

□ 論 文 □

철도 신해석 연구  
**鐵道軌道 시스템의 新解釋 모델研究**

( A Study of New Analytical Models for Railway Track System )

김성득  
**金 聲 得**

( 蔚山大學校 土木工學科 教授 )

김미룡  
**金 美 龍**

( 蔚山大學校 大學院 )

目 次

- I . 序 論
- II . 以前의 研究
- III . 彈性體上 보理論의 擴張
- IV . 適用例
- V . 結 論

ABSTRACT

A conventional track structure system of rails, ties, ballast, subballast and subgrade. An adequate engineering analysis requires consideration of all major components of track system.

This paper briefly reviews existing methods of track analysis, and presents a new model based of the examination of the Talbot Model. The new model has been validated by comparison with settlements from other model.

I . 序 論

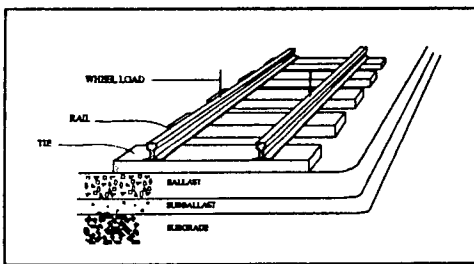
국민소득 수준의 향상과 자동차산업의 발달로 연평균 28%의 폭발적인 자동차 증가추세를 보이고 있다. '81년 당시 자동차 등록대수가 57만대였던 것이 '91. 5. 현재 370만대가 되었고 2001년에는 1200만대에 이를 것으로 추정하기도 한다. 차량의 높은 증가로 도시내의 교통체증은 말할 것도 없고 지역간의 物流의

이동에도 많은 시간이 소요되어 경제적으로 큰 손해를 당하고 있는 현실이다.

심각한 교통난을 해결하기 위한 도시기반시설의 확대는 大衆交通手段의 增大 및 改善에 그 해결방법을 찾아야 할 것임은 많은 전문가가 주장하는 바이다.

대중교통수단의 중요한 것으로 鐵道를 들 수 있다. 철도는 세계 제2차대전 前까지는 산업 활동 및 이동의 중요한 수단으로 인식되어 왔으나 戰後에 자동차와 항공기의 발달로 사양

길에 이르고 침체를 면치 못하였다. 그러나 지속적인 경제성장을 하기 위해서는 각 수송기관과 잇점을 상호결합한 철도의 특성을 발휘하기 위한 수송체계의 정비 필요성이 최근 인식되고 있다. 또, 새로운 첨단기술의 발달에 따라 超高速電鐵이 등장하게 되어, 일본, 프랑스, 독일에서는 중요한 지역교통수단으로 각광을 받게 되었으며, 이제는 자기부상열차까지 등장하고 있다. 대중교통수단의 중요성과 함께 고속성, 안전성, 정확성, 대량수송성, 편리성, 쾌적성, 저공해성, 저렴성 등의 잇점을 가진 鐵道의 중요성이 고양되고 있다. 철도공학은 여객과 화물의 이동을 위한 수송체계로서의 종합기술이며 그 외에도 수요, 계획, 선정, 설계 및 건설을 포함한다. 철도기술에 관련된 분야로 토목, 기계, 전기, 건축, 통신, 교통 및 도시계획 등 광범위한 기술이 포괄된다. 철도에 대한 연구는 다른 여러 학문분야에 비해 제대로 이루어지지 않고 있으나 토목의 구조 및 토질분과와 기계분야에서 독립적으로 여러 논문이 발표되고 있다. 한편, 철도궤도에 관한 연구는 ASCE에도 TE (Transportation Engineering)분과에서 발표



〈그림 1〉 철도궤도시스템의 구성

되고 있으며\*, 철도소음에 관한 연구는 교통 및 환경분야에서 다루어지고 있다.

鐵道軌道는 〈그림1〉에서 보는 바와 같이 달리는 열차가 운행하는 레일(rail)을 말하며, 레일은 그아래 枕木(tie), 基層(ballast), 補助基層(subballast), 地盤(subgrade)과 같이 다양한 재료로 구성되어 있어서 철도궤도시스템이란 표현은 쓰고 있으며, 레일-침목-기층-지반의 相互作用理論이 적용되어야 할 분야이다.

철도와 관련된 事故도 자주 발생되어 많은 사상자도 생기고 있으며, 특히 위험한 물질을 적재한 차량의 사고는 그 피해가 막대하다. 이러한 사고의 많은 부분이 철도궤도의 불안정에서 발생되고 있다.

철도에서 궤도 각부의 역학적인 해석과 궤도와 차량간의 관계를 역학적으로 해석하는 것은 중요하고 필요한 일이나 그 이론적인 규명이 대단히 복잡하여 경험적해석법에 의존하거나 단순한 가정으로부터 구한 이론식을 사용하여 왔다.

軌道解析은 열차하중 또는 기상조건등에 의하여 궤도 각부에 생기는 응력, 변형, 진동등을 해석하여 궤도의 파괴와 열차중량·속도·열차종별·통과톤수 등의 관계를 분석하여 적절한 궤도구조를 결정하여 궤도재료의 파손을 방지하는데 그 목적이 있다.

궤도시스템의 거동에 대한 실험적이고 이론적인 연구로 궤도해석분야의 진전을 가져왔으며, 각각의 연구는 복잡한 궤도해석의 이론정립에 부분적으로 기여하여 왔다.

이제까지 제시한 철도궤도시스템의 解析모

- \* Raymond, G. P. & Gaskin, P. N., "Contribution to Selection of Railroad Ballast", Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 102, TE2, May, 1976.
- \* Tayaji, S. D., & Thompson, M., "Consideration in the Analysis of Conventional Railway Track Support System", Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 103, TE2, March, 1977.
- \* Zieha, J. H., "High-speed Rail Track Design", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 115, TE2, January, 1989.
- \* Pintay, G., "Capital cost and Operations of High-speed Rail System in West Germany", Journal of T. E., ASCE, Vol. 115, No 1, 1989.

