平面프레임의 応力解析을 위한 実用的 컴퓨터 프로그램

A Practical Program for Stress Analysis of A Plane Frame

李 東 根

1. 序 論

文化가 발달함에 따라 점차로 규모가 크고 복잡한 建物이 필요하게 되어가고 있다. 이러한 추세에 따라서 建物의 設計에서 構造設計가 차지하는 比重 또한 점차로 커지고 있는 셈이다. 構造設計에 있어서 가장 중요한 部分은 応力의 解析과 断面의 設計라 할 수 있겠다.

構造物의 応力 解析法은 20世紀에 들어오면서 급격히 발전했는데 1915年 G.A. Maney教授가 撓角法(Slope-Deflection Method)을 発表함으로써 不静定構造物을 상당히 正確하게 解析할 수 있게 되었고, 1932年 모멘트 分配法의 登場으로 더욱 간단해졌다 그러나 최근에 와서는 電子計算機의 開発로 因하여 더욱 정확한 응력을 더욱 쉽게 구할 수 있는 Matrix Method가 나타나게 되었다.

모멘트 分配法은 横力이 作用할 때에는 無力하게 되고 撓角法은 斜材가 들어있는 構造物에 대해서 곤란을 겪게 되는 短点들이 있으나 Matrix Method는 構造物의 形態나 荷重의 狀態에 대해서 전혀 구애받지 않으므로 아무리 크고 복잡한 구조물이라 하더라도 Simple Beam을 풀때와 똑 같은 계산과정을 통해서 応力을 구할 수 있고 다만 入力 DATA와 계산 시간이 좀 더 많이 소요될 뿐이다. 더구나 한두장의 入力 CARD를 바꾸어 넣으므로써 構造物의 조건을 바꾸어 計算할 수 있으므로 구조계획에도 적절히 이용될 수가 있다.

물론 断面의 設計도 計算機에게 시킬 수 있지만 그것은 어디까지나 뛰어난 判断力을 가진 技術者가 해야 할 性質의 일이므로 外国에서도 주로 応力解析用 Porgram의 開発에 힘쓰고 있는 실정이다. 여기에 소개하는 프로그램(PFRAME)과 함께 75년도 건축학회지 1·2月号에 소개된 평면 TRUSS用 프로그램(PTRAN LEE)을 活用하면 構造設計에 많은 도움이 되리라 믿는다.

2. 프로그램의 構成

이 프로그램은 Matrix Method 중에서 直接剛度法(Direct Stiffness Method)에 의해 作成되었다. 계산도중에 가장 많은 Core Memory 을사용하는 構造物剛度 Matrix는 Band Matrix로 바꾸어 저장하였고 이 Matrix 를 푸는데는 Cholesky의 Square Root Method를 사용하였으므로 正確한 解를 더욱 짧은 計算 時間에 求할 수 있게 하였다. 이 프로그램이 계산을 進行하는 대략적인 순서는 다음과 같다.

1. 構造物의 全般的인 DATA를 읽음.
2. 節点에 관한 DATA를 읽음.
3. 部材에 관한 DATA를 읽음.
4. 部材剛度 Matrix의 構成
5. 支点에 관한 DATA를 읽음.
6. 構造物剛度 Matrix를 構成
7. 荷重에 관한 DATA를 읽음.
8. Matrix式의 解(変位 Matrix)를 求함.
9. 部材応力을 求함.
10. 支点反力을 求함.
11. 結果의 인쇄

3. DATA의 作成

가. 座標系

이 프로그램에서 사용되는 座標系는 構造物座標系와 部材座標系가 있으며 두가지 모두다 Cartesian의 오른손法則에 의하여 정해진다. (그림 1)

