

# 고무재를 사용한 판재의 차량하중에 의한 구조해석

윤성철\*(한국철도기술연구원)

## Structure Analysis of Rubber Panel by Truck Weight

S. C. Yoon(KRRI)

### ABSTRACT

As the public use part of the railway and the road, the railway crossing is important to work properly by two transportation means. Also, It is important to provide the good face of friction on the railway crossing in aspect of protecting the railway crossing accident. Lately, Many kinds of the material are used for railway crossing panel. As they have a various fault, it was studied to analyze the structural action of the new material, rubber panel.

This paper analyzed stress and displacement by truck passing weight using the Finite Element Modeling.

**Key Words** : Wheel Weight (윤하중), Stress Analysis (응력해석), Finite Element Method (유한요소법)

### 1. 서론

철도와 도로가 교차하는 경우 교차하는 부분을 건널목이라 한다. 건널목은 철도와 도로의 공용부이기 때문에 두 교통수단의 원활한 소통을 위해 중요하며, 또한 사고방지의 관점에서 건널목에서 양호한 노면을 제공하는 것은 대단히 중요하다고 할 수 있다. 도로와 철도선로가 교차할 경우 행인 및 도로차량의 원활한 통행로 확보와 이들 통행시 철도레일의 보호를 위해 건널목 판재를 사용하여야 한다. 건널목으로는 현재 여러가지 형태의 판재가 주로 사용된다. 그러나 고정못이 자주 돌출되어 통과차량의 타이어를 손상시키거나 단차로 인한 중차량 통과시 큰 충격 및 소음이 발생하며 이로 인해 판재가 조기 파손 되어 단차 등에 의해 사고의 위험성이 높고 빈번히 문제가 발생되고 있는 실정이다. 그리하여 철길건널목이 상습정체구간 및 차량파손의 원인을 제거하기도 한다. 최근에 외국에서는 새로운 철길 건널목 포장재로서 고무판재가 보급되어 사용되고 있으며 앞으로 사용이 확대될 것으로 예상된다. 그러나 국내의 경우 주로 경험적 방법에 따라 설계 및 유지관리를 하고 있는 실정이어서 최근까지 사용되고 있는 건널목의 근본적인 문제점 해결방안은 제시되

어 있지 않다.

### 2. 수치해석용 모델

본 논문에서는 차량하중에 의해 고무판재에 발생하는 실거동을 정확히 나타낼 수 있도록 고무판재, 레일침목 및 도상을 3차원 유한요소를 사용하여 모델링하였다. 모델링시 레일과 PC침목은 Fig. 1과 같이 보요소(Beam Element)를, Fig. 2와 같이 고무판재는 셸요소(Shell Element)를 사용하여 이상화하였으며, 하부판재와 침목사이, 침목과 도상사이, 하부판재와 도상사이 및 상·하부판재간 접촉면에는 스프링요소(Spring Element)를 사용하여 접촉상태를 이상화하였다. 이때 상·하부판재간 접촉면을 이상화한 스프링은 일반적인 선형 스프링요소와 상부판재의 들림정도를 검토하기 위하여 압축만을 받는 비선형 스프링요소의 두가지 경우에 대하여 각각 적용하였다<sup>3</sup>. 또한 건널목 폭은 고무판재 도면을 참조하여 10m(단선기준)로 모델링하였고 차량하중에 영향을 받지 않도록 건널목 전·후로 10m씩의 자갈도상구간을 추가로 모델링하였으며, 레일 끝단의 경계조건은 핀(Pin)으로 하였다. Fig. 3은 고무판재, 레일, 침목 및 도상의 전체 3차원 해석모델을 보여준다.

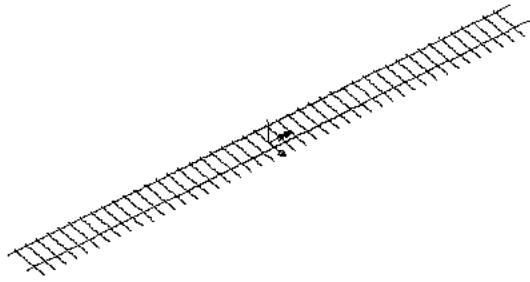
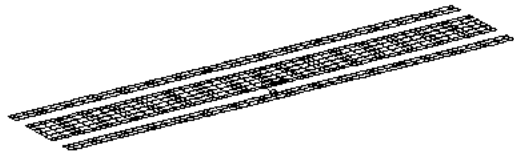
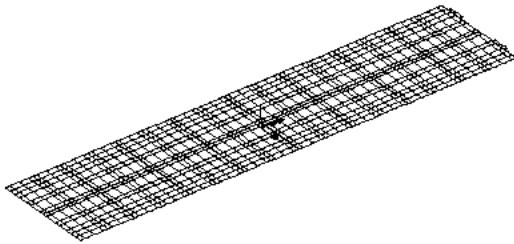