델을 比較考察해보고, 또 새로운 이론체계를 도입한 모델을 개발하여 보다 낮은 궤도해석 이론으로 궤도시공의 향상을 도모하고 나아가서는 철도교통에 대한 연구의 필요성을 제기하고자 한다.

II. 以前의 研究

1. Talbot의 研究

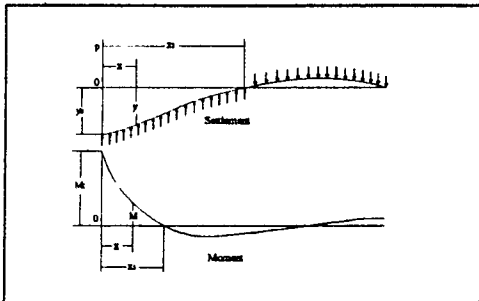
유럽의 Winkler(1867), Schwedler(1882), Zimmerman(1888)등은 궤도를 탄성지반위의 보(beam)로 보고 역학해석을 하였다. 궤도의 처짐 y와 기층의 단위면적당 압력 p는 비례한다고 하였다. 즉,

p = ky ..... (1)

여기서 基層係數(軌道係數) k는 단위길이의 궤도를 단위량만큼 침하시키는데 필요한 힘을 말한다. k는 통상 150-200kg/cm/cm으로 보편될 것이다.

미국의 A. N. Talbot연구팀(1918-1929)은 궤도를 구성하는 모든 요소는 탄성체이며, 레일은 연속적인 집중하중이 작용하는 彈性體上의 보라는 연구결과를 미국철도기술협회(ARE-A)등에 발표하였으며, 이 연구는 간단하면서도 비교적 정확하여 오랫동안 궤도해석에 쓰여져 왔다.

(그림2)에서 기차의 바퀴하중 P에 의한 단위길이당 상향의 압력을 p, 하향의 처짐을 y,



(그림 2) 단일궤도하중에 의한 침하량과 휨모멘트분석

궤도계수를 u라 했을때 (1)식을 (2)식으로 바꾸어서 나타낸다

p = -uy ..... (2)

(2)식에 대한 미분방정식은 (3)식과 같으며 이 식을 풀어서 처짐, 휨모멘트등을 구하였다.

EI d^4y/dx^4 + uy = 0 ..... (3)

여기서 E는 궤도 즉 강철의 탄성계수이고, I는 레일의 단면 2차모멘트이다. 바퀴하중이 작용하는 곳에서 휨모멘트가 0인 지점까지의 거리를 x1, 침하가 0인이 되는 지점까지의 거리를 x2 라 했을때, x1, x2는 다음에서 구해진다.

x1 = pi/4 \* (4EI/u)^1/4 ..... (4)

x2 = 3x1 ..... (5)

최대처짐 Y0, 최대휨모멘트 M0는 다음 식과 같다.

Y0 = -P / (64EIu^3)^1/4 ..... (6)

M0 = P \* (EI/64u)^1/4 ..... (7)

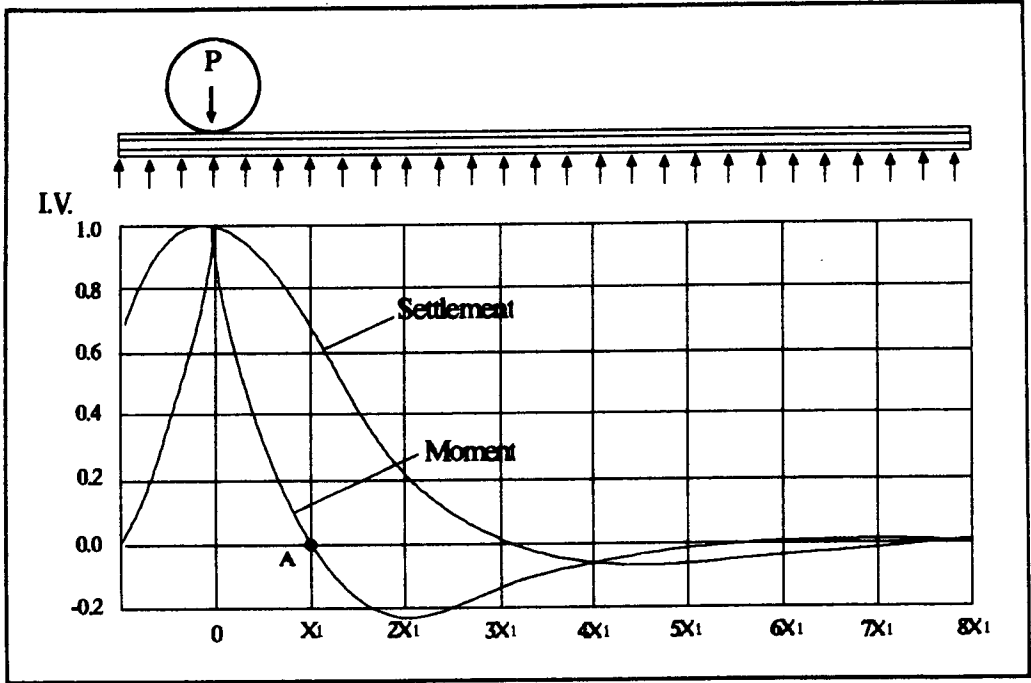
그런데 기차의 車輪은 연속하여 있으므로 (그림2)에서 0지점의 휨모멘트값은 다음 차륜이 0-x간의 x1위치에 올때는, 영향선 M만큼 가산되고, x1이후에 올때는 그 지점의 영향선에 해당하는 만큼 감소된다.

