

# Co-Rotational 프로그램을 사용한 경제적인 전봇대 단면 설계

권혁준<sup>1\*</sup> · 박지운<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 토목환경공학과, <sup>2</sup>연세대학교 토목환경공학과

## 초록

본 논문에서는 흔히 볼 수 있는 전봇대가 속이 꽉 차있다는 점에서 문제제기를 시작하였다. 전봇대를 설계 할 때에 속을 꽉 채우는 것이 과연 효율적이고 경제적인 설계인지 알아보고, 그것이 아니라면 어떤 단면으로 설계를 해야 하는지에 대해 문제접근을 하게 되었고, 결과적으로 속이 빈 파이프형 부재가 실제로 저항하는 하중은 작지만 경제적으로 보았을 때 현재의 전봇대보다 효율적이라는 결론을 낼 수 있었다. 추가적으로 본 논문에서는 수직력과 Bending moment 외에 다른 힘을 생각하지 않았으므로 그런 것에 대한 충분한 연구가 있는 후에 이러한 설계가 적용되면 좋을 것이라고 본다.

**Keywords** : 전봇대, 캔틸레버 보, 처짐

## 1. 서 론

토목구조물의 설계에 있어 가장 중요한 점은 토목구조물이 외부하중에 대해 충분한 안전율을 확보하며 저항하여야 한다는 점이다. 그리고 그것과 함께 고려되어야 할 사항으로는 사용성과 내구성, 경제성, 미관 등이 있다. 그 중 경제성은 안전성과 버금될 만큼 중요한 항목이다.

전봇대는 토목구조물의 한 종류로 국내 전봇대의 76.1%의 높이가 2.5 m이고, 지름은 40~50 cm이다. 또한 전봇대의 단면은 원이다. 이런 전봇대를 설계할 때 단면을 단순한 원형이 아닌 안정성을 유지하면서 조금 더 경제적인 모양을 찾는 것이 필요하다.

## 2. 본 론

본 논문에서 살펴볼 전봇대의 단면은 원, 사각형, 원형 파이프, 사각 파이프이며, 전봇대의 높이는 2.5 m\*로 하였다. 전봇대는 콘크리트로 구성되었다고 가정하였으며, 탄성계수는 보통 콘크리트의 탄성계수인 28 GPa를 사용하였다. 또한 사용한 단면의 단면적과 단면 2차 모멘트 값은 다음 표와 같다.

	단면의 넓이( $m^2$ )	단면 2차 모멘트( $m^4$ )
지름 40 cm인 원형 단면	0.1257	0.001257
지름 34.641cm인 원형 단면	0.0942	0.000707
원형 파이프 단면	0.0942	0.001178
한 변 35.449 cm 사각형 단면	0.1257	0.001316
한 변 30.700 cm 사각형 단면	0.0942	0.000740
사각형 파이프 단면	0.0942	0.001234

표 1 가정한 단면의 넓이와 단면 2차 모멘트

### 2.1. 단면에 따른 수직력에 대한 처짐 비교

#### 2.1.1. 원형 단면

단면이 원형인 캔틸레버 보에 10,000 N의 수직력이 가해질 때 나타나는 처짐

##### 2.1.1.1. 지름 40 cm 원형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	3.80014E-06	7.24489E-05
3	0.208333	1.49865E-05	0.000141815

## 제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

4	0.3125	3.32379E-05	0.000208098
5	0.416667	5.82332E-05	0.000271298
6	0.520833	8.96513E-05	0.000331415
7	0.625	0.000127171	0.00038845
8	0.729167	0.000170471	0.000442401
9	0.833333	0.000219231	0.000493269
10	0.9375	0.000273129	0.000541055
11	1.04167	0.000331843	0.000585757
12	1.14583	0.000395054	0.000627377
13	1.25	0.00046244	0.000665914
14	1.35417	0.000533679	0.000701367
15	1.45833	0.000608451	0.000733738
16	1.5625	0.000686434	0.000763026
17	1.66667	0.000767308	0.000789231
18	1.77083	0.00085075	0.000812353
19	1.875	0.000936441	0.000832392
20	1.97917	0.00102406	0.000849348
21	2.08333	0.00111328	0.000863221
22	2.1875	0.00120379	0.000874012
23	2.29167	0.00129526	0.000881719
24	2.39583	0.00138737	0.000886343
25	2.5	0.00147981	0.000887885