Fig. 1 Model of rail and tie applied Beam Element



(a) Upper Panel



(b) Lower Panel

Fig. 2 Model of panel applied Shell Element

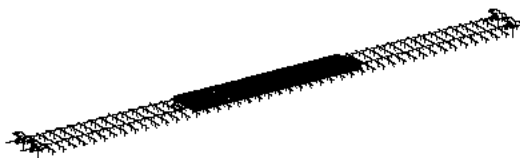


Fig. 3 3-D analysis model for all parts

### 3. 구조안전성 해석

#### 3.1 차량하중에 의한 응력 및 변위해석

고무판재의 3차원 FEM모델을 사용하여 차량통과하중에 의한 응력 및 변위해석을 실시하였다. 이때 차량하중은 2대의 DB-24 표준트럭하중(총중량 43.2 t)을 사용하였으며, 재하위치는 고무판재에 대하여 중앙부에 대칭으로 재하되는 경우(LC 1)와 최악 조건을 고려하여 편측으로 재하되는 경우(LC 2)의 2가지 경우에 대하여 고려하였다. 또한 상·하부판재간의 접촉면을 이상화시킨 스프링요소에 대하여 선형 거동을 하는 경우와 비선형 거동을 하는 경우에 대해서도 각각 해석을 수행하였다. 해석결과 선형해석시와 비선형해석시의 해석결과는 응력이나 압축변위의 경우 서로 거의 차이가 없었으나 비선형해석의 경우 선형해석과는 달리 상부판재에서 들림현상이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 선형해석시에는 일반적인 선형 스프링요소를 적용한데 반하여 비선형해석시에는 압축만을 받는 비선형 스프링요소를 적용하였기 때문이며 선형해석의 경우보다 고무판재의 실거동에 더 부합되는 것으로 판단된다. 고무판재에 발생하는 최대응력은  $14.48 \text{ kgf/cm}^2$ , 최대변위는 하향으로  $18.11\text{mm}$ , 상향으로  $2.87\text{mm}$ 인 것으로 나타났다. Fig. 4에 DB-24하중의 제원 및 윤하중을, Fig. 5에 DB-24하중의 재하위치를, Table 1에 DB-24하중 작용시 고무판재에 발생하는 최대응력 및 변위해석 결과를 나타내었으며, Fig. 6~7에 선형해석시와, Fig. 8~9에 비선형해석시의 상·하부판재에 발생하는 응력 및 처짐분포도를 나타내었다.

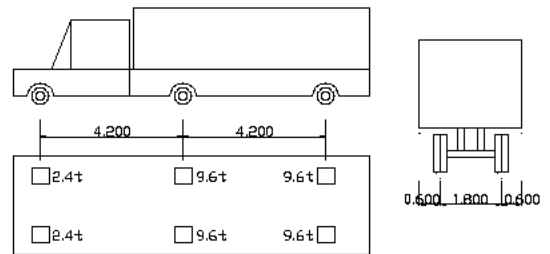
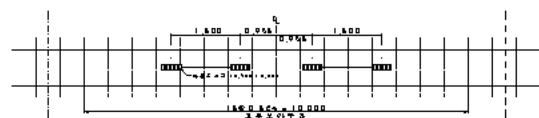
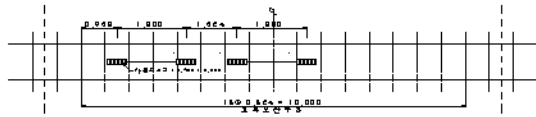


Fig. 4 DB-24 weight and wheel weight



(a) Symmetric weigh from center (LC 1)



(b) Not symmetric weigh from center (LC 2)