따라서 전후차량의 영향을 고려한 환산단일하중 P를 알 필요가 있으며 이는 (그림3)과 같은 침하량과 휨모멘트에 대한 Mastetr diagram에서 구할 수 있다.

침하량을 구한 후 레일압력, 침목응력, 도상응력, 노반응력등을 구한다.

2. Thompson과 Tayabji의 研究

1960년대까지는 Talbot의 연구외에는 새로운 궤도해석의 모델에 관한 제시가 없었다. 1970년, H. Meacham은 철도궤도의 각 부분을 일련의 스프링으로 대치한 모델로 바꾸어



〈그림 3〉 침하와 휨모멘트에 대한 Master diagram

서 전산해석이 가능하도록 한 연구결과를 제시했다. 같은해 Lundgren과 Martin도 2차원 모델로 궤도해석을 하는 유한요소모델을 제시하였다.

1976년, Talbot와 같은 소속 대학인 Illinois 대학의 M. Thompson과 S. D. Tayabji 교수가 plain-strain 有限要素解析을 사용하여 기층의 특성을 밝힌 Illi-Track 모델을 제시하였다.

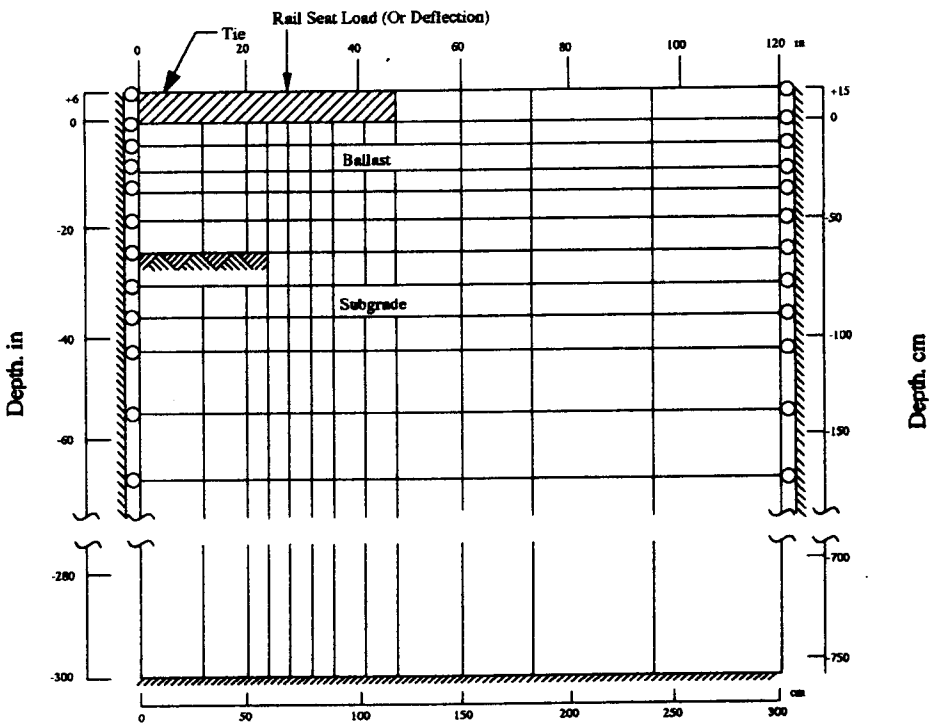
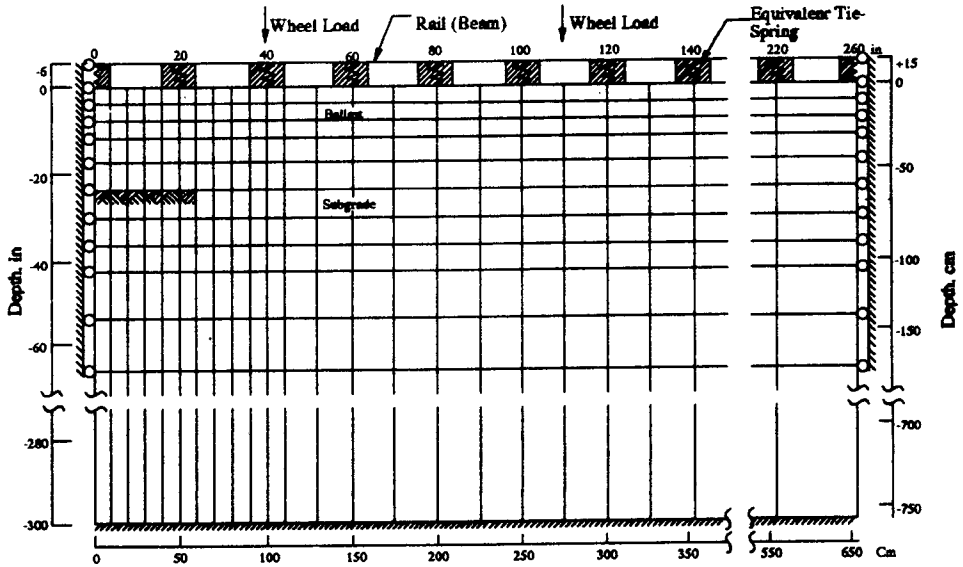
유한요소해석기법은 복잡한 기하학적조건, 경계조건, 재료특성을 갖는 구조 및 지반문제를 푸는데 유용하게 많이 쓰이고 있다.

