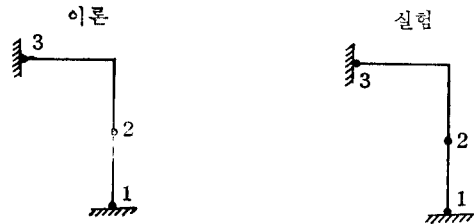
$$\text{Slope2} = \frac{\delta_7 - \delta_9}{\text{extension 2의 길이}}$$

서 계산된다.

②번 절점의 수직처짐이 다이알게이지(dial gage)의 범위를 넘어가기 때문에 ϕ_5, ϕ_6 이 위치한 곳을 하중-처짐 곡선을 그리는 기준 점으로 선택했으며, $\Delta, \triangleleft, \triangle$ 3개부재의 길이를 소성활절이 3개 형성되어 구조물이 파괴되도록 조정했다.

하중을 가한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

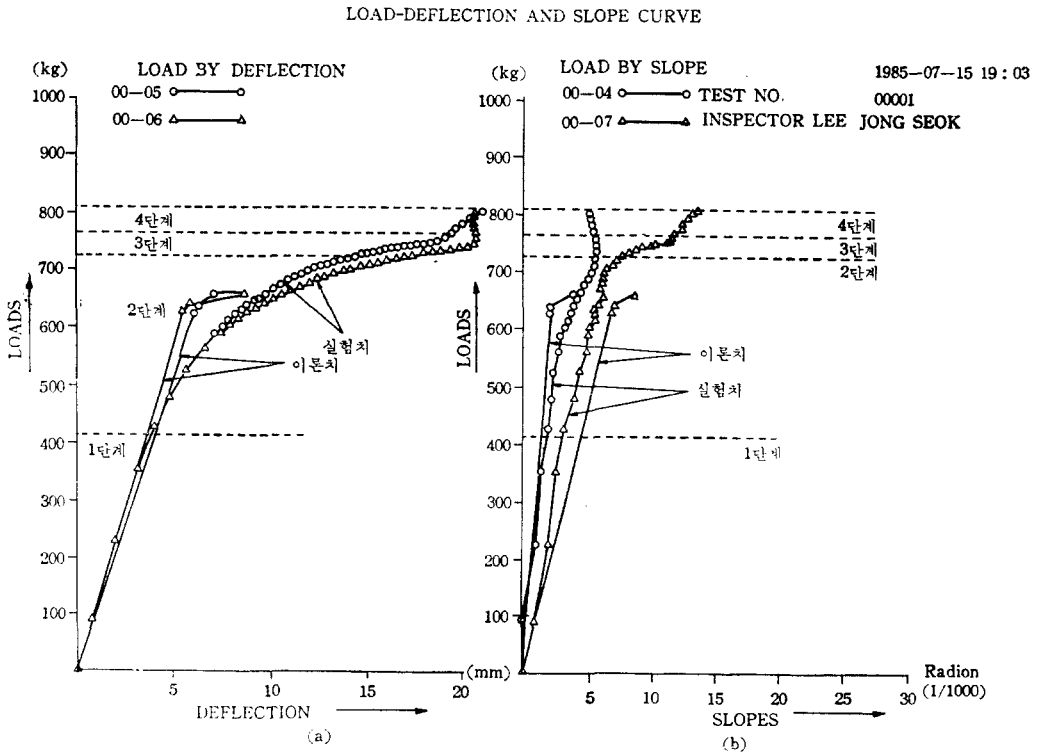
② 소성활절 형성순서



(그림 9)

소성활절의 표시는 (그림 9)에서와 같이 검은 점으로 표시 했는데 그옆에 그것이 형성된 순서를 적었다. 이론에 의한 소성활절 형성순서와 實驗에서의 소성활절 형성순서가 잘 일치 하였다.