표 2 지름 40 cm 원형 단면 보의 처짐

### 2.1.1.2. 지름 34.641 cm 원형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	6.7564E-06	0.000128809
3	0.208333	0.000026645	0.000252138
4	0.3125	5.90948E-05	0.000369985
5	0.416667	0.000103535	0.00048235
6	0.520833	0.000159394	0.000589235
7	0.625	0.000226102	0.000690638
8	0.729167	0.000303087	0.00078656
9	0.833333	0.000389778	0.000877
10	0.9375	0.000485605	0.00096196
11	1.04167	0.000589996	0.00104144
12	1.14583	0.00070238	0.00111543
13	1.25	0.000822188	0.00118395
14	1.35417	0.000948846	0.00124698
15	1.45833	0.00108179	0.00130454
16	1.5625	0.00122043	0.00135661
17	1.66667	0.00136422	0.0014032
18	1.77083	0.00151258	0.00144431
19	1.875	0.00166493	0.00147994
20	1.97917	0.00182071	0.00151008
21	2.08333	0.00197934	0.00153475
22	2.1875	0.00214026	0.00155393
23	2.29167	0.00230289	0.00156764
24	2.39583	0.00246666	0.00157586
25	2.5	0.002631	0.0015786

표 3 지름 34.641 cm 원형 단면 보의 처짐

### 2.1.2. 사각형 단면

단면이 사각형인 캔틸레버 보에 10,000 N의 수직력이 가해질 때 나타나는 처짐

#### 2.1.2.1. 한 변 35.449 cm 사각형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	3.62977E-06	6.92008E-05
3	0.208333	1.43146E-05	0.000135457
4	0.3125	3.17477E-05	0.000198768
5	0.416667	5.56224E-05	0.000259135
6	0.520833	0.000085632	0.000316557
7	0.625	0.00012147	0.000371034
8	0.729167	0.000162829	0.000422567
9	0.833333	0.000209402	0.000471155
10	0.9375	0.000260883	0.000516798
11	1.04167	0.000316966	0.000559496
12	1.14583	0.000377343	0.00059925
13	1.25	0.000441707	0.000636059
14	1.35417	0.000509753	0.000669923
15	1.45833	0.000581173	0.000700843
16	1.5625	0.00065566	0.000728817
17	1.66667	0.000732907	0.000753847
18	1.77083	0.000812609	0.000775933
19	1.875	0.000894458	0.000795073
20	1.97917	0.000978147	0.000811269
21	2.08333	0.00106337	0.000824521
22	2.1875	0.00114982	0.000834827
23	2.29167	0.00123719	0.000842189
24	2.39583	0.00132517	0.000846606
25	2.5	0.00141346	0.000848078

표 4 한 변 35.449 cm 사각형 단면 보의 처짐

#### 2.1.2.2. 한 변 30.700 cm 사각형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	3.62977E-06	6.92008E-05
3	0.208333	1.43146E-05	0.000135457
4	0.3125	3.17477E-05	0.000198768
5	0.416667	5.56224E-05	0.000259135
6	0.520833	0.000085632	0.000316557
7	0.625	0.00012147	0.000371034
8	0.729167	0.000162829	0.000422567
9	0.833333	0.000209402	0.000471155
10	0.9375	0.000260883	0.000516798
11	1.04167	0.000316966	0.000559496
12	1.14583	0.000377343	0.00059925
13	1.25	0.000441707	0.000636059
14	1.35417	0.000509753	0.000669923
15	1.45833	0.000581173	0.000700843
16	1.5625	0.00065566	0.000728817
17	1.66667	0.000732907	0.000753847
18	1.77083	0.000812609	0.000775933
19	1.875	0.000894458	0.000795073
20	1.97917	0.000978147	0.000811269
21	2.08333	0.00106337	0.000824521
22	2.1875	0.00114982	0.000834827
23	2.29167	0.00123719	0.000842189
24	2.39583	0.00132517	0.000846606
25	2.5	0.00141346	0.000848078