鐵道軌道시스템을 3차원의 유한요소모델로 나타내었을 때 요소분할의 수가 매우 많으며 기기에 따라 컴퓨터계산시간이 많이 나오는 등 비경제적일 것이다. 차량의 하중이 대칭으로 작용한다는 성질을 이용하여 縱方向解析을 먼저하고 이어서 기기에 근거한 橫方向解析을 하는 두단계의 해석을 하는 것도 공

학적문제의 해결을 하는 한 방법일 것이다.

차량하중에 해당하는 절점하중을 침목-기층-지반계위에 놓인 궤도에 작용하는 하중으로 간주해서 縱方向解析을 먼저 수행한다. 〈그림 4〉(a)는 궤도의 종방향해석을 하기 위한 유한요소모델의 메쉬를 보여주고 있다. 침목위에 연결된 궤도를 일련의 스프링위에 지지된 연속보로 나타내었으며, 2방향의 plain strain 요소로 기층, 보조기층, 지반을 나타내었다.

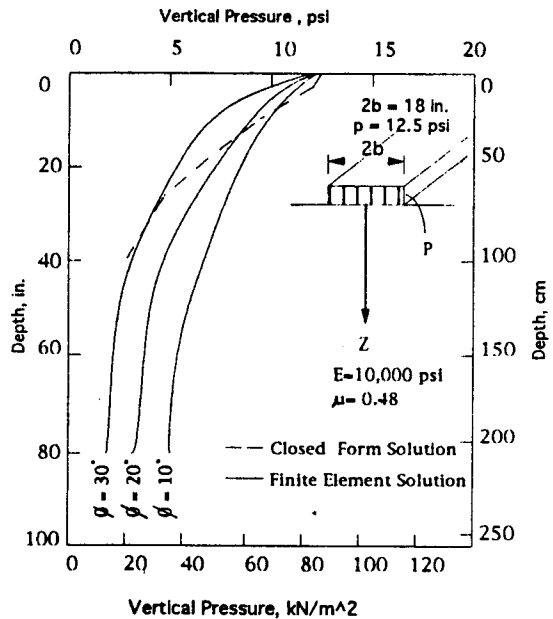
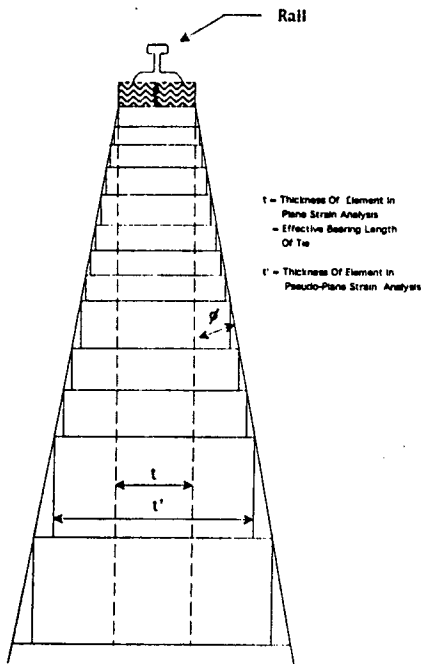
橫方向解析은 종방향에서 구해진 침목에서의 최대반력이나 처짐을 횡방향단면에서의 기층위에 놓인 침목에 작용하는 입력치로 사용한다. 〈그림 4〉(b)는 궤도의 횡방향해석을 하기 위한 유한요소메쉬를 보여주고 있다. 두단계의 유한요소해석으로 궤도와 침목의 모멘트 및 처짐 침목의 반력, 기층·보조기층·지반에서의 응력 및 변형분포 등을 구할 수 있다.



〈그림 4(a), (b)〉중 · 횡방향 유한요소 해석을 위한 메쉬

궤도의 종방향해석에서 Tayabji가 그의 학위논문에서 특별히 주장한 것으로 'pseudo' plain strain 技法을 사용해서 요소의 두께가 깊이에 따라 변한다는 점을 반영하였다. 'pseudo' 기법은 하중이 평면에서 직각방향으로 퍼져서 분포한다는 것을 반영하였다. 즉, 깊이가 커짐에 따라 요소두께를 증가시켜서 2차원 모델을 사용했지만 3차원의 응력분포효과를

나타내게 하였다는 것이다. 깊이에 따른 요소 두께의 증가율을 <그림 5>(a)와 같이 분포각으로 나타내었다. 등분포하중이 작용하는 등방탄성기초의 수직방향의 응력분포의 예를 <그림 5>(b)에서 보여주고 있다. <그림 5>(a)에서 분포각 30°를 사용한 요소모델을 사용한 것이 실제치에 가장 접근하고 있다.



<그림 5(a), (b)> 'pseudo' 기법과 등분포하중작용시 수직응집력 분포

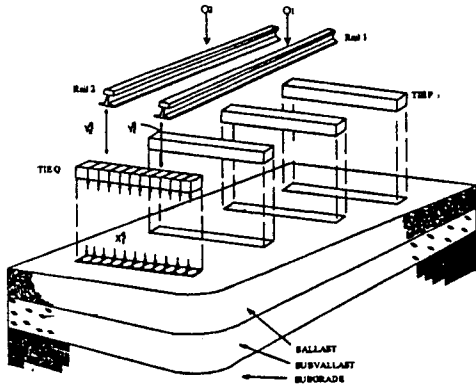
3. Adegoke의 研究와 Raymond의 研究

C. W. Adegoke 등은 <그림 6>에서 보는 바와 같이 궤도시스템을 레일, 침목, 기층, 지반으로 각각 분리해서 相互作用(interaction)理論으로 해석해서(1980) 기존의 프로그램 MULTA를 수정한 GEOTRACK를 개발하였다.