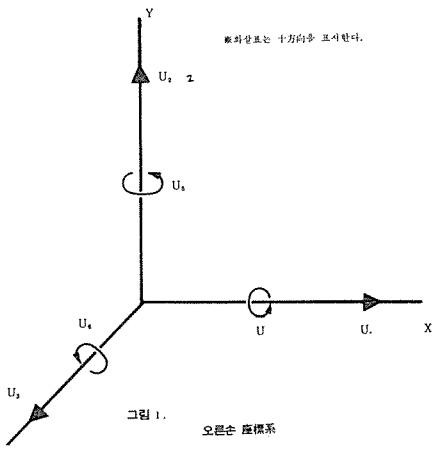

그림 1. 오른손 座標系

節点의 位置를 표시하거나 節点에 作用하는 하중의 표시 또는 支点의 反力狀態를 나타낼때는 構造物 座標系에 의해서 作成해야 되며 계산결과로 나타나는 各節点의 変位및 支点의 反力도 構造物座標系에 의한다. 部材에 作用하는 荷重의 표시나 部材応力의 判読에는 部材 座標系에 의한다. 構造物座標系는 DATA를 作成하는 사람이 임의로 편리하게 정해서 사용하면 되는데 대개의 경우에는 가장 오른쪽 아래를 原点(0, 0)으로 정하게 된다. 部材座標系는 部材의 軸이 X軸이 되며 방향은 部材의 始作点에서 終点으로 向하는 쪽이 (+)가 된다.

筆者 : 陸軍士官学校 教官

나. 単 位

사용되는 單位는 제한이 없으나 全体 DATA에 대해서 한가지로 통일해서 사용해야 한다. 예를 들면 材料의 彈性係数를 ton/cm^2으로 표시했으면 節点의 座標는 cm, 部材의 断面積은 cm^2, 断面二次모멘트는 cm^4등으로 표시해야 하고 하중의 単位도 ton이나 ton/cm로 표시해야 한다. 따라서 計算結果를 判讀할 때에도 節点의 変位는 cm, 軸力이나 剪断力은 ton, Moment는 으로 읽어야 하는 것이다.

다. 節点의 표시

節点은 各節点마다 주어지는 節点番号와 X座標및 Y座標로써 그 位置를 나타낸다. 節点의 番号는 1에서 부터 시작하는 연속된 번호를 사용해야 하며 중복이 되거나 빠지는 번호가 있으면 계산이 틀리게 된다.

라. 部材의 表示

部材는 양쪽 끝이 연결되는 節点의 번호를 정함으로써 표시되고 이때 始点(Near End)과 終点(Far End)을 가지고 部材의 座標系가 결정이 된다. 始点은 두개의 절점 번호중에서 작은것이 되고 終点은 큰것이 된다. 또 断面의 性質은 断面積과 断面二次모멘트를 줌으로써 표시한다.

마. DATA의 作成

DATA CARD는 다음과 같은 순서로 作成된다.

① 構造物 表示 CARD (1장)

1～6 프로그램의 이름(PFRAME) ····· A
11～80 구조물의 이름을 임의로 기입····· A

② 構造物의 説明 CARD (1장)

1～5 部材의 数 ····· I
6 -10 節点의 数 ····· I
11～15 支点의 数 ····· I
16～20 荷重系의 数 ····· I
21～30 弾性系数····· F

③ 節点표시 CARD (절점의 数만큼)

1～5 節点번호····· I
6～15 節点의 X座標····· F
16～25 節点의 Y座標····· F

④ 部材표시 CARD (部材의 数 만큼)

1～5 部材번호····· I
6～10 部材의 始点(NEAR END; 작은 번호) ····· I
11～15 部材의 終点(FAR END; 큰 번호)····· I
16～25 부재의 断面積····· F
26～35 部材의 断面二次모멘트 ····· F
40 部材断部條件····· I

이면 공란으로 비워둔다.
이면 1
이면 2
이면 3

⑤ 支点표시 CARD(支点의 数만큼)

1～5 支点의 번호 ····· I
10 X方向의 変位에 대한 저항여부····· I
15 Y方向의 変位에 대한 저항여부····· I
20 回転에 대한 저항여부····· I

(저항이 있으면 1, 없으면 0이 된다)

	⑩	⑮	⑳
즉 固定이면 (Rigid)	1	1	1
힌지이면 (Hinge)	1	1	0
롤러이면 (Roller)	0	1	0 이 된다.

⑥ 荷重표시 CARD (1장)

1～5 荷重이 주어진 절점의 수····· I
6～10 荷重이 주어진 部材의 수····· I

⑦ 節点荷重 CARD (하중이 주어진 節点의 数만큼)

1～5 節点의 번호····· I
6～15 荷重의 X方向 成分····· F
16～25 荷重의 Y方向 成分····· F
26～35 荷重의 모멘트 成分····· F

⑧ 部材荷重 CARD(荷重이 주어진 部材의 数만큼)

1～5 部材번호····· I
10 荷重의 形態 ····· I
11～20 LDI····· F
21～30 LD2····· F
31～40 LD3····· F
41～50 LD4····· F
51～60 LD5····· F
61～70 LD6····· F

※荷重의 形態는 다음과 같이 표시한다.