표 5 한 변 30.700 cm 사각형 단면 보의 처짐

#### 2.1.3. 파이프 단면

## 제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

단면이 파이프인 캔틸레버 보에 10,000 N의 수직력이 가해질 때 나타나는 처짐

### 2.1.3.1. 원형 파이프 단면

바깥지름 40 cm, 안지름 20 cm

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	4.05499E-06	7.73076E-05
3	0.208333	1.59915E-05	0.000151325
4	0.3125	3.54669E-05	0.000222054
5	0.416667	6.21385E-05	0.000289492
6	0.520833	9.56635E-05	0.000353641
7	0.625	0.000135699	0.0004145
8	0.729167	0.000181903	0.00047207
9	0.833333	0.000233933	0.000526349
10	0.9375	0.000291445	0.000577339
11	1.04167	0.000354098	0.00062504
12	1.14583	0.000421548	0.000669451
13	1.25	0.000493452	0.000710572
14	1.35417	0.000569469	0.000748403
15	1.45833	0.000649256	0.000782945
16	1.5625	0.000732468	0.000814197
17	1.66667	0.000818766	0.000842159
18	1.77083	0.000907804	0.000866832
19	1.875	0.000999241	0.000888214
20	1.97917	0.00109273	0.000906308
21	2.08333	0.00118794	0.000921111
22	2.1875	0.00128452	0.000932625
23	2.29167	0.00138212	0.000940849
24	2.39583	0.00148041	0.000945784
25	2.5	0.00157905	0.000947429

표 6 원형 파이프 단면 보의 처짐

### 2.1.3.2. 사각 파이프 단면

바깥 변 35.449 cm, 안쪽 변 17.725 cm

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	3.87097E-06	7.37993E-05
3	0.208333	1.52658E-05	0.000144458
4	0.3125	3.38574E-05	0.000211977
5	0.416667	5.93186E-05	0.000276355
6	0.520833	9.13222E-05	0.000337592
7	0.625	0.000129541	0.00039569
8	0.729167	0.000173649	0.000450647
9	0.833333	0.000223317	0.000502463
10	0.9375	0.000278219	0.000551139
11	1.04167	0.000338029	0.000596675
12	1.14583	0.000402418	0.00063907
13	1.25	0.000471059	0.000678325
14	1.35417	0.000543626	0.00071444
15	1.45833	0.000619792	0.000747414
16	1.5625	0.000699228	0.000777248
17	1.66667	0.000781609	0.000803941
18	1.77083	0.000866607	0.000827494
19	1.875	0.000953895	0.000847907
20	1.97917	0.00104315	0.000865179
21	2.08333	0.00113403	0.00087931

22	2.1875	0.00122623	0.000890302
23	2.29167	0.0013194	0.000898153
24	2.39583	0.00141323	0.000902863
25	2.5	0.00150739	0.000904434