캐나다 Queen's 대학의 Guided Ground Transport 연구소에서 G. P. Raymond 교수팀은 鐵道軌道の 應力과 變形解析에 관한 많은

연구를 수행해왔으며, 지금도 이 분야에 많은 연구보고서를 제출하고 있다. Raymond는 鐵道軌道를 3次元모델로 해석하는 컴퓨터프로그램 ARTS를 개발하였다(1989). <그림 7>(a)와 같은 3개 침목에 대한 궤도를 <그림 7>(b)와 같이 요소분할하여 해석하였다.

그러나 3차원 유한요소해석을 하려면 컴퓨터容量과 計算時間이 매우 크기 때문에 지층 깊이를 제한되게 취하는 등의 문제점이 없지도 않다.

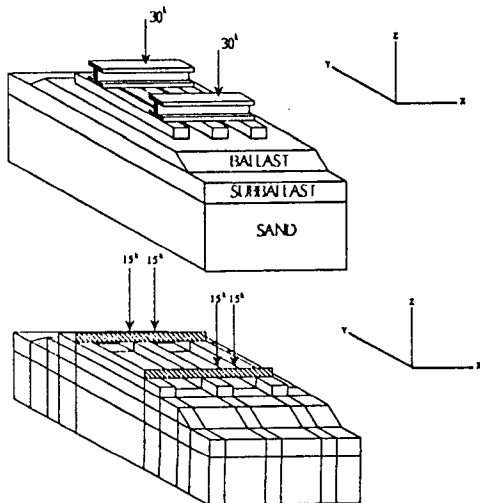


〈그림 6〉 GEOTRACK모델에서의 구성요소와 힘

Raymond는 실험모델 및 실제모델을 제작하여 철도궤도의 응력과 변형해석에 관한 연구(1976)를 수행하기도 했다.

實驗모델은 폭 200mm, 길이 300mm, 길이 900mm이며 양측면이 투명유리로 된 특별히 제작된 실험모델을 보여주고 있다. 여기서 궤도의 변위는 다이얼게이지로 측정하며, 지반의 응력은 트랜스듀스로 측정할 수 있게 하였다.

Raymond는 6m길이의 궤도를 부설한 實際 모델을 제작하여 실험모델이 갖는 한계성을 뛰어넘어서 해석해보았다. 이때 11개의 목재



〈그림 7(a), (b)3〉 3차원 궤도해석 예

침목은 0.15m깊이, 0.2m폭, 2.4m길이로 되었고 침목중심간의 간격은 0.5m이다. 궤도의 아래에는 기층, 보조기층, 모래지반이 각각 0.3m, 0.3m, 0.6m두께로 되어있다. 궤도위에 하중이 정확히 전달될 수 있도록 재하장치를 만들었다.

미연방철도국에서는 實際 敷設된 철도궤도에 게이지를 장치한 Kansas Test Track자료를 발표하였으며(1971), 이 자료는 종종 이론치의 검증에 이용된다.

### Ⅲ. 彈性體上 보理論의 擴張

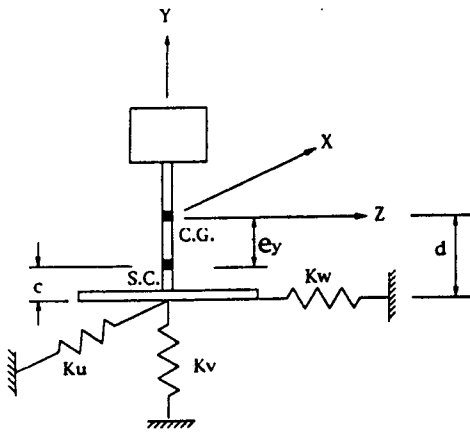
Thompson과 Tayabji의 연구나 Raymond의 연구가 Winkler와 Talbot의 단순한 모델에 비해 발전되었다고 볼 수 있지만 컴퓨터계산 시간이 많이 드는 등 문제점도 없지 않다.

본 연구에서는 철도궤도를 彈性體로 보고 궤도의 처짐에 가장 직접적으로 영향을 미치는 기차바퀴의 수직하중에 대응하는 궤도계수 k만을 도입한 Winkler나 Talbot의 研究를 보다 발전시켜, 움직이는 기차의 각 종류의 하중에 대응하는 軌道係數를 導入하여 해석하는 기법을 제시해본다.

鐵道軌道는 垂直方向의 하중외에 縱方向 및 橫方向의 하중도 받고 있다. 수직방향의 하중으로 차륜하중의 크기, 축의 수, 기차속도, 차륜하중의 진동수를 들 수 있고, 수평방향의 하중은 궤도의 접선면에 작용하는 수평차륜하중, 온도변화의 효과, 급커브나 급경사면 진입시의 효과, 급정거로 인한 동차의 겹침이 있으며, 종방향하중은 온도변화에 의한 궤도의 확장이나 신축, 블레이크 작동시나 가속시 발생하는 힘을 들 수 있다.

궤도해석에서 수직하중, 종방향하중 및 횡방향하중과 대응되는 궤도단면의 지점에서의 彈性스프링要素를 〈그림 8〉에서 보여주고 있다.

