

# 차륜/레일 점착관점에서의 축소모델 상사성 검토

## Review on the Similarity of the Scale Model on the basis of Adhesion Point of View between Wheel and Rail

\*#허현무<sup>1</sup>, 김남포<sup>1</sup>

\*#H. M. Hur(hmhur@krri.re.kr)<sup>1</sup>, N.P.Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 고속철도연구본부

Key words : Scale model, Adhesion, Similarity

### 1. 서론

철도분야 연구에서 차량의 성능을 검증하기 위한 full scale 규모의 대규모 시험설비를 필요로 한다. 이는 실차 규모의 시험연구에서는 실차의 조건을 모사할 수 있는 장점이 있지만 시험설비가 과대해지는 점, 다양한 시제 대차의 제작 및 시험조건 설정 변경이 어려운 점, 그로인한 시험 비용이 증가하고 시험 소요시간이 증가하는 점 등의 어려움을 겪게 된다. 따라서 full scale 규모의 시제차량 시험으로 인한 난제를 해결하기 위한 대안으로 축소 규모의 scale 모델에 대한 연구가 일본, 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아 등 철도 선진국에서는 활발히 진행되고 있다.

scale 모델 기법을 이용하면 full scale 규모의 시험으로 인한 단점을 상당히 해소할 수 있는 장점이 있는 반면 full scale 모델과 scale 모델 간의 상사관계가 성립되어야 한다. 이를 위하여 영국의 MMU, 독일의 DLR, 프랑스의 INRET과 같은 대학 및 연구기관에서는 각각의 시험 목적에 부합하게 상사기법을 도출하여 적용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 차륜/레일 간 점착특성 연구를 위하여 scale 모델 적용에 따른 상사기법과 적용 타당성을 검토하고자 한다.

### 2. 상사기법

full scale 모델에 대하여 scale 모델로 축소하는 축소 과정에서 치수, 질량, 스프링, 재질 특성 등과 같은 물성치에 대한 적절한 상사 법칙(scale law)과 full scale 모델의 특성을 모사하는 해석 및 시험기법이 개발되어 왔다. scale 모델에 대한 상사기법은 상사하고자 하는 scaling factor에 따라 상사기법이 상이하다고 할 수 있다. 영국 Manchester metropoli-

tan 대학(MMU)의 Iwnicki는 차량의 안정성과 동적 거동 특성 연구를 주목적으로 하여 동일 재질을 사용하고 상사의 관점을 진동수에 맞추어 다른 파라미터에 대한 축소를 시도하였고 full scale 모델과 scale 모델간의 관계를 규명하였다. 프랑스 INRET의 Pascal은 크립이론과 차륜/레일 점착역학 규명을 목적으로 볼러의 반경이 큰 축소 주행시험대를 구현하였으며 상사의 관점을 속도에 맞추었다. 독일 DLR의 Jaschinski는 철도차량 다물체 동역학 이론과 비선형 방정식의 타당성을 검증하고자 축소 모델을 활용하였으며 가속도에 상사의 관점을 맞추어 축소를 시도하였다. 그리고 이탈리아 Torino 대학의 Bosso는 차량의 제동특성 연구를 위하여 크립계수 보정기법을 적용한 상사를 시도하였다. Table 1은 각 상사기법에 따른 scale factor를 나타낸다.

Table 1 Scale factor of similarity law

scaling method scaling factor	MMU	INRET	DLR
$\varphi_l$ length	$\varphi$	$\varphi$	$\varphi$
$\varphi_t$ time	1	$\varphi$	$\sqrt{\varphi}$
$\varphi_f$ frequency	1	$1/\varphi$	$1/\sqrt{\varphi}$
$\varphi_v$ velocity	$\varphi$	1	$\sqrt{\varphi}$
$\varphi_a$ acceleration	$\varphi$	$1/\varphi$	1
$\varphi_\rho$ density	1	1	1
$\varphi_m$ mass	$\varphi^3$	$\varphi^3$	$\varphi^3$
$\varphi_I$ inertia	$\varphi^5$	$\varphi^5$	$\varphi^5$
$\varphi_E$ elasticity	1	1	1
$\varphi_F$ force	$\varphi^4$	$\varphi^2$	$\varphi^2$
$\varphi_k$ stiffness	$\varphi^3$	$\varphi$	$\varphi^2$
$\varphi_c$ damping	$\varphi^3$	$\varphi^2$	$\varphi^{2.5}$
$\varphi_\mu$ friction	1	1	1
$\varphi_G$ shear modulus	1	1	1
$\varphi_g$ gravity	1	$1/\varphi$	$\varphi^3$
$\varphi_w$ weight	$\varphi^4$	$\varphi^3$	$\varphi^3$
$\varphi_\sigma$ stress	$\varphi^{0.67}$	$\varphi^{0.33}$	$\varphi^{0.33}$