이론치와 실험치 그래프



(그래프 1)

③ 그래프의 분석

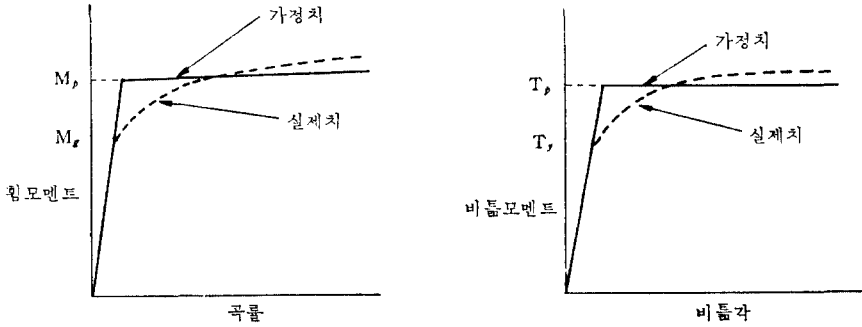
그래프 1-a에서 \odot, \triangle 로 표시된 그래프는 ϕ_5, ϕ_6 에 의해測定된 수직 변위량이며 그래프 1-b에서 \odot, \triangle 로 표시된 그래프는 각각 ③번 절점의 X축 중심 회전각, 전절에서 설명한 slope 1(반시계 방향)을 +로 나타냈으며 ϕ_5, ϕ_4 에 의해 계산됨 및 Y축 중심 회전각, 전절에서 설명한 slope 2(시계 방향)을 +로 나타냈으며 ϕ_9, ϕ_7 에 의해 계산됨을 나타낸다.

이론치와 실험치를 비교 분석해 보자.

그래프 1-a에서 편의상 1~4단계로 나누어 설명해 보면 1단계에서는 이론치와 실험치가 거의 일치한다는 것을 알 수 있다. 2단계에서 살펴보면 EPAG에 의한 가정으로는 첫번째 소성활절이 형성되기 이전의 하중에서 실험적으로는 소성 거동을 시작했다는 것을 알 수 있는데 그 이유는 프로그램 EPAG

를作成時 가정한 휨모멘트-곡률 및 비틀모멘트-비틀각 곡선이 실제의 휨모멘트-곡률 및 비틀모멘트-비틀각 곡선과 조금 차이가 나는 까닭이다.(그림 10참조)

3단계는 소성활절이 모두 형성되고 난후의 그래프인데, 가정한 값보다 실험에서는 하중이 많이 더해졌고 그래프의 모양에서 보듯이 이론치는 하중증가 없이 처짐이 계속되는 모양인데 실험치는 하중이 조금씩 증가하면서 처짐이 계속되는 모양이다. 이 두가지 현상에 대한 이유는 첫째는 變形硬化(Strain hardening)의 영향을 무시할 수 없기 때문이고 둘째는 실제 소성 활절이 형성되어 가면서 처짐이 커짐으로 인하여 부재에 軸方向力이 유발되어 거기에 따른 강성(剛性)이 생겨나는 까닭이다. 이와 같은 현상은 소성활절이 모두 형성되어 상당한 처짐이 생긴 후 즉 4단계에서 더욱 두드러진다(단, \triangle 곡선이 마지막 부분에서 하중만 증가하고



(그림 10)

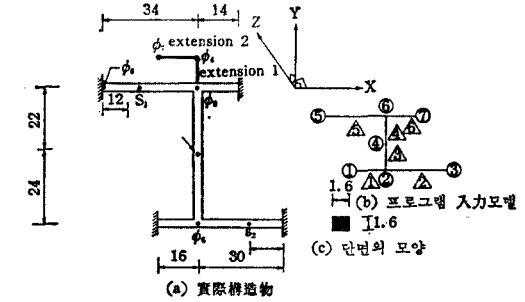
처짐이 증가하지 않은 이유는 그 dial gage의 한계가 넘어서서 그이상 dial gage가 움직이지 않았기 때문이다.)

