# 기존선 속도향상을 위한 궤도재료 개선에 관한 기초 연구
# A preliminary research on improving track material components for increasing train speed on conventional lines

원용환* 김관형** 김순철*** 구수환****
won, Yong hoan kim, kwan hyung kim, soon cheol ku, su hwan

---

ABSTRACT

The original conventional railway was designed to be stand against 150km/h and it is still being operated at the present. However, if the speed of train is improved up to 200km/h in the near future in order to get competitiveness, we examined how the speed effect on the rail and we analyzed the effect of vibration, the stress and the displacement of the rail material by the change of the speed and the change of the property of matter through the hydrostatical and the dynamic analysis about the absence of the rail.

As the result of the analysis by the above method, we got the prove that the best synthetic hardness of the rail is 75±10KN/mm. Therefore, it is proved that rail pad has to be improved.

---

## 제1장 서 론

### 1.1 연구 배경

1825년 영국에서 세계 최초의 열차가 개통된 이후 철도기술의 발전은 열차의 속도를 향상시키는 기술이라 하여도 과언이 아닐 것이다. 자동차와 항공기의 등장은 한때 주춤했던 철도에 있어 속도 향상을 위한 기술연구를 재촉하는 계기가 되었으며 이에 따른 열차의 속도향상 연구는 크게 두 분야로 나눌 수 있을 것이다.

첫째는 새로운 노선의 건설과 거기에 알맞은 열차를 채용하는 것이다. 하지만 여기에는 많은 건설비 부담과 오랜 기간 소요 및 고급기술을 보유해야 하는 큰어려움과 단점이 있다.

두번째는 기존선의 개량과 그에 상응하는 차량의 개발이다. 각 나라의 경제적, 지리적, 문화적 환경에 따라 사정은 많이 다르겠지만 저속인 기존선의 연장이 훨씬 많으므로 이 방법을 택하는 것이 속도향상의 기술을 좀 더 바람직하고 체계적으로 쌓아가는 방법이라 할수 있겠다.

한국철도에 있어서도 세계 최고수준의 영업 속도를 자랑하는 경부고속철도가 개통된 지 3년여를 맞이하여 철도 선진국들과 안전, 속도 경쟁에 있어 어깨를 나란히 하고 있으며 기존선에 대한 선로개량 사업도 여러 가지 형태로 시행되고 있다. 기존선로를 개량함에 있어 특징적인 것은 평면선형의 직선화와 종단선형의 구배 완만화라 할 수 있다. 이는 속도향상을 목적으로 하기 때문으로 속도향상을 위해서는 무엇보다 차량의 성능개선이 전제되어야 하나 그와 함께 선로시설이 속도향상에 적합한 조건을 갖추어야 함은 말할 나위도 없다.

### 1.2 연구 목적

철도시설물중 궤도는 열차안전운행과 직결되는 구성 요소로서 현재 부설된 궤도시설은 150km/h의 운행조건에 맞춰 부설되었으나, 향후 기존선에 있어 200km/h로 열차 속도를 향상 시킬경우 궤도틀림 주기가 더욱 단축되고 궤도재료 기능에 대한 신뢰성 부족이 우려된다.

이와 같이 기존선에 대한 속도향상은 궤도시설에 가해지는 선로 부담력의 증가를 가져오고 그로 인해 궤도 구성품의 내구성에도 영향을 미칠것으로 예상되는 바, 체계적이며 과학적인 선로유지관리를 위해서는 속도영향에 대한 규명이 필요할 뿐만 아니라, 더 나아가 속도변화 요소 외에 기존선 궤도시설을 구성하고 있는 궤도부재에 대한 물성과 관련하여 정역학적 및 동역학적 특성을 검토하고 궤도에 가해지는 부담력을 추정하여 이를 최소화하기 위한 최적의 방안을 도출할 필요성이 있다.

