

실험계획법을 이용한 도시철도차량의 동특성 영향인자 분석연구

A Study on Dynamic Envelope Effect Factors Analysis of EMU using Design of Experiment

*정종덕¹, #편장식¹

*J. D.Chung¹, #J. S.Pyun(jspyun@krri.re.kr)¹

¹한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Key words : Railway Vehicle, Design of Experiment, Design Parameter

1. 서론

PSD와 같은 여러 가지 구조물들이 승객의 안전을 위한 목적으로 설치되어졌지만 이렇게 설치된 구조물이 운행 중인 차량과 간섭이 일어날 수 있다. 이러한 경우 곡선이 있는 승강장에 도시철도 차량이 진입했을 때에 객차는 쏠림과 회전운동을 하기 때문에 구조물과 충분한 거리를 가지고 있어야 한다. 차량의 안전운행을 위해 이러한 간섭이 어떠한 영향을 미치는지 확인할 필요가 있다.

본 연구에서는 곡선부 승강장을 도시철도차량이 통과시 동적차량한계에 영향을 미치는 인자를 분석하고, 분석한 영향인자들은 각 인자들의 영향을 알아보기 위하여 해당 인자만을 변화시키고 그 외의 인자들은 동일하게 하여 시뮬레이션을 실행하여 각 인자의 도시철도차량 동적 차량한계에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 동적 차량한계 모델링

도시철도 선로 주위에는 여러 가지 설비 및 구조물 등이 있는데 이러한 운행환경에서 도시철도차량의 안전운행을 유지하기 위하여 제한된 차량의 크기를 두어야 하는데 이를 차량한계라고하며, 또한 시설물의 한계를 정한 것을 건축한계라 한다. 차량한계를 결정하는 요인에는 여러 가지 영향을 미치는 인자들이 있는데 차량의 운행 속도, 선로의 종류, 선로의 조건, 도시철도차량에 가해지는 승객 하중 등이다.

동역학 해석 모델은 도시철도차량 1량에 대해 7개의 강체로 모델링되었으며, 휠셋과 대차프레임 사이에는 1차 현수장치로 연결되고 대차와 구조체는 2차 현수장치로 연결된다. Fig. 1은 도시철도차량의 강체모델을 나타낸 것으로 차체의 형상은 차량한계를 기준으로 하여 모델링을 하였다. 휠과

레일 사이의 접촉은 DAFUL에서 제공하는 접촉요소를 사용하였고, 접촉 요소는 접촉 상수와 감쇠 계수를 이용하여 침투량을 허용하는 컴플라이언스 방법을 사용하여 접촉력을 계산하며, 마찰은 쿨롱 마찰을 정의하도록 하였다. 또한 비선형적인 형상을 그대로 살려서 모델링을 하였다.

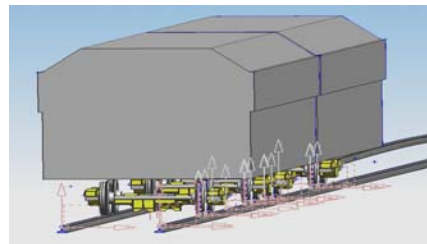


Fig. 1 Vehicle modeling

3. 영향인자 분석

차량은 속도가 높아지고 중량이 늘어나면 동적 거동이 커지는 현상을 볼 수가 있는데 속도에 따른 동적거동, 레일이 50kgN과 60kg를 적용할 때, 도시철도차량 표준규격에 나와 있는 차량의 종류(A, B Type)에 따른 동적거동, 차량의 편성 방법에 따른 동적거동을 해석하였다. 차량속도에 따른 동적거동을 분석하기 위하여 승강장을 진입하는 차량이 45km/h의 속도로 무정차하고 역을 지나쳐 가는 경우와 제동을 걸어 승강장에 정차하는 경우에 대해 해석하였다. 레일의 종류에 따라 두부의 형상 및 크기의 차이가 있어 도시철도차량의 동적 거동에 있어서 차이가 날 것으로 예상된다. 차량의 종류에 따른 해석을 하는 경우, 도시철도차량은 A 타입의 대형차와 B 타입의 중형차로 분류가 되어 있어 차량의 크기에 따른 해석을 진행하였다. 차량 편성방법에 따른 해석을 하는 경우, 도시철도차량은 TC, T, M car 등으로 나누어지는데 각각의 차량

별로 중량에서 차이가 나므로 동적거동에 영향을 미치므로 차량편성에 따른 동적거동을 분석하였다.

도시철도차량은 최대 승객 30ton 까지 승차할 수 있으며, 최대 30ton의 승객하중을 고려하여 시뮬레이션을 한 결과 동적차량한계가 크게 나오는 것을 확인하였다. Fig. 2는 승객하중에 따른 동적 차량한계 결과를 나타낸 것이다.

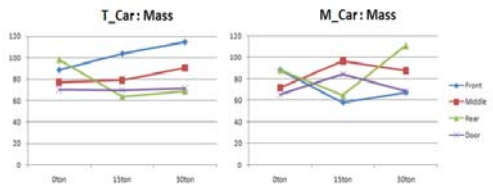


Fig. 2 Analysis result to load

도시철도차량이 곡선승강장을 통과하는 경우 무정차로 지나갔을 때보다 정차하였을 때보다 더 큰 동적 거동을 보였다. 레일의 곡선반경에 의한 차량의 진입 각도가 달라지면서 후미 부분에 있어서 더 많은 동적 거동이 확인되었지만 전체적인 영향도에 있어서 T-Car의 경우에는 곡선반경이 작아지면 훨씬 큰 동적 거동이 보이지만 M-Car의 경우 일정한 패턴이 나타나지 않았다. Cant에 의한 동적 거동은 Cant가 커지면서 더 커지는 것을 확인할 수가 있었다.