그래프 1-b에서도 편의상 1~4단계로 나누어 생각해 보면 그래프 1-a에서 설명했던 것과 같은 설명을 할 수 있다. 단 △곡선을 통해 나타나는 Slope 2(③번 절점의 Y축 중심 회전자, 시계 방향이+)가 이론 보다 작은 값을 갖는 이유는 ①번 ②번 절점이 먼저 소성 활절이 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 이론치에서 소성 활절이 3개 형성되고 난 후의 그래프가 그려져 있지 않은 이유는 붕괴기구 구성후의 ③번 절점의 X, Y축 중심으로부터 회전각은 큰 의미가 없기 때문이다.

2. B Type 構造物

① 설 치

⑥번 절점의 Slope를 측정하기 위해 extension 1, extension 2, 를 부착하고 ϕ_3, ϕ_4, ϕ_7 을 설치했다. 즉, ⑥번 절점의 X축 중심 회전자(시계 방향이+)을 Slope 1, ⑥번 절점의 Y축 중심 회전자 C(시계 방향이+)을 Slope 2,라 하고 ϕ_3, ϕ_4, ϕ_7 에



길이단위 : cm

ϕ_n : n번 dial gage(·표 한곳에 위치)

S_n : n번 strain gage

(그림 11)

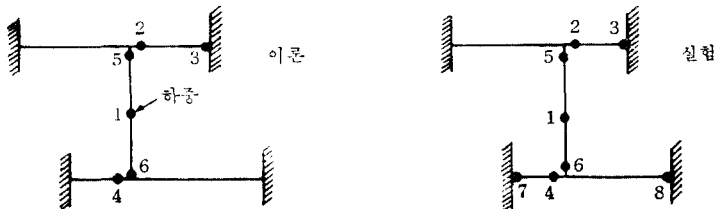
의해 측정되는 수직처짐량을 $\delta_3, \delta_4, \delta_7$ 로 하면

$$\text{Slope 1} = \frac{\delta_3 - \delta_4}{\text{extension 1의 길이}}$$

$$\text{Slope 2} = \frac{\delta_4 - \delta_7}{\text{extension 2의 길이}}$$

가 측정된다.

ϕ_8 은 ⑤번 절점의 비틀림모멘트에 의한 변위가 확실히 구속되었는 지 검측하기 위해 설치했다.



(그림 12)