等分布 荷重이면 1
集中荷重이면 2
等変分布 荷重이면 3
그외의 경우 4

그리고 LD1～LD6 은 각각 다음의 것을 표시한다.

가) 等分布 荷重인 경우

LD1 : 等分布 荷重의 X方向 成分
LD2 : 等分布 荷重의 Y方向 成分
LD3 : 荷重의 部材軸에 垂直한 方向(Y方向) 成分

나) 集中荷重인 경우

LD_1 : 部材의 始点에서, 荷重까지 距離
LD2 : 荷重의 部材軸方向(X方向) 成分
LD3 : 荷重의 部材軸에 垂直한 方向(Y方向) 成分

다) 等変分布荷重인 경우

LD1 : 始点에서의 荷重의 X軸成分
LD2 : 終点에서의 荷重의 X軸成分
LD3 : 始点에서의 荷重의 Y軸成分
LD4 : 終点에서의 荷重의 Y軸成分

라) 기타 荷重일 때

※ 部材의 兩端이 固定이라고 볼 때

LD1 : 始点에서의 X 軸方向成分

LD2 : 始点에서의 Y 軸方向成分

LD3 : 如点에서의 Moment

LD4 : 終点에서의 X軸方向成分

LD5 : 終点에서의 Y軸方向成分

LD6 : 終点에서의 Moment

마) 한개의 부재에 두가지 이상의 荷重이 同時에 作用할 때는 같은 부재번호를 가진 部材荷重표시 CARD를 追加하면 된다.

例:

```
2        1        2.0        -3.0
2        2        300.                  -5.
```

※위에서 各 DATA設明뒤에 "A" I" "F" 等으로 표시한 것은 각 DATA의 性質을 나타내는 것으로써 다음과 같은 뜻을 가진다.

A : 文字, 数字, 記号等을 任意로 사용할 수 있다.

I : 陽의 整数(自然数)이며 소숫점을 사용하여서는 안된다. 만약 5개의 Col.에 330이란 값을 표시하고자 할 때에는 □□330과 같이 표시하여야 한다. 즉 뒤쪽에서부터 채워 나가야 한다. 만약 위의 경우에 330□□과 같이 뒤에 餘白을 남겨 둘 경우에는 33000으로 읽혀져서 計算이 틀리게 되는 것이다.

F : 소숫점이 들어 가는 数로써 정해진 구간에 쓰여지기만 하면 되나 만약 陰数인 경우에는 □□-135·28 □과 같이 数字의 바로앞에 붙여서 (—) 記号를 사용한다.

4. 例題

그림 2와 같은 상태의 構造物을 例로 들어서 풀어 보기로 한다.

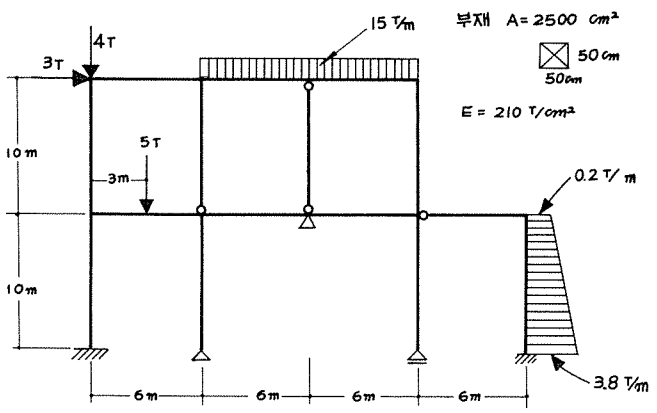

그림2. 構造物의 例

이러한 構造物을 풀기 위해서는 우선 그림3과 같이 각각의 節点과 部材에 번호를 붙인다.

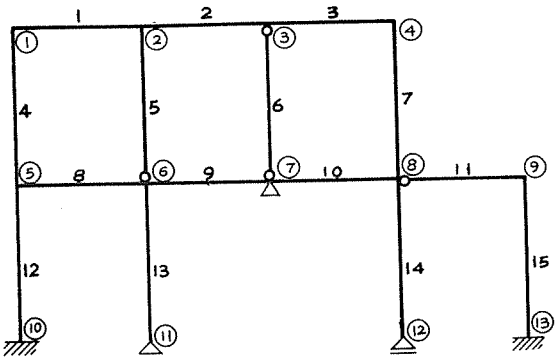

그림3. 節点과 部材의 번호를 붙인 例

그 다음에는 이미 설명한 대로 DATA를 作成해 나가면 된다. 이 例題의 풀이를 위하여 作成된 DATA는 표1과 같다.