k.는 기층과 침목을 포함한 지반의 垂直스

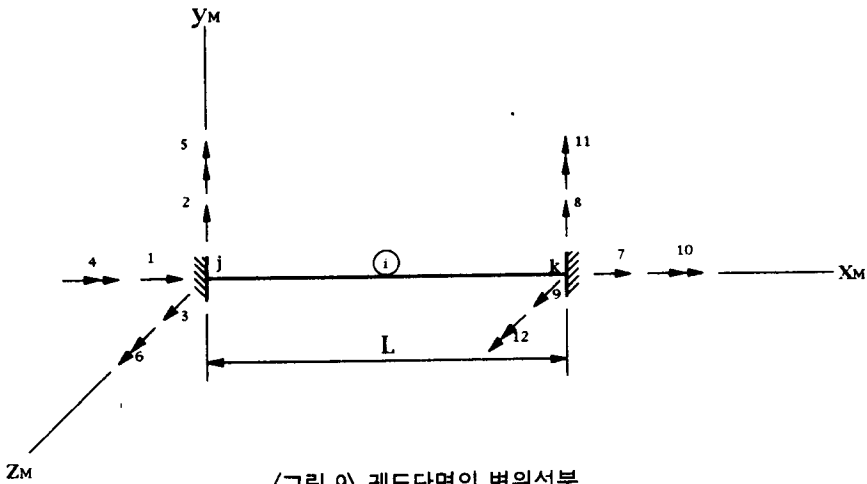


(그림 8) 지점의 탄성스프링 요소

프링係數를 나타내며,  $k_w$ 는 지반의 水平스프링係數를,  $k_v$ 는 궤도축방향에 따른 縱方向스프링係數를 나타낸다.

(그림 9)는 상하플랜지의 폭이 같지 않은 thin-walled보요소의 I형궤도단면과 각 변위성분을 보여주고 있다.

Thin-walled보요소의 거동을 나타내기 위해서는 절점당 6개의 자유도가 필요하며, 궤도상의 임의점에서의 변위는 (그림 9)에 6개의 변위향으로 표시되어 있다. thin-walled보요소의 中心軸에 대한 軌道剛度매트릭스  $[k]$ 는  $12 \times 12$ 의 크기로서 (8)식과 같이 4개의 서브매트릭스로 표시할 수 있다.



(그림 9) 궤도단면의 변위성분

$$[k] = \begin{bmatrix} [k_{11}] & [k_{12}] & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [k_{21}] & [k_{22}] & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \dots \dots \dots (8)$$

대표적으로 서브매트릭스  $[k_{11}]$ 은 (9)식과 같이 나타내며, 여기서 L은 궤도요소의 부재 길이이고, G는 전단탄성계수이다.

$$[k_{11}] = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 12EL/L^3 & 0 & 0 & 0 & 6EL/L^2 \\ 0 & 0 & 12EL/L^3 & 0 & 6EL/L^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & GI/L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6EL/L^2 & 0 & 4EI/L & 0 \\ 0 & 6EL/L^2 & 0 & 0 & 0 & 4EI/L \end{bmatrix} \dots (9)$$

지반저항을 나타내는 스프링상수는 궤도와 연결된 침목에 한덩어리가 되는 것으로 보며, 궤도의 下部플랜지 座標軸에 대한 스프링剛度 매트릭스  $[k_s']$ 는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$[k_s'] = \begin{bmatrix} k_u & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_v & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_w & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (10)$$

(그림 8)에서 보듯이 軌道中心과 軌道剪斷



中心은 지반과 연결된 지점과의 거리가  $d, c$ 만큼 떨어져 있다. 따라서 궤도중심의 변위  $\{d\}$ 와 스프링이 연결된 궤도지점위치에서의 변위  $\{d_s\}$ 는 變換매트릭스  $[T]$ 를 사용하여 다음 식과 같은 관계가 있다.

$$\{d_s\} = [T] \{d\} \dots\dots\dots(11)$$

變換매트릭스를  $[T]$ 를 상세하게 쓰면 아래 (12)식과 같다.

$$[T] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & d \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

식 (10)의 궤도강도매트릭스는 軌道下部플렌지軸에 대한 것이므로 軌道中心軸에 대한 스프링剛度매트릭스도 식 (13)과 같이 변환시켜야 한다.

$$[k_s] = [T]^T [k_s'] [T] \dots\dots\dots(13)$$

여기서 變換매트릭스로 나타낸 전체스프링강도매트릭스  $[k_s]$ 는 全體力系에 대한 평형방정식을 구성하는 전체강도매트릭스  $[K]$ 에 조합할 수 있다.

3개의 지반스프링으로 지지된 궤도의 전체 강도매트릭스  $[K]$ 는 (8)식을 조합한 thin-walled보 요소의 강도매트릭스  $[K']$ 에 식 (13)의 스프링강도매트릭스를 세축방향에 대응되게 重疊하여서 만들며, 그후 전좌표축에 대한 외력  $\{F\}$ 에 대해 변위  $\{D\}$ 는 (14)식과 같은 평형방정식을 가우스소거법 등으로 풀면 된다.

$$\{F\} = [K] \{D\} \dots\dots\dots(14)$$

IV. 適用例

(그림 10)과 같은 단면을 가진 레일은 그 길이가 16.8m, 침묵간격이 56cm이다. 노선 중앙점인 16절점의 궤도중심에 수직하중 45t, 수평하중 9t, 축방향하중 9t이 작용했을 때 기

존의 보해석프로그램을 보완수정하여 軌道の變位를 구하였다.

이 때 사용된 각종스프링계수, 단면의 형상 치수, 탄성계수, 종탄성계수 등은 아래와 같다.