표 7 사각 파이프 단면 보의 처짐

### 2.1.4. 단면 모양이 다른 보의 수직력에 대한 처짐 비교

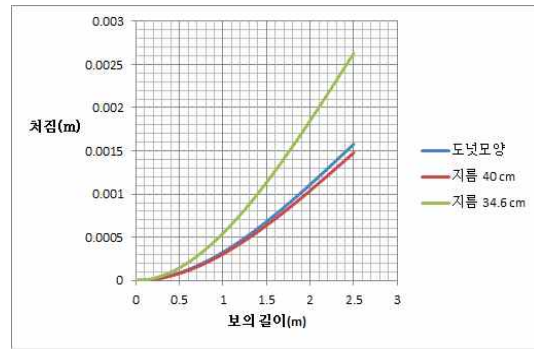


그림 1 원형 단면의 처짐 비교

원형 단면 보에서, 단면적이 0.75배인 원형 단면에서의 처짐은 2.5 m를 기준으로 1.78배 크게 나타났다. 또한 같은 단면적을 가지는 원형 단면과 파이프 단면에서의 처짐의 비교는 원형 단면에서의 처짐이 1.67배 크게 생기는 것으로 나타나 파이프 단면을 사용하는 것이 경제적인을 알 수 있다. 파이프 단면은 바깥지름은 같으나 안쪽이 짝 차있는 보에 비해서도 하중에 대한 처짐이 1.07배 밖에 나타나지 않았다.

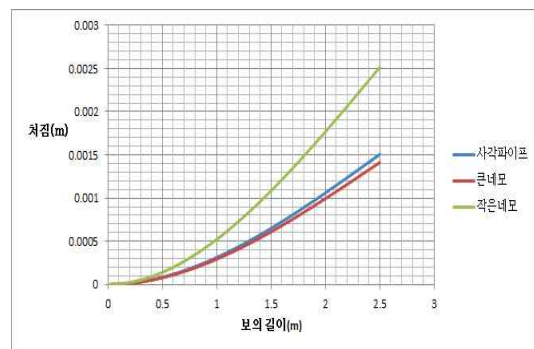


그림 2 사각형 단면의 처짐 비교

사각형 단면의 보에서, 단면적이 차이가 0.75배인 사각형 단면에서의 처짐은 2.5 m를 기준으로 1.78배 크게 나타났다. 또한 같은 단면적을 가지는 사각형 단면과 파이프 단면에서의 처짐은 사각형 단면에서의 처짐이 원형 단면일 때와 마찬가지로 1.67배 크게 생기는 것으로 나타났다. 사각형 보에서도 마찬가지로 경제성은 파이프 단면이

## 제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

우수한 것으로 나타났다.

### 2.2. 단면에 따른 Bending moment에 대한 처짐 비교

#### 2.2.1. 원형 단면

단면이 원형인 캔틸레버 보에 10,000  $N \cdot m$ 의 Bending moment가 가해질 때 나타나는 처짐

##### 2.2.1.1. 지름 40 cm 원형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	1.54147E-06	2.95962E-05
3	0.208333	6.16587E-06	5.91923E-05
4	0.3125	1.38732E-05	8.87885E-05
5	0.416667	2.46635E-05	0.000118385
6	0.520833	3.85367E-05	0.000147981
7	0.625	5.54928E-05	0.000177577
8	0.729167	7.55319E-05	0.000207173
9	0.833333	9.86539E-05	0.000236769
10	0.9375	0.000124859	0.000266365
11	1.04167	0.000154147	0.000295962
12	1.14583	0.000186518	0.000325558
13	1.25	0.000221971	0.000355154
14	1.35417	0.000260508	0.00038475
15	1.45833	0.000302128	0.000414346
16	1.5625	0.00034683	0.000443942
17	1.66667	0.000394616	0.000473539
18	1.77083	0.000445484	0.000503135
19	1.875	0.000499435	0.000532731
20	1.97917	0.00055647	0.000562327
21	2.08333	0.000616587	0.000591923
22	2.1875	0.000679787	0.000621519
23	2.29167	0.00074607	0.000651116
24	2.39583	0.000815436	0.000680712
25	2.5	0.000887885	0.000710308

표 8 지름 40 cm 원형 단면 보의 처짐

##### 2.2.1.2. 지름 34.641 cm 원형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	2.74063E-06	5.26201E-05
3	0.208333	1.09625E-05	0.00010524
4	0.3125	2.46657E-05	0.00015786
5	0.416667	0.00004385	0.00021048
6	0.520833	6.85157E-05	0.0002631
7	0.625	9.86626E-05	0.00031572
8	0.729167	0.000134291	0.00036834
9	0.833333	0.0001754	0.00042096
10	0.9375	0.000221991	0.000473581
11	1.04167	0.000274063	0.000526201
12	1.14583	0.000331616	0.000578821
13	1.25	0.00039465	0.000631441
14	1.35417	0.000463166	0.000684061
15	1.45833	0.000537163	0.000736681