Col. 表示	1	2	3	4	5	6
	12345 67890	12345 67890	12345 67890	12345 67890	12345 67890	12345
	PFRAME	SAMPLE STRUCTURE DATA				
	1	0.	2 000.			
	2	6 00.	2 000.			
	3	12 00.	2 000.			
	4	18 00.	2 000.			
	5	0.	1 000.			
	6	6 00.	1 000.			
	7	12 00.	1 000.			
	8	18 0.	1 000.			
	9	24 00.	1 000.			
	10	0.	0.			
	11	6 00.	0.			
	12	18 00.	0.			
	13	24 00.	0.			
	1 1	2	2 500.	520 833.		
	2 2	3	2 500.	520 833.		
	3 3	4	2 500.	520 833.		
	4 1	5	2 500.	520 833.		
	5 2	6	2 500.	520 833.	2	
	6 3	7	2 500.	520 833.	3	
	7 4	8	2 500.	520 833.		
	8 5	6	2 500.	520 833.		
	9 6	7	2 500.	520 833.		
	10 7	8	2 500.	520 833.		
	11 8	9	2 500.	520 833.	1	
	12 5	10	2 500.	520 833.		
	13 6	11				
	14 8	12				
	15 9	13				
	7 1	1				
	10 1	1	1			
	11 1	1				
	12	1				
	13 1	1	1			
	1 4					
	1	3.	-4.			
	2 1		- 0.015			
	3 1		- 0.015			
	8 2	300.		-5.		
	15 3			-0. 002	-0. 038	

표1. DATA CODING의 예

이러한 DATA에 의해서 계산된 결과는 표2와 같다.

表2. 計算結果의 例

PROBLEM SOLUTION BY * PFRAME*

SAMPLE STRUCTURE DATA

STRUCTURE DATA

NUMBER OF MEMBERS 15
NUMBER OF JOINTS 13
NUMBER OF SUPPORTS 5
NUMBER OF LOADIRGS 1
CONSTANT E= 210.00

COORDINATES OF JOINTS

JOINT	X	Y
1	0.00	2000.00
2	600.00	2000.00
3	1200.00	2000.00
4	1800.00	2000.00
5	0.00	1000.00
6	600.00	1000.00
7	1200.00	1000.00
8	1800.00	1000.00
9	2400.00	1000.00
10	0.00	0.00
11	600.00	0.00
12	1800.00	0.00
13	2400.00	0.00

MEMBER INFORMATION

MEMBER	JJ	JK	AX.	IZ.	LOC	L
1	1	2	2500.000	520833.000	0	600.000
2	2	3	2500.000	520833.000	0	600.000
3	3	4	2500.000	520833.000	0	600.000
4	1	5	2500.000	520833.000	0	1000.000
5	2	6	2500.000	520833.000	2	1000.000
6	3	7	2500.000	520833.000	3	1000.000
7	4	8	2500.000	520833.000	0	1000.000
8	5	6	2500.000	520833.000	0	600.000
9	6	7	2500.000	520833.000	0	600.000
10	7	8	2500.000	520833.000	0	600.000
11	8	9	2500.000	520833.000	1	600.000
12	5	10	2500.000	520833.000	0	1000.000
13	6	11	2500.000	520833.000	0	1000.000
14	8	12	2500.000	520833.000	0	1000.000
15	9	13	2500.000	520833.000	0	1000.000

JOINT RESTRAINTS

JOINT	X-DR	Y-DR	ROT.
7	1	1	−0
10	1	1	1
11	1	1	−0.
12	−0	1	−0
13	1	1	1

LOACING NO. 1

NUMBER OF LOADED JOINIS 1
NUMBER OF LOADED MEMBERS 4

JOINT LOADS

JOINT	X-DR	Y-DR	MOMENT
1	3.000	−4.000	−0.000

MEMBER LOADS

MEMBER	TYPE	*LOADING CONDITIONS		
2	UNIF	WX= −0.00000	WY= −.01500	
3	UNIF	WX= −0.00000	WY= −.01500	
8	CNTR	D= 300.00000	FX= −0.00000	FX= −5.00000 Y
15	LINR	WXN= −0.00000	WXF= −0.00000	WYN= −.00200WYF = −.03800