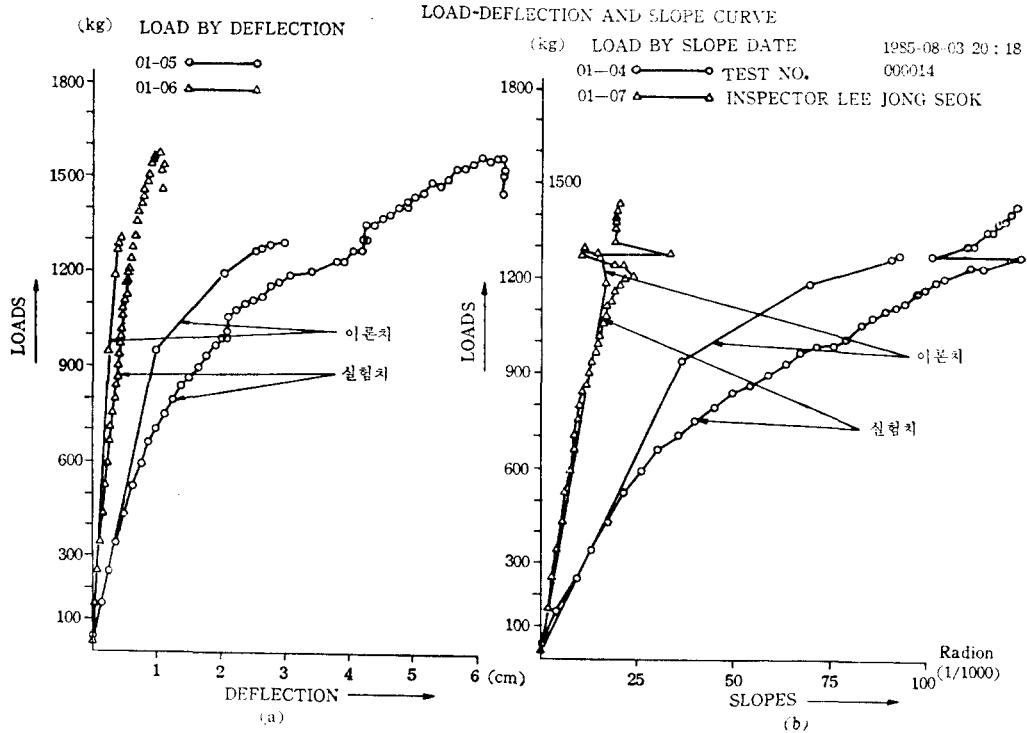
② 소성활절 형성

이론에 의한 소성활절 형성 순서와 같이 명료하게 소성활절 형성 순서가 구분되는 것은 아니지만 육안으로 그 형성 순서가 이론과 일치한다는 것을 확인할 수 있었으며 하중-처짐 곡선이나 하중-처짐 각 곡선의 모양이 일치하는 것으로도 이론과 일치한다는

것을 다시 확인할 수 있었다.

이론에서는 6번 소성활절을 형성하고 난 후 붕괴 기구를 구성하는데 실험에서는 6번 소성활절을 형성하고 난 후에도 부재들이 완전히 분리되어 떨어져 나가버리는 것이 아니기 때문에 7, 8번 소성활절 까지 형성하였고, 최후에는 5번 소성활절 부근의 응집된 부분의 파괴로 그 실험은 끝났다. (그림 12참조)

이론치와 실험치 그래프



(그래프 2)

③ 결과 그래프의 분석

그래프 2-a에서 ⊙, △로 표시된 그래프는 프로그램 入力 모델에서 ④, ②번 절점의 수직변위량 이며 ϕ_6 , ϕ_6 에 의해 추정된 값이다.

그래프 2-b에서 ⊙, △로 표시된 그래프는 프로그램 入力 모델에서 ⑥번 절점의 X축 중심 회전각 (전절에서 설명한 Slope 1, 시계방향이 +) 및 Y축 중심회전각(전절에서 설명한 Slope 2, 시계방향이 +)을 나타낸다.

그래프 2에 나타난 이론치와 실험치를 비교 분석해 보자. 프로그램 EPAG에 의해 가정한 첫번째

소성활절이 형성되기 이전의 하중에서 실제적으로는 소성거동을 시작하는 것에 대한 원인은 프로그램 EPAG 作成 時 가정한 휨모멘트-곡률 및 비틀림모멘트-비틀림 곡선이 실제의 휨모멘트-곡률 및 비틀림모멘트-비틀림 곡선과 차이가 나는 까닭이고 그러한 경향은 소성활절이 형성되는 숫자가 적은 A Type 構造物보다 소성활절이 형성되는 숫자가 많은 B Type 構造物에서 더욱 나타난다는 것을 알 수 있다. 일단 소성거동을 시작한 후에 A Type 構造物에서와는 달리 하중 증가 없이 변위가 증가하는 경향이 작은 이유는 소성활절이 하나씩 形成되어 가면서 수직변위가 증가하는데, B Type에서는 붕괴

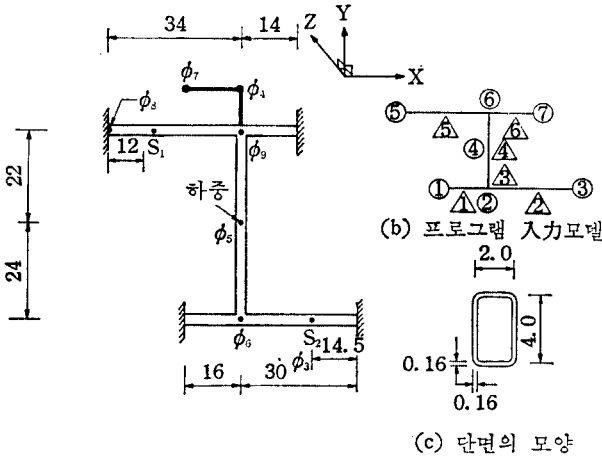
기구 구성에 필요한 소성활절의 수효가 A Type 보다 많기 때문에 자연이 수직변위로 인한 軸方向力에 대한 剛性이 A Type 보다 많이 발생하는 까닭이다.