16	1.5625	0.000616641	0.000789301
17	1.66667	0.000701601	0.000841921
18	1.77083	0.000792041	0.000894541
19	1.875	0.000887963	0.000947161
20	1.97917	0.000989367	0.000999781
21	2.08333	0.00109625	0.0010524
22	2.1875	0.00120862	0.00110502
23	2.29167	0.00132646	0.00115764
24	2.39583	0.00144979	0.00121026
25	2.5	0.0015786	0.00126288

표 9 지름 34.641 cm 원형 단면 보의 처짐

#### 2.2.2. 사각형 단면

단면이 사각형인 캔틸레버 보에 10,000  $N \cdot m$ 의 Bending moment가 가해질 때 나타나는 처짐

##### 2.2.2.1. 한 변 35.449 cm 사각형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	1.47236E-06	2.82693E-05
3	0.208333	5.88943E-06	5.65386E-05
4	0.3125	1.32512E-05	8.48079E-05
5	0.416667	2.35577E-05	0.000113077
6	0.520833	0.000036809	0.000141346
7	0.625	5.30049E-05	0.000169616
8	0.729167	7.21456E-05	0.000197885
9	0.833333	0.000094231	0.000226154
10	0.9375	0.000119261	0.000254424
11	1.04167	0.000147236	0.000282693
12	1.14583	0.000178155	0.000310962
13	1.25	0.00021202	0.000339231
14	1.35417	0.000248829	0.000367501
15	1.45833	0.000288582	0.00039577
16	1.5625	0.000331281	0.000424039
17	1.66667	0.000376924	0.000452309
18	1.77083	0.000425512	0.000480578
19	1.875	0.000477044	0.000508847
20	1.97917	0.000531521	0.000537116
21	2.08333	0.000588943	0.000565386
22	2.1875	0.00064931	0.000593655
23	2.29167	0.000712622	0.000621924
24	2.39583	0.000778878	0.000650194
25	2.5	0.000848079	0.000678463

표 10 한 변 35.449 cm 사각형 단면 보의 처짐

##### 2.2.2.2. 한 변 30.700 cm 사각형 단면

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	2.61841E-06	5.02735E-05
3	0.208333	1.04736E-05	0.000100547
4	0.3125	2.35657E-05	0.00015082
5	0.416667	4.18946E-05	0.000201094
6	0.520833	6.54603E-05	0.000251367
7	0.625	9.42628E-05	0.000301641
8	0.729167	0.000128302	0.000351914

## 제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

9	0.833333	0.000167578	0.000402188
10	0.9375	0.000212091	0.000452461
11	1.04167	0.000261841	0.000502735
12	1.14583	0.000316828	0.000553008
13	1.25	0.000377051	0.000603282
14	1.35417	0.000442511	0.000653555
15	1.45833	0.000513208	0.000703829
16	1.5625	0.000589142	0.000754102
17	1.66667	0.000670313	0.000804376
18	1.77083	0.000756721	0.000854649
19	1.875	0.000848365	0.000904923
20	1.97917	0.000945246	0.000955196
21	2.08333	0.00104736	0.00100547
22	2.1875	0.00115472	0.00105574
23	2.29167	0.00126731	0.00110602
24	2.39583	0.00138514	0.00115629
25	2.5	0.0015082	0.00120656