Fig. 5 Weight position of DB-24 weight

Table 1 Maximum stress and displacement by DB-24 weight

구 분	선형해석		비선형해석		허용응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	변위 (mm)	응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	변위 (mm)		
상부 관재	LC 1	6.12	-5.56 / 0.25	6.12	-5.60 / 0.98	22.5
	LC 2	14.48	-18.00 / 0.82	14.48	-18.11 / 2.87	
하부 관재	LC 1	0.20	-3.92 / 0.13	0.20	-3.95 / 0.13	
	LC 2	0.61	-12.67 / 0.46	0.61	-12.76 / 0.47	

주) : + , - 하향

```

Combination 5
MID STRESS
CONTOURS OF SE
0
68445.3
17888
28538
36378.1
42227
54067.2
618117
707882
786008
884498
972898
1.0813e+008
1.1497e+008
1.2582e+008
1.3288e+008
0.1418E+07 at Node 4588
Min 87.52 at Node 5383
  
```



< Stress diagram (pa) : LC 2 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.0178419
-0.0184009
-0.0132887
-0.0161123
-0.0128874
-0.0117813
-0.0105852
-0.0094092
-0.0082829
-0.00708877
-0.00588036
-0.00470451
-0.00352226
-0.00117619
0
0.8188E-03 at Node 4588
Min -0.1800E-01 at Node 4529
  
```



< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 6 Stress and displacement diagram of upper panel (linear analysis)

```

Combination 5
MID STRESS
CONTOURS OF SE
0
3803.72
7207.43
10811.2
14414.9
18018.6
21622.3
25226.1
28829.7
32433.5
36037.2
39640.9
43244.6
46848.3
50452.0
54055.8
0.5767E+05 at Node 4501
Min 15.16 at Node 5715
  
```



< Stress diagram (pa) : LC 2 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.0128088
-0.0114881
-0.0101674
-0.0088467
-0.00752603
-0.00620538
-0.00488473
-0.00356408
-0.00224343
-0.00092278
-0.00060213
-0.00028148
-0.00184115
-0.000520575
0
0.4825E-03 at Node 4588
Min -0.1287E-01 at Node 4328
  
```



< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 7 Stress and displacement diagram of lower panel (linear analysis)

```

Combination 5
MID STRESS
CONTOURS OF SE
0
88743.1
177486
266229
354872
443715
532458
621201
709944
798688
887431
976174
1.06492e+008
1.15366e+008
1.2424e+008
1.33114e+008
0.1420E+07 at Node 4439
Min 81.52 at Node 8676
  
```



< Stress diagram (pa) : LC 2 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
0
-0.017045
-0.0157339
-0.0144223
-0.0131107
-0.0117991
-0.0104875
-0.0091759
-0.0078643
-0.0065527
-0.0052411
-0.0039295
-0.0026179
-0.0013063
0
0.0013110
0.0026220
0.0049330
Min: -0.1811E-01 at Node 4827

```



< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 8 Stress and displacement diagram of upper panel (Nonlinear analysis)

```

Combination 5
WID STRESS
CONTOURS OF S2
0
4038.03
8076.06
12114.1
16152.1
20190.2
24228.2
28266.3
32304.3
36342.4
40380.4
44418.5
48456.5
52494.6
56532.6
60570.7
64608.7
Min: 0.6480E+05 at Node 8527
Max: 21.28 at Node 34518

```



< Stress diagram (pa) : LC 2 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
0
-0.0124005
-0.0111778
-0.0104729
-0.0098205
-0.0092475
-0.0086704
-0.0080934
-0.0075163
-0.0069393
-0.0063622
-0.0057851
-0.0052080
-0.0046309
-0.0040538
-0.0034767
-0.0028996
-0.0023225
0
0.47075E-03 at Node 3922
Min: -0.1278E-01 at Node 8162

```



< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 9 Stress and displacement diagram of lower panel (Nonlinear analysis)

### 3.2 설계보완방안

대상 고무판재 구조안전성 해석결과 응력과 변위에서 큰 영향은 없었으나 다만 차량하중에 의한 변위에서 비선형해석인 경우 상부판재에서 하향으로 최대변위 18mm가 발생하였다. 이 변위량을 감소시키기 위해서 상부판재의 내부에 8mm의 보강판을 추가하는 것으로 해석해 본 결과 처짐량을 크게 줄일

수는 없었으며, 재질의 탄성계수가 높은 열처리한 보강판을 추가하여 해석한 결과 편측으로 제하되는 경우의 LC 2에서 변위가 5mm정도 감소하는 것으로 나타났다. Table 2에 상부판재의 보강판을 열처리한 경우 해석결과를 나타내었으며 Fig. 10에 비선형해석시의 상부판재에 발생하는 처짐분포도를, Fig. 11에 하부판재에 발생하는 처짐분포도를 나타내었다.