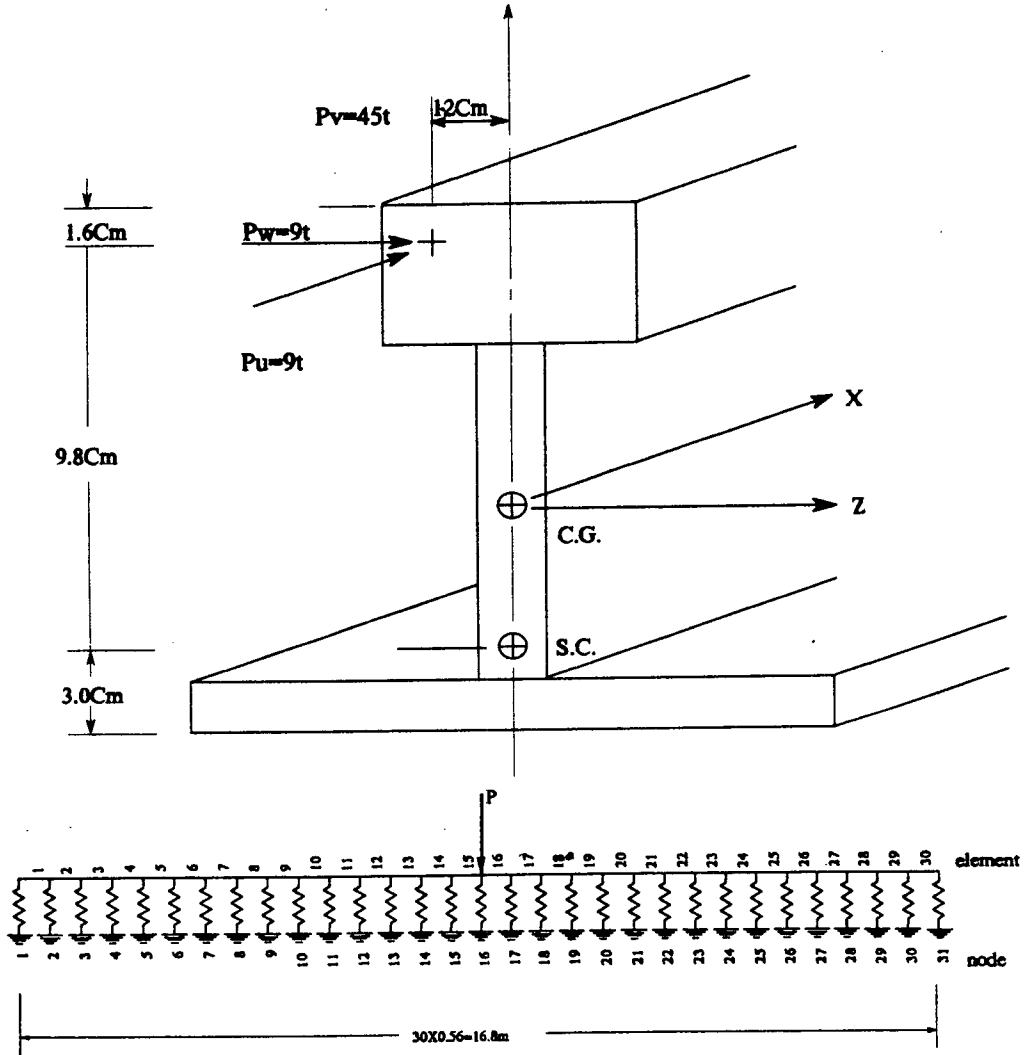
$$\begin{aligned} k_v &= 160 \text{ kg / cm / cm} & I_y &= 498 \text{ cm}^4 \\ k_r &= 320 \text{ kg / cm / cm} & I_z &= 1790 \text{ cm}^4 \\ k_w &= 70 \text{ kg / cm / cm} & E &= 2.02 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2 \\ A &= 66 \text{ cm}^2 & G &= 0.77 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

例題의 궤도해석에서 구한 變位 및 角變位를 (그림 11)과 같이 나타내었다. 궤도의 종방향변위는 전구간에서 0.03 - 0.04cm의 값을 가졌고, 나머지 변위는 하중이 작용한 지점에서 절점 주위에서 주로 일어났고 먼곳에서는 0의 값을 가졌다. 특히 하중이 작용한 지점에서의 수직방향의 처짐은 0.9cm로 최대였고, 이곳에서 멀어질수록 변위가 점점 줄어들어서 2.0m 떨어진 곳에서는 변위가 0이었고, 짧은 구간 미량의 부(-)변위가 발생했다.

예제의 궤도에 대해서 Talbot가 제시한 식 (9)를 이용해서 처짐을 계산하니 0.65cm로서 본 모델의 값에 비해 0.25cm가 적은 값이었다. Talbot해는 수직방향의 하중만 고려되었는데 본 해석에서는 수평 및 축방향 하중의 영향이 반영된 점에 비추어 볼때 보다 높은 해석치라 할 수 있다. 따라서 Talbot의 해석치에 안전값을 4/3정도 보아야 될 것으로 판단된다.

Talbot가 밝힌 바퀴하중이 작용하는 곳에서 휨모멘트가 0인 지점까지의 거리  $x_1$ , 침하가 0이 되는 지점까지의 거리  $x_2$ 는 식(4), 식(6)에서 구하면  $x_1=0.6\text{m}$ ,  $x_2=1.8\text{m}$ 이다. 따라서 침하가 0인 지점은 Talbot해에서 약 0.2m 짧은 위치에서 발생했다.

Adegoke는 14.74t(32.5kips)의 축하중이 궤도에 작용할 때 하중작용점에서의 수직방향 처짐은 0.23cm(0.09in)로 제시하였는데 약 3배인 45ton의 하중에 대해서는 처짐이 0.7cm로서 Talbot의 해와 비슷하며 그가 계산치와



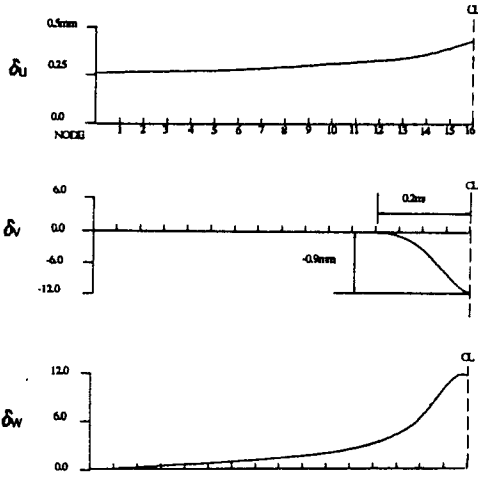
〈그림 10〉 적용궤도 단면 및 부재

인할 수 있었다. 한편, 縱方向 및 橫方向의 地盤스프링要素를 추가해서 thin-walled보要素와 組合한 새모델은 한단계 進展된 모델임이 확인되었으며 地반위를 달리는 고속전철궤도의 해석 등에 단계적으로 도입할 가치가 있다고 판단되었다.