그래프 2-a의 실험 그래프에서 〇표선 그래프중 변위량 증가없이 하중 증가하는 부분이 존재하는

원인은 Dial Gage가 그 한도에 다달아 다시 설치하는 과정에서 생긴 현상이다. 이와같이 이론과 실험의 차이가 나는 부분에 대한 원인을 설명해 보면 전반적으로 A Type에서와 같은 설명이 가능하다.

3. C Type 構造物

① 설치 위치



(a) 實際 構造物

길이단위 : cm

ϕ_n : n번 dial gage(·표한곳에 위치)

S_n : n번 Strain gage

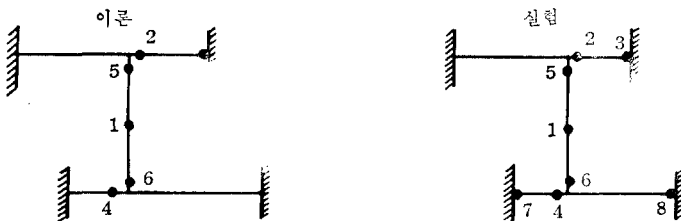
(그림 13)

⑤번 절점의 Slope를 측정하기 위해 extension 1, extension 2 (ϕ_3, ϕ_4, ϕ_7)를 설치했다. (Slope 1, Slope 2를 측정하기 위한 것으로 B Type 構造物에서와 똑같은 원리로 설치되었다.)

ϕ_8 은 ⑤번 절점의 비틀모멘트에 의한 변위가 확실히 구속되었는지 검증하기 위해 설치했다.

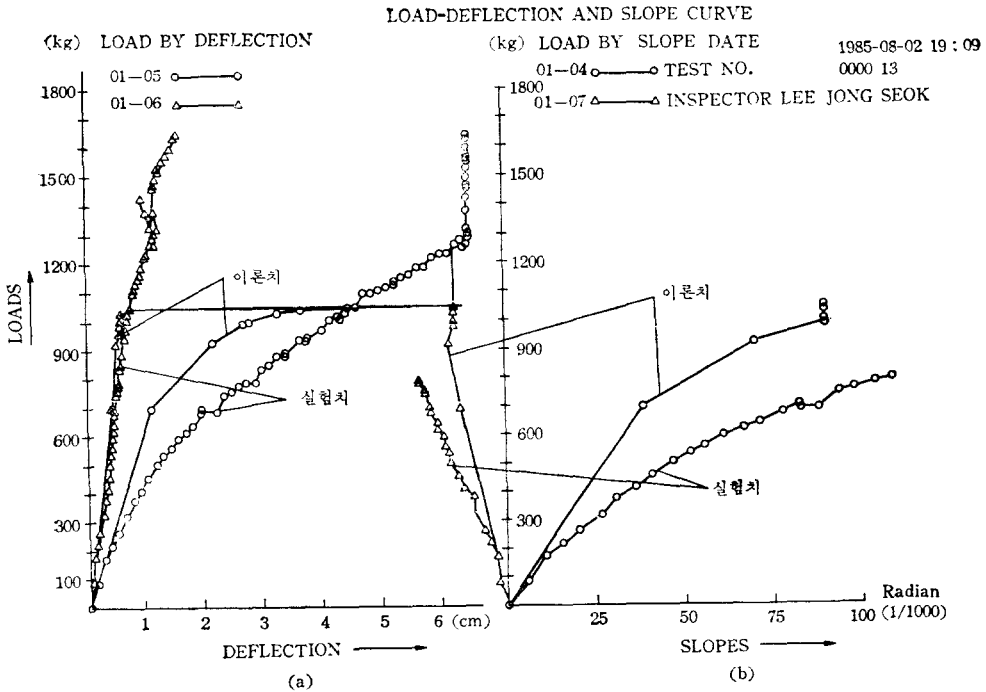
② 소성활절 형성

기하학적 조건이 B Type 構造物과 거의 같기 때문에 소성활절 형성 순서도 이론과 실험 다 같이 B Type 과 같았다.