$\varphi_{f11}$	$f_{11}$	$\varphi^{3.33}$	$\varphi^{2.67}$	$\varphi^2$	$\varphi^{2.67}$
$\varphi_{f22}$	$f_{22}$	$\varphi^{3.33}$	$\varphi^{2.67}$	$\varphi^2$	$\varphi^{2.67}$
$\varphi_{f23}$	$f_{23}$	$\varphi^5$	$\varphi^4$	$\varphi^3$	$\varphi^4$
$\varphi_{f33}$	$f_{33}$	$\varphi^{6.67}$	$\varphi^{5.33}$	$\varphi^4$	$\varphi^{5.33}$

### 3. 축소모델 접촉특성 해석

점착성능과 관련된 점착계수 특성 해석을 위하여 상사기법을 적용하여 full scale 모델과 1/5 scale 모델에 대한 크리피지/크립력 해석을 수행하였다. 크립력 해석은 Fig. 1과 같이 축소 점착성능시험기의 접촉조건을 모사한 차륜/롤러 접촉조건으로 가정하였다. 크립이론은 Kalker의 FASTSIM 알고리즘을 적용하였으며 점착계수는 법선력에 대한 크립력의 비로 환산하여 구하였다. 차륜/롤러간 표면상태는 건조조건으로 가정하였으며 마찰계수는 슬라이딩속도에 따라 변화하는 Kraft의 마찰계수 모델을 적용하였다.

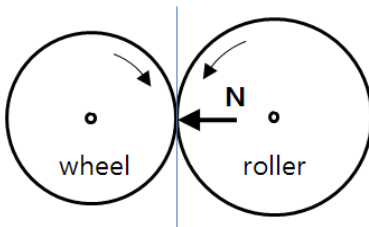


Fig. 1 Wheel/Roller contact condition

Table 2 Parameter for Simulation

parameter	data
longitudinal radius of wheel(mm)	430
transversal radius of wheel(mm)	300
longitudinal radius of roller(mm)	1,500
transversal radius of roller(mm)	600
wheel load(N)	50,000
Young's modulus(N/m <sup>2</sup> )	2.1E11
poisson ration	0.3
static friction coefficient	0.3
roller velocity(km/h)	100

Fig. 2는 점착계수 해석결과를 나타낸다. MMU와 DLR의 상사기법을 적용한 해석결과에 비하여 INRET의 상사기법을 적용한 경우 full scale과 scale model 간의 점착계수 해석결과가 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 INRET의 상사기법이 MMU와 DLR의 상사기법과 달리 차륜/레일 접촉특성에 상사의 목적을 두고 상사기법을 도출한 결과에 기인한다.

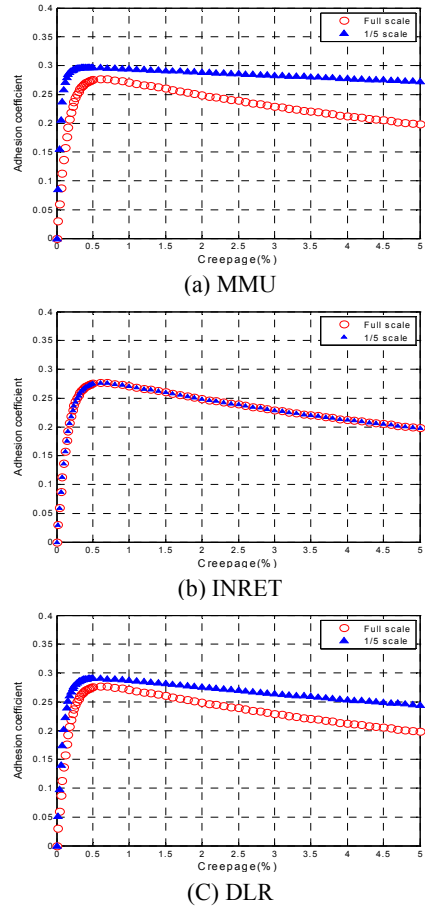


Fig. 2 Results of wheel/roller adhesion analysis

### 4. 결론

축소시험기를 이용한 차륜/레일 간 점착특성 연구를 위하여 상사기법 적용 타당성을 검토하였다. 점착계수 특성 시험을 위하여 scale 모델을 적용할 경우에는 INRET의 상사기법을 적용함이 full scale 모델에 근사한 결과를 얻었다. 이는 상사의 목적을 차륜/레일 접촉특성에 두고 상사기법을 도출한 결과에 기인한다. 따라서 점착계수 시험을 위한 축소 모델 적용 시에는 INRET의 상사기법 적용이 효율적일 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 허현무, 김민수, 박준혁, 유원희, "상사기법에 따른 철도차량 축소모델 임계속도 해석", 한국정밀공학회추계학술대회논문집, pp.695-696, 2008.