표 11 한 변 30.700 cm 사각형 단면 보의 처짐

### 2.2.3. 파이프 단면

단면이 파이프인 캔틸레버 보에 10,000  $N \cdot m$ 의 Bending moment가 가해질 때 나타나는 처짐

#### 2.2.3.1. 원형 파이프 단면

바깥지름 40 cm, 안지름 20 cm

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	1.64484E-06	0.000031581
3	0.208333	6.57937E-06	6.31619E-05
4	0.3125	1.48036E-05	9.47429E-05
5	0.416667	2.63175E-05	0.000126324
6	0.520833	4.11211E-05	0.000157905
7	0.625	5.92143E-05	0.000189486
8	0.729167	8.05973E-05	0.000221067
9	0.833333	0.00010527	0.000252648
10	0.9375	0.000133232	0.000284229
11	1.04167	0.000164484	0.00031581
12	1.14583	0.000199026	0.000347391
13	1.25	0.000236857	0.000378972
14	1.35417	0.000277978	0.000410553
15	1.45833	0.000322389	0.000442134
16	1.5625	0.000370089	0.000473715
17	1.66667	0.00042108	0.000505295
18	1.77083	0.000475359	0.000536876
19	1.875	0.000532929	0.000568457
20	1.97917	0.000593788	0.000600038
21	2.08333	0.000657937	0.000631619
22	2.1875	0.000725375	0.0006632
23	2.29167	0.000796104	0.000694781
24	2.39583	0.000870121	0.000726362
25	2.5	0.000947429	0.000757943

표 12 원형 파이프 단면 보의 처짐

#### 2.2.3.2. 사각 파이프 단면

바깥 변 35.449 cm, 안쪽 변 17.725 cm

Node	x(m)	y(m)	th(rad)
1	0	0	0
2	0.104167	1.5702E-06	3.01478E-05
3	0.208333	6.28079E-06	6.02956E-05
4	0.3125	1.41318E-05	9.04434E-05
5	0.416667	2.51232E-05	0.000120591
6	0.520833	3.92549E-05	0.000150739
7	0.625	5.65271E-05	0.000180887
8	0.729167	7.69397E-05	0.000211035
9	0.833333	0.000100493	0.000241182
10	0.9375	0.000127186	0.00027133
11	1.04167	0.00015702	0.000301478
12	1.14583	0.000189994	0.000331626
13	1.25	0.000226108	0.000361774
14	1.35417	0.000265363	0.000391921
15	1.45833	0.000307759	0.000422069
16	1.5625	0.000353294	0.000452217
17	1.66667	0.000401971	0.000482365
18	1.77083	0.000453787	0.000512513
19	1.875	0.000508744	0.00054266
20	1.97917	0.000566841	0.000572808
21	2.08333	0.000628079	0.000602956
22	2.1875	0.000692457	0.000633104
23	2.29167	0.000759976	0.000663252
24	2.39583	0.000830635	0.000693399
25	2.5	0.000904434	0.000723547

표 13 사각 파이프 단면 보의 처짐

### 2.2.4. 단면 모양이 다른 보의 Bending moment에 대한 처짐 비교

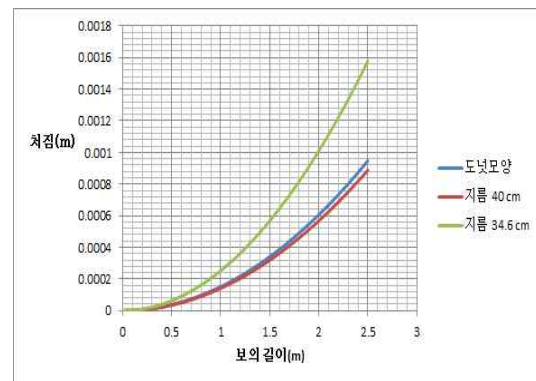


그림 3 원형 단면의 처짐 비교

원형 단면 보에서, 단면적이 0.75배인 작은 원형 단면에서의 Bending moment에 대한 처짐은 원래의 속이 짝차있는 보에 비해 1.78배 크게 나타났다. 또한 같은 단면적을 가지는 원형 파이프 단면 보의 처짐보다는 1.67배 크게 나타났다. 원형 파이프 단면 보의 처짐은 자재는 0.75배 밖에 사용하지 않았지만 같은 하중에 대한 처짐은 1.07배 밖에 나타나지 않았다.