마모에 의하여 휠 또는 레일의 높낮이가 달라지고 이는 도시철도차량이 곡선선로에 진입 시 회전 중심의 변화가 발생하며, 이로 인해 회전 중심의 위치가 바뀌면 차량의 동적 거동에도 영향이 미치는 것을 충분히 예상할 수 있으며 마모에 의한 도시철도차량의 동적 차량한계 해석을 수행하였다.

4. 실험계획법을 이용한 인자 분석

동적차량 한계해석을 통해 분석한 영향인자들은 각 인자들의 영향을 알아보기 위하여 해당 인자만을 변화시키고 그 외의 인자들은 동일하게 하여 시뮬레이션을 실행하였다. 그래서 각 인자의 도시철도차량 동적 차량한계에 미치는 영향을 확인하였다. 이러한 영향인자들이 도시철도차량에 복합적으로 영향을 미치므로 동적 차량한계를 분석하기 위해 혼합된 영향인자의 영향을 보기 위하여 2수준의 Design Explorer Orthogonal Array를 사용하

여 총 17번의 시뮬레이션을 진행하였으며, Table 1은 2수준의 Design Explorer Orthogonal Array를 이용한 17번의 실험계획표이며, Table 2는 그 결과이다.

Table 1 Table of design explorer orthogonal arrays

No.	Curve	Cant	Wear_Side	Wear_Under	Speed	Mass	Model
1	0	1	0	0	1	0	400R_30mm_25mm_820mm_55km_15ton
2	1	-1	-1	1	-1	1	450R_0mm_24mm_860mm_35km_30ton
3	-1	0	1	-1	0	-1	350R_15mm_12mm_780mm_45km_0ton
4	0	-1	1	1	0	0	400R_0mm_32mm_860mm_45km_15ton
5	1	0	0	-1	1	1	450R_15mm_28mm_780mm_55km_30ton
6	-1	1	-1	0	-1	-1	350R_30mm_24mm_820mm_35km_0ton
7	0	0	-1	1	1	-1	400R_15mm_24mm_860mm_45km_0ton
8	1	1	1	-1	-1	0	450R_30mm_32mm_780mm_35km_0ton
9	-1	-1	0	0	0	1	350R_0mm_28mm_820mm_45km_30ton
10	0	0	1	0	-1	1	400R_15mm_32mm_820mm_35km_30ton
11	1	1	0	1	0	-1	450R_30mm_28mm_860mm_45km_0ton
12	-1	-1	-1	-1	1	0	350R_0mm_24mm_780mm_55km_15ton
13	0	1	-1	-1	0	1	400R_30mm_24mm_780mm_45km_30ton
14	-1	0	0	1	1	0	350R_15mm_12mm_860mm_35km_15ton
15	0	-1	0	-1	-1	-1	400R_0mm_28mm_780mm_35km_0ton
16	1	0	-1	0	0	0	450R_15mm_24mm_820mm_45km_15ton
17	-1	1	1	1	1	1	350R_30mm_32mm_860mm_55km_30ton

Table 2 Result

	T_Car				M_Car		
	Front	Middle	Rear	Entrance	Front	Middle	Entrance
1	102.76	86.94	82.16	77.02	67.13	62.03	94.73
2	97.06	88.14	84.01	81.16	80.09	76.47	87.83
3	97.02	91.87	87.66	78.06	87.80	74.86	90.52
4	106.10	71.49	79.24	72.07	92.08	78.46	99.00
5	93.34	86.88	89.81	85.70	71.66	53.15	84.80
6	104.68	111.40	83.30	86.39	52.67	87.78	86.00
7	92.47	58.78	58.01	63.75	60.29	68.09	54.18
8	82.17	100.13	57.68	80.47	44.81	91.88	41.11
9	111.96	85.97	113.71	80.44	111.62	71.07	112.13
10	84.80	100.83	75.38	78.18	85.14	107.15	85.41
11	90.21	68.77	63.80	62.74	36.03	76.30	56.57
12	126.43	72.17	117.76	83.77	118.92	52.11	102.44
13	98.17	83.43	88.52	76.39	66.41	80.19	105.11
14	124.62	128.11	97.11	88.17	84.56	111.95	128.00
15	96.90	100.03	86.17	83.06	66.01	55.74	62.81
16	91.06	71.18	65.93	70.62	58.36	65.43	89.22
17	110.20	82.92	114.16	78.48	101.43	76.43	83.84

5. 결론

차량의 속도, 선로조건 등 여러 가지 인자들을 고려하여 차량의 동적 특성해석을 수행하였으며, 인자들이 동적 차량 Envelope에 영향을 미치는 정도를 분석하였다. 운영기관마다 차량 및 승강장의 형태가 상이하지만 이 결과는 최악조건을 검토해본 결과로서 독립 영향인자 결과와 연성된 영향인자 결과 모두가 도시철도법에서 요구하는 차량한계도 및 건축한계도 범위내에서 PSD를 설치하여 운영하는 데 문제가 없을 것이다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, “도시철도차량 표준화 유지발전연구 3차년도 최종보고서”
2. DAFUL 3.1 Manual
3. 도시철도차량 표준규격