(그림 14)

이론치와 실험치 그래프



(그래프 3)

③ 결과 그래프의 분석

C Type 構造物에 대한 理論 및 實驗 결과 그래프에서 ○, △으로 표시된 의미는 B Type 構造物에서와 같은 의미이다. 그래프에 나타난 결과를 비교해 보면, B Type 構造物과 C Type 構造物은 그 기하학적 조건이나 境界條件이 거의 같기 때문에 비슷한 결과를 얻었다. 따라서 그래프 3에 대해서는 그래프 2와 거의 같은 설명을 할 수 있다. 단, 구성부재가 속이 비어 있기 때문에 속이 막힌 단면과는 달리 하중을 가하는 부분과 소성활절이 形成되는 부분의 단면에 변형이 생기는 것을 막을 수는 없었으며 이 영향을 고려해서³⁵⁾ M_p , T_p 값을 계산했다. 그래프 3-b에서 표시된 Slope 1과 Slope 2가 그래프 2-b보다 이론과 차이가 조금 나는 것에 대한 理由도 C Type 構造物의 구성부재가 속이 비어 있기 때문이다.

4. 비교 검토

앞의 結果에서 보듯이 이론에 의한 結果와 많이 부합 되었으며 다음 사항을 알 수 있었다.

- 1) 전반적으로 탄성한도内에서는 이론과 잘 일치하였다.
- 2) 塑性滑節이 처음 발생할 무렵 이론보다 수직 처짐이 더 많이 생기는데 그 이유는 가정한 휨모멘트-곡률 곡선 및 비틀림모멘트-비틀림각 곡선이 실제하고 차이가 나기 때문이다.
- 3) 이론치보다 하중을 더 많이 받을 수 있는데 그 이유는 첫째, 變形硬化의 영향을 무시할 수 없고, 둘째, 塑性暴動시 수직처짐으로 인한 軸方向力이 발생하는 것을 막을수는 없기 때문이다.
- 4) A Type 構造物에서 소성활절이 전부 생기고 나서 다시 강성이 회복되는 구간이 있는데 이것은 과도한 수직처짐 및 소성변형으로 인하여 3)에서

설명한것과 같은 현상이 더욱 두드러지기 때문이다.

5) B, C Type 構造物에서 A Type 構造物에 비해 하중 증가 없이 수직처짐이 증가하는 단계가 생기지 않는 이유는 한 두개 소성활절이 형성된 후 그 소성활절이 형성된 부재가 실험 도중 많은 수직처짐으로 인하여 3)에서 설명한 것과 같은 현상이 일어나면서 다음 소성활절을 形成시키기 때문이다.

6) 축이 빈 단면을 가진 부재 즉 C Type 構造物은 실험 도중 국부좌굴이나 용접부 파괴로 어려움을 겪었으며, 결국 용접부 파괴는 Arc 용접대신 산소용접으로 막을 수 있었으며, 국부좌굴은 좌굴이 일어나지 않는다고 보았던 이론치 M_p , T_p 값 보다는 작은 M_p , T_p 값으로 하였으며 이 때 M_p , T_p 값은 문헌 35)를 참고하고, 실제 거동후의 단면을 조사하여 결정 하였다.

7) 기타 Dial Gage 나 Strain Gage 설치할때 발생하는 오차등이 있을 수 있었다.

Ⅹ. 結 言

格子桁의 實際 彈塑性舉動을 實驗을 통하여 관찰 기록한 결과와 本人等이 작성한 EPAG 프로그램에 의한 결과를 비교 분석함으로써 본 EPAG 프로그램이 格子桁의 彈塑性舉動의 解析에 實用的으로 使用될 수 있음을 증명하였다. 본 EPAG 프로그램을 좀더 보완 한다면 첫째, 기하적 비선형을 고려하도록 해야하고, 둘째, 구성부재가 축이 비어있는 경우와 막혀있는 경우에 대해 각각 휨모멘트와 비틀모멘트가 동시에 작용해서 소성활절이 형성될 때까지의 휨모멘트—곡률 곡선과 비틀모멘트—비틀각 곡선의 모양을 확실히 규명하여 프로그램에 반영하면 된다는 것을 알았다.