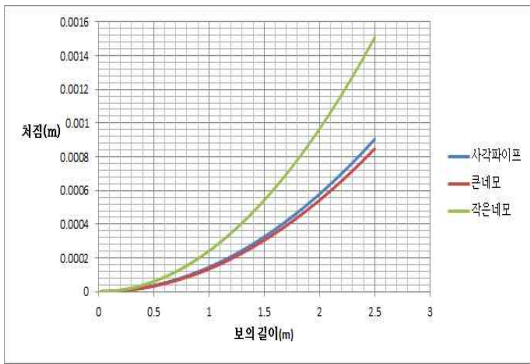


그림 4 사각형 단면의 처짐 비교

사각형 단면 보에서도 원형 단면 보와 마찬가지로의 결과가 나타났다. 작은 사각 단면 보와 사각 파이프 보는 처짐이 큰 사각 단면 보에 비해 각각 1.67배와 1.07배가 나타났다.

### 2.3. 파이프 단면끼리의 비교

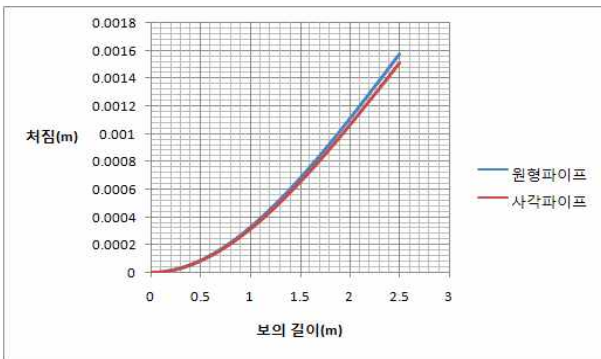


그림 5 파이프 단면의 수직력에 대한 처짐 비교

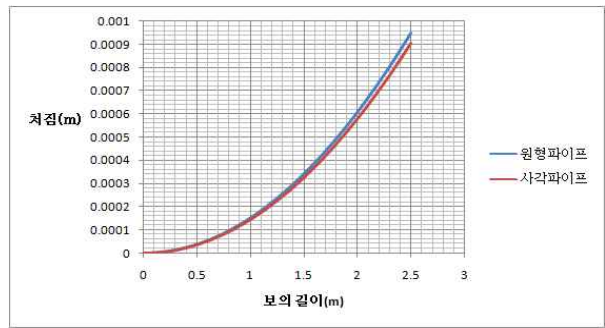


그림 6 파이프 단면의 Bending moment에 대한 처짐 비교

같은 단면적을 가지는 원형 파이프 단면과 사각 파이프 단면의 비교에서는 원형 파이프 단면의 처짐이 1.05배 크게 나타났다. 이를 통하여 사각 파이프 단면이 동일한 하중에 대해 저항을 크게 하는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

각기 다른 단면을 가지는 캔틸레버 보에 각각 수직력과 Bending moment를 주었을 때, 가장 처짐이 작게 나타나는 것은 속이 짝 차고, 단면적이 넓은 보이다. 하지만 단면이 파이프인 보는 하중을 가장 잘 버티는 보에 비해 자재를 단순 부피로 따졌을 경우 74.94%밖에 사용하지 않았지만 처짐은 1.066배 밖에 나타나지 않았다. 또한 단면이 파이프인 부재끼리 비교 했을 시, 원형 파이프 부재는 사각 파이프 부재에 비해 처짐이 1.048배 나타났다. 따라서 차후 전봇대를 설계 할 때에는 이러한 점을 고려하여 속이 짝 찬 전봇대 보다는 자재를 아끼면서 하중은 잘 버티는 파이프형 모델을 만드는 것이 좋을 것이라 판단된다. 이와 같은 설계는 자재를 아끼는 것 뿐만 아니라 전봇대 외부에 감겨져 있는 전선을 전봇대 안으로 넣음으로써 미관을 더 좋게 할 수 있고 전선 피복이 보다 유지가 잘 되도록 할 수 있는 장점도 있다.