## 1.3 연구내용 및 범위

○ 연구내용

궤도의 탄성특성을 중심으로 이론적 고찰에 의한 정역학적 분석과 컴퓨터 프로그램에 의한 동역학적 분석을 통해 속도변화 및 궤도재료 물성변화에 따른 궤도재료의 변위와 응력 및 진동영향 등을 분석하여 자갈도상 궤도의 궤도탄성을 최적화하는 방안 제시하였다

○ 연구범위

우리나라 국철구간에 있어 일반적으로 오래전부터 설치 운영되고 있는 기존의 자갈도상궤도 구조를 대상으로 연구하였다.

# 제2장 자갈도상궤도의 정역학적 해석

## 2.1 정역학적구조해석을위한 하중 및 궤도구조 조건

・구조해석을 위한 자갈도상의 표준단면은 다음 그림과 같다.

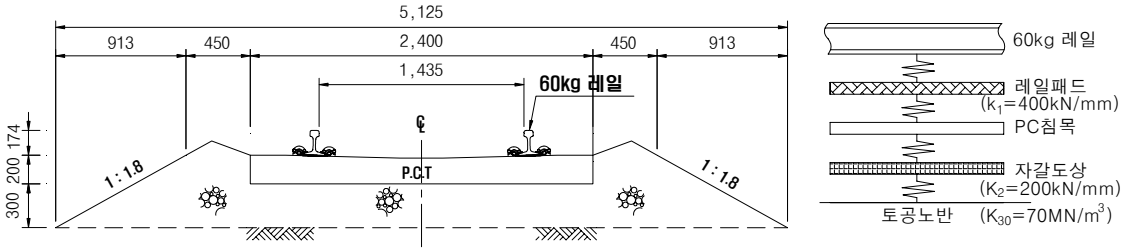


그림. 자갈도상 표준단면

・열차속도는 2급선 설계 최고속도를 감안하여 V=150km/h로 하였으며,

・축중은 L22하중 감안시 최고 220kN으로 고려할 수 있으나 본 연구에서는 주로 새마을호 객차를 대상으로 하였기에 실제적인 차량하중 영향을 살펴보기 위해 설계하중의 90%를 유효한 축중값으로 하여 P=200kN으로 적용하도록 하였으며, 따라서, 윤중 Q=100kN으로 하였다.

・레일 규격은 전국의 국철구간을 대상으로 할 경우 2005년 1월 현재 50kgN 레일 부설실적이 79%를 차지하고 있고 60kg 레일은 15%에 지나지 않으나, 주요 본선을 중심으로 점차 60kg 레일로 중량화 되어가고 있는 실정을 감안하여 정역학적 이론고찰에서는 60kg 레일을 적용하도록 하였다.

## 2.2 정역학적구조해석 비교 결과

궤도 조건 변화에 따른 응력 변위 해석을 위한 변수가 되는 항목은 레일종별(50kgN, 60kg), 노반강성별(토노반, 콘크리트노반), 레일패드 강성별, 콘크리트노반상 바라스트매트 설치 유무별 등이며 도상자갈의 탄성과 침목 및 축중 등은 변동이 없는 공통된 값을 적용하여 해석한결과 정적 스프링계수가 낮은 고탄성 레일패드의 사용 또는 노반강성과 유사한 특성을 갖는 바라스트매트의 사용을 병행하여 궤도 탄성을 풍부하게 하므로써 궤도 부재에 발생하는 응력을 작게할 수 있음을 알수 있었다

# 제3장 자갈도상 궤도의 동역학적 해석

정역학적 해석에 추가하여 궤도 각 부재에 발생하는 응력 및 진동정도를 분석하기 위해 컴퓨터 프로그램에 의한 궤도의 동역학적 해석을 수행 하였다. 본 프로그램의 개요 및 해석결과는 각각 다음과 같다.