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT	X-DR	Y-DR	ROT
1	1.77464	−.00960	−.00066
2	1.77265	−.03090	−.00061
3	1.77110	−.01768	.00024
4	1.76955	−.01921	−.00051
5	.00462	−.00615	−.00096
6	.00247	−.01961	.00032
7	0.00000	0.00000	.00018
8	−.00472	−.00973	−.00097
9	−.01098	−.00241	−.00137
10	0.00000	0.00000	0.00000
11	0.00000	0.00000	−.00016
12	−.97794	0.00000	−.00097
13	0.00000	0.00000	0.00000

MEMBER FORCES

MEMBER	JOINT	AXIAL FORCE	SHEAR FORCE	MOMENT
1	1	1.7369	−2.1867	−664.2874
	2	−1.7369	2.1867	−647.7416
2	2	1.3571	3.7414	66.9011
	3	−1.3571	5.2586	−522.0792
3	3	1.3571	4.0228	443.1673
	4	−1.3571	4.9772	−729 4921
4	1	1.8133	1.2631	664.2874
	5	−1.8133	−1.2631	598.7991
5	2	5.9281	.3798	379.8347
	6	−5.9281	− .3798	0.0000
6	3	9,2814	0.0000	0.0000
	7	−9.2814	0.0000	0.0000
7	4	4.9772	1.3571	729.4921
	8	−4.9772	−1.3571	627.5868
8	5	1.8853	1.4143	−182.9940
	6	−1.8853	3.5857	−468.4260
9	6	2.1603	7802	259.6522
	7	−2.1603	− .7802	208.4410
10	7	4.1266	−1.3934	−208.4410
	8	−4.1266	1.3934	−627.5868
11	8	5.4837	−1.2637	0.0000
	9	−5.4837	1.2637	−758.2204
12	5	3.2276	− .6222	−415.8050
	10	−3.2276	.6222	−208.3854
13	6	10.2939	.1048	104.7920
	11	−10.2939	− .1048	0.0000
14	8	5.1069	0.0000	− .0000
	12	−5.1069	0.0000	.0000
15	9	1.2637	5.4837	758.2204
	13	−1.2637	14.5163	− 2274 .4937

SUPPORT REACTIONS

JOINT	X-DR	Y-DR	MOMENT
7	1.966	7.108	0.000
10	.622	3.228	− 206.385
11	− .105	10.294	0.000
12	0.000	5.107	0.000
13	14.516	1.264	−2274.494

5. 結 論

現在 国内에는 大型의 構造解析用 Program이 별로 없고 또 STRESS같은 것이 있긴하나 사용자에 대한 説明書도 제대로 갖추어져 있지 못한 형편이다. 또 1130 STRESS는 몇군데 대학에서 가지고 있으나 제대로 활용하지 못하고 있으며 学校側의 사정으로 일반에 그리 큰 도움을 주지 못하고 있다. 또 그러한 大型의 Program은 사용하기에는 편리하나 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있기도 하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 本人은 지난번에 건축학회지에 발표한 평면 TRUSS用 Program 과 여기에 소개하는 평면 FRAME用 Program을 開発하여 널리 사용할 기회를 마련함으로써 国内技術者 여러분들에게 도움을 주고 構造設計의 水準도 높일 수 있게 되기를 바란다. 평면 FRAME用의 Program은 "PFRAME" 이란 이름으로 現在 KIST의 CYBER에 기억되어 있으므로 필요로 하시는 분들은 언제든지 사용할 수가 있다. 이 PFRAME은 正確한 計算結果를 짧은 計算時間(적은 費用)에 쉽게 얻는 것을 목표로 開発되었으므로 Matrix Method를 전혀 모르는 사람이나 電子計算機에 대한 知識이 전혀 없는 사람이라도 금방 친숙해 질수 있다는 장점과 적은 経費로써 사용할 수 있다는 장점이 있다. 1130 STRESS와 PFRAME을 간단히 비교해 보면(같은 기계를 사용할 경우) 計算時間은 PFRAME이 약 3倍 빠르고 사용되는 DATA CARD의 수는 PFRAME이 약 2/3 정도이다. 계산결과는 완전히 同一하다. 따라서 계산에 드는 経費는 대략적으로 볼때 PFRAME을 쓸 경우 1130 STRESS보다 절반밖에 들지않게 되며 이러한 차이는 構造物의 크기가 커질수록(節点의 数가 많을수록) 두드러진다.