Table 2 Analysis in case of upper panel stiffener to be quenched

구 분		비선형해석	
		응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	변위 (mm)
상부판재	LC 1	10.10	-4.37 / 0.61
	LC 2	26.42	-13.32 / 1.94
하부판재	LC 1	0.20	-3.08 / 0.28
	LC 2	0.61	-9.36 / 0.96

```

Combination 4
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.00435975
-0.00404565
-0.00373155
-0.00341745
-0.00310335
-0.00278925
-0.00247515
-0.00216105
-0.00184695
-0.00153285
-0.00121875
-0.00090465
-0.00059055
-0.00027645
0
0.000031187
Max: 0.4072E+03 at Node 4801
Min: -0.4372E+02 at Node 5425

```



< Displacement diagram (m) : LC 1 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.0124005
-0.0114467
-0.0104929
-0.0095391
-0.0085853
-0.0076315
-0.0066777
-0.0057239
-0.0047701
-0.0038163
-0.0028625
-0.0019087
-0.0009549
0
0.00095395
0.0019079
0.0028619
Min: -0.1332E-01 at Node 4827

```



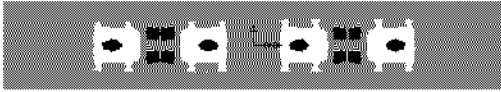
< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 10 displacement diagram of upper panel (Nonlinear analysis)

```

Combination 4
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.00292551
-0.00272552
-0.00251615
-0.00230647
-0.00209679
-0.00188711
-0.00167743
-0.00146776
-0.00125806
-0.00104838
-0.000838717
-0.000629038
-0.000419359
-0.000209679
0
0.000209679
Max 0.2766E-02 at Node 4133
Min -0.3078E-02 at Node 6742

```

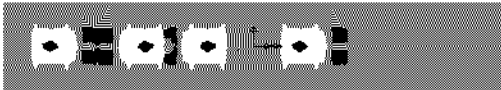


< Displacement diagram (m) : LC 1 >

```

Combination 5
DISPLACEMENT
CONTOURS OF DZ
-0.00903351
-0.00882382
-0.00774301
-0.00709776
-0.00645251
-0.00580726
-0.00516201
-0.00451676
-0.00387151
-0.00322625
-0.002581
-0.00193575
-0.0012905
-0.000645251
0
0.000645251
Max 0.9577E-02 at Node 4114
Min -0.9266E-02 at Node 6182

```



< Displacement diagram (m) : LC 2 >

Fig. 11 displacement diagram of lower panel  
(Nonlinear analysis)

해석결과 상부판재에서 발생하는 최대변위는 하향으로 13.32mm, 하부판재에서 발생하는 최대변위는 하향으로 9.36mm인 것으로 나타났다. 보완전 보다 최대변위가 생기는 상부판재에서 약 5mm 변위가 감소하는 것으로 나타났다. 차량통과 DB-24하중에 의한 경우에 변위는 발생되나 고무재질의 탄성범위 내의 압축현상으로 볼 수 있고 판재의 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고무판재를 3차원 FEM모델을 이용하여 모형화하였으며 차량통과하중에 대한 해석결과 고무판재에 발생하는 최대응력은 14.48 kgf/cm<sup>2</sup>, 최대변위는 하향으로 18.11mm, 상향으로 2.87mm인 것으로 나타났다.

설계보완방안에서 차량하중에 대한 응력과 변위를 상부판재의 보강판을 열처리한 경우 해석해 보면 고무판재에 발생하는 최대변위는 하향으로 13.32mm인 것으로 나타나 변위가 감소하는 것으로 나타났

다. 차량통과 DB-24하중에 의한 경우에 변위는 발생되나 고무재질의 탄성범위 내의 압축현상으로 볼 수 있으며 판재의 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

#### 참고 문헌

1. 서사범, “선로공학”, 도서출판 삶과 꿈, 1999
2. FEA Ltd, “Lusas Powerful FE technology for specialist applications”, 1999
3. 권호진, “최신도로공학”, 기문당, 1996
4. 대한토목학회, “도로교표준시방서”, 1996
5. 이종득, “철도공학개론”, 노해출판사, 2000