### 3.1 프로그램 개요

궤도시스템 해석에 사용한 프로그램은 독일의 imb-dynamik社에서 개발한 isi 프로그램이다. 이 프로그램은 차량-궤도 상호작용 모델링을 Mathsoft社의 Mathcad 와 Microsoft社의 Excel 프로그램과의 연동을 통해 수행하도록 되어있다. 따라서, isi 프로그램을 사용하여 레일규격, 레일패드 강성, 바라스트매트, 노반강성 등 궤도강성을 변화시키는 요소 및 가진주파수 변동요소인 열차속도에 따른 궤도부재별 변위나 발생응력 및 진동 등을 계산하게 되는 데 2가지의 궤도모델을 동시에 계산이 가능하며 이 때 상호 모델간 발생진동도에 대해 상대비교를 하여 방진효과 등을 확인할 수가 있다.

isi 프로그램의 해석과정은 다음 그림과 같다.

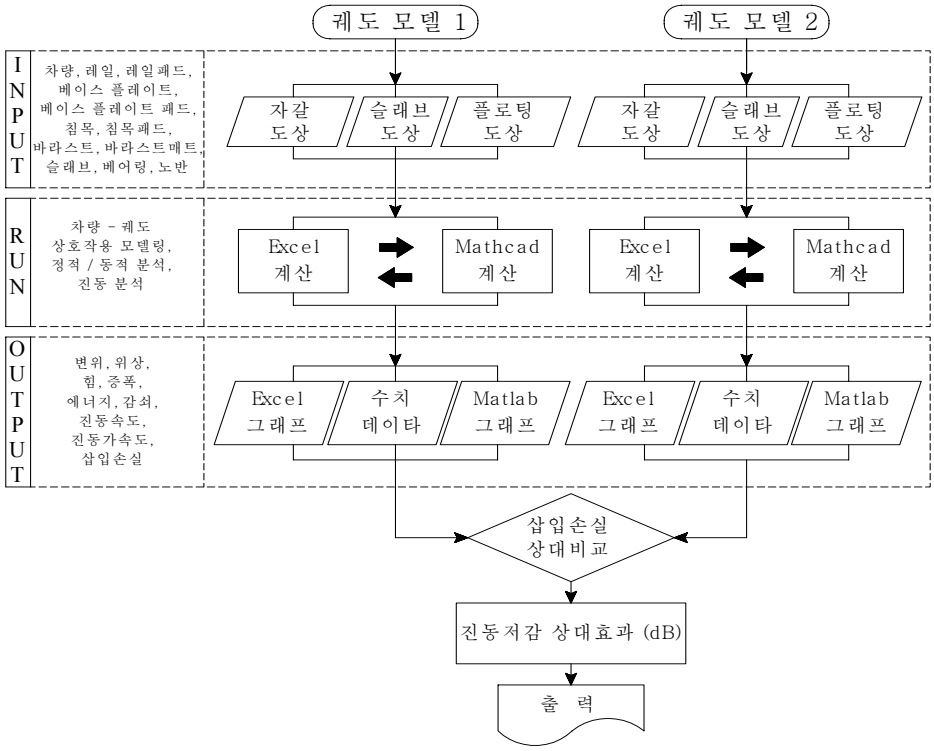


그림. isi 프로그램의 Flow Chart

### 3.2 동역학적 해석 결과(부재의 변위 및 응력)

제 조건들을 변화시키면서 수행하였다. 동역학적 해석에서는 정역학적 해석과 마찬가지로 레일종별(50kgN, 60kg)과 레일패드의 스프링계수(k) 및 노반조건(토노반, con'c노반) 등을 변수로 하여 해석하되, 속도변수를 중점으로 하여 그에 따른 부재의 변위와 발생응력을 해석하였다.

동역학적 해석에서 부재의 변위와 발생응력에 대한 분석결과, 일반적으로 다음과 같은 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

토공노반상 자갈도상궤도에서는 일반적으로 레일규격이나 레일패드의 강성 변화에 관계없이 열차속도가 상승함에 따라 레일패드(침목상면), 침목저부(도상상면) 및 노반면에 작용하는 압축력이 증가하고, 도상자갈층의 압축 변위량도 증가하나, 노반층과 레일패드의 압축 변위량은 점차 감소하여 전체적인 레일침하량은 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 이는 일반적으로 나타나는 현상이라 할 수 있다.