참 고 문 헌

(1) Hill, R.: "The Mathematical Theory of Elasticity", Oxford at The Clarendon Press, 1950.
 (2) Yung Kee Shin: "LOAD CARRYING CAPACITY OF TRIANGULATED STRUCTURES", P. H. D. TOKYO UNIVERSITY 1968.
 (3) 山田壽昭: "塑性力學", 日刊工業新聞社, 82.
 (4) 横道英雄: "彈塑性新論", 枝報堂, 79. 2.

(5) B. G. Neal: "The Plastic Method of Structural Analysis New York", John Wiley & Sons. Inc.
 (6) Jacques Heyman: "Plastic Design of Frames 2," Cambridge, 1971.
 (7) M. R. Horne and L. J. Morris: "Plastic Design of Low-Rise Frames", Granada, 1981.
 (8) Beedle, L. S.: "Plastic Design of Steel Frames", John Wiley & Sons, New York, 1958.
 (9) P. G. Hodge: "Plastic Analysis of Structures", Mcgraw-Hill, 1959.
 (10) K. I. MAJID: "Non-Linear Structures", London Butter Worths, 1972.
 (11) Dale G. Eyre, T. V. Galambos: "Shake-Down Tests on Steel Bars And Beams", ASCE, July, 1970.
 (12) Dale G. Eyre, Theodore V. Galambos: "Shake Down of Beams on Flexible Supports", ASCE, May 1976.
 (13) Irving J. Oppenheim: "Shakedown Under Elastic Support Conditions", ASCE, July 1980.
 (14) Jennings, A. and Majid, K.: "An Elastic plastic Analysis By Computer for Framed Structures Loaded Up to Collapse", The Structural Engineer, DEC. 1965.
 (15) William Weaver, JR., James M. Gere: "Matrix Analysis of Framed Structures", D. Van Nostrand Company, 1980.
 (16) 李東根: Accurate and Simplified Models for Seismic Responce Prediction of Still Frame Structures", 美 Stanford大 박사학위 논문(1984. 2)
 (17) D. R. J. Owen and E. Hinton: "Finite Elements In plasticity, pinneridge press Limited", 1980.
 (18) Neil Jackson: "Plastic Analysis of Transversely Loaded Frames", Proc. ASCE August, 1971.
 (19) Glem A. Morris and Steven J. Feves: "Elastic-Plastic Analysis of Frame Works", proc. ASCE, May, 1970.
 (20) Sunduramorthy Rajasekaram and David

- W. Murray: "Finite Element Solution of Unelastic Beam Equations", Proc. ASCE, Vol. 99, 1973.
- (21) 太田俊昭, 日野伸一: "曲げとねじりモーメントを受ける一様な長方形断面棒の弾塑性解析", 日本土木學會論文報告集, 第285號, p. 37. 1979.
- (22) 宇佐美勉: "軸力曲げおよび一様ねじりを受ける薄肉開断面の降伏後の學動", 日本土木學會論文報告集, 第220號, p. 9, 1973.
- (23) Steele, M. C.: "The Plastic Bending and Twisting of Square Section Members", Jour. Mech. Phys. Solids, Vol. 3, p. 156, 1954.
- (24) Imegwu, E. O.; "Plastic Flexure and Torsion", Jour. Mech. Phys. Solids, Vol. 8, p. 141. 1960.
- (25) AISC. 1973. Seventh Edition
- (26) A. C. DAVIES; "THE SCIENCE AND PRACTICE OF WELDING", CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1972.
- (27) 申永琦, 李淙錫: "格子桁의 彈塑性解析" 대한 토목학회지 제를예정.