콘크리트노반일 경우에는 토공노반인 경우와 마찬가지로 열차속도 상승에 따라 레일패드, 침목 및 노반면에 작용하는 압축력이 증가하고, 순수 자갈도상층의 압축변위량도 증가하나 콘크리트노

반면 침하량은 거의 없이 일정한 반면 레일패드의 압축변위량은 점차 감소하여, 전반적인 레일침하 경향은 토공노반의 경우와 동일하나 레일패드의 강성이 자갈도상강성보다 클 경우 즉, k=400kN/mm일 경우에는 레일패드의 압축변위 감소량이 자갈도상층의 압축변위 증가량 보다 상대적으로 작기 때문에 전체적인 레일침하량은 오히려 증가하는 경향을 보이고 있다.

콘크리트노반상에 C형 바라스트매트를 설치할 경우에는, 레일패드, 침목 및 노반면에 작용하는 압축력이 증가하고 레일침하량도 열차속도 상승과 함께 점차 증가하여 토공노반상에 딱딱한 레일패드를 사용할 경우와 동일한 거동을 보였다.

결국, C형 바라스트매트의 역할은 침하가 없는 무한강성의 콘크리트노반면을 인위적으로 토공 노반화하여 바라스트매트가 없는 콘크리트노반의 경우보다 레일침하량을 다소 증가시키므로서 궤도에 탄성을 부여하고자 하는 것이라 할 수 있다.

## 제4장 결론

이상의 연구는 기존선 속도향상이 궤도부재에 미치는 영향과 관련하여 주로 궤도의 정적 및 동적거동을 포함하여 각 부재에 발생하는 응력을 해석하고 속도영향과 관련하여 부재의 진동가속도 및 삽입손실 등에 대해 이론적인 방법으로 규명하였다.

보다 근사적인 값을 얻기 위해서는 현장 실측이 필요하겠으나 이상의 이론 결과를 바탕으로 향후 현장실측에 임한다면 보다 내실있는 연구성과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 궤도의 최적 종합강성(75±10KN/mm)확보를 위한 궤도부재 특히, 레일패드의 개선 연구가 무엇보다 필요함을 알 수가 있다.

## 참고문헌


[1] A. Lopez Pita, P F Teixeira and F Robuste (2004), “The role of vertical stiffness”, Center for Innovation in Transport (CENIT), Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain

[2] A. Lopez Pita, P F Teixeira, C. Casas_Esplugas and A.Bachiller(2005). "the interest of using a bituminous sub_ballast layer"

[3] Prof.dr.ir. Coenraad Esveld (2004), “CT3041 Railway Engineering - Static analytical exercises rail track”, Delft University of Technology

[4] Prof.dr.ir. Coenraad Esveld (2001), “Moden Railway Track 2nd Edition”Delft University of Technology

[5] Josef Eisenmann (2004), “Die Schiene als Tragbalken”Technical University of Munich

[6] Dr. F. Muller-Boruttau, Dr. N. Breitsamter (2005), “Effects of slab track rail fastening stiffnesses on track stress (contact, rail fastening)”, imb-dynamik

[7] Dr. Bernhard Lichtberger (2005),“Track Compendium”, Eurailpress

[8] isi: imb-dynamik-train-track-interaction-model,
cf. e.g. www.imb-dynamik.de

[9] 권성태 외 2인 (2004), “레일패드 소재의 물리적 특성에 관한 비교 연구”한국철도학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp.510-515
[10] 김정일 외 2인 (2004), “열차주행안전을 고려한 궤도패드의 최소 수직 스프링계수 결정에 관한 연구 ”한국철도학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp.842-847

---

* 원용환, 회원, 한국철도공사 연구개발센터
E-mail : wonselue@korail.com
TEL : 042-609-3764 FAX : 042-609-3720
** 김관형, 회원, 한국철도공사 연구개발센터
*** 김순철, 회원, (주)석탑엔지니어링