3) 새로운 모델의 개발에 앞서 우선적으로 해결해야 할 과제로 궤도밀의 地盤特性을 나타내는 각종 地盤스프링係數의 값을 어떻게

정하느냐가 궤도해석에 있어서 중요한 과제임을 확인했다. 또, 궤도밀에 놓인 地반은 탄성적이라기 보다는 彈塑性解析을 함이 옳겠으나 그에 대한 연구는 차후로 미루기로 하며, 궤도에 작용하는 하중이 궤도의 중심에 작용한 다기 보다는 偏心해서 作用하고 있는데 이에 대한 연구도 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

4) 세분화되고 전문화된 분야에서 철도에



〈그림 11〉 궤도에서의 변위

함께 제시한 측정치의 범위는 0.54—1.08cm로서 본 해석 처짐값도 이 범위에 속한다. 침하가 0이 되는 지점까지의 거리는 198cm(78in)로서 본 해석의 결과와 일치한다.

Raymond가 개발한 철도궤도 구조해석프로그램 ARTS의 사용자 Manul에 소개한 자료에 의하면 29ton(64kips)하중이 작용할 때 지반의 포아송비가 0.5~0.3 범위일 때 그 점에서의 수직방향 처짐이 4~8mm로 밝혔는데 약 1.55배인 45ton의 하중에 대해서는 6.2~12.4mm로서 본 해석의 결과치도 이 범위에 속하고 있다. 프로그램 ARTS를 실행시킴에 있어서는 추가적인 연구가 있어야 되겠기에 컴퓨터 계산시간에 대한 비교고찰은 추후로 미루기로 한다.

Tayabji는 10.16m(400in)구간의 궤도의 중앙에 대칭으로 두 개의 집중하중이 48km/h로 달리는 기차에 작용할 때 단면에서의 처짐을, 그의 종·횡방향 두段階 유한요소해석치와 실제 궤도에서 측정한 값을 구하였다. 이 해석에서 쓰인 각종계수의 값을 정확히 파악할 수 없어서 근사적인 입력치를 사용하여 새모델에 적용해서 처짐을 구해본 결과 비슷한 경향의 결과치를 얻었다.

V. 結 論

1) 이미 발표된 철도궤도시스템의 해석모델에 관해서 考察해본 결과 각 모델은 각각의 분야에서 궤도해석이론의 정립에 기여하였으며, 더욱 補充되고 修正될 필요가 있다. 有限要素法을 이용한 궤도시스템의 해석은 지반특성을 반영하는 등 잇점이 있으나 計算時間이 過多하게 소요되는 등 문제점을 극복해야 될 것이다.

2) 오랫동안 궤도해석과 설계에 사용되고 있는 Talbot軌道解析方法의 效用性을 다시 확대한 연구의 수행도 물론 있어야 하겠지만 각 분야의 상호 관련성을 파악하여 集합한 종합공학으로서 철도에 대한 연구가 활발해져야겠으며, 나아가서는 철도수요 및 철도계획 등의 분야에 대한 연구도 있어야 하겠다.

〈感謝의 글〉

“이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.”을 밝히며, 同財團에 感謝드립니다.

〈 參 考 文 獻 〉

1. 申鍾瑞(1991), “京釜高速 電鐵建設의 必要性和 建設展望(1)”, 大韓土木學會誌, 第39卷 1號. pp. 20-32
2. 李鍾得(1989), 鐵道工學, 蘆海出版社, pp. 147-155
3. 金聲得(1987), “彈性 및 彈塑性 地盤위에 놓인 圓形平板의 有限要素解析”, 서울大學校 大學院 工學博士 學位論文
4. Hay, W. W. (1982), Railroad Engineering, John Wiley & Sons, pp. 244-259
5. Winkler, E. (1867), “Die Lehre von der Elasticitat und Festigkeit”, Verlag von Dominicus, Prag

6. Talbot, A. N. (1918, 1920, 1923, 1925, 1929), ASCE—AREA Special Committee on Stresses in Railroad Track, 1st. 2nd. 3rd. 4th. 5th Progress Report
7. Tayabji, S. D. (1976), "Considerations in the Analysis of Conventional Railway Track Support System", thesis presented to the University of Illinois in partial fulfillment of the requirements for the Ph. D.
8. Chang, C. S. & Adegoke, C. W. (1980), "GEOTRACK Model for Railroad Track Performance", ASCE(GT11), Vol. 106, pp. 1201—1218
9. Raymond, G. P. (1988), "Analysis of Rail Track Structures(ARTS) User's Manual", Canadian Institute of Guided Ground Transport, No. 88—3, Queen's University
10. Raymond, G. P. & Lake, R. W. & Boon, C. J. (1976), "Stresses and Deformation in Railway Track", C. I. G. G. T., No. 76—11, Queen's University
11. Shebourne, A. N. (1985), "Probabilistic Analysis of Railway Track", Waterloo Research Institute, University of Waterloo
12. Weaver, W. & Gere, J. M. (1980), Matrix Analysis of Framed Structures, D. Van Nostrand Co., pp. 152—157 & pp. 669—676
13. Beaufait, F. W. & Hoadley, P. W. (1980), "Analysis of Elastic Beams on Nonlinear Foundations", Computer & Structures, Vol. 12., pp. 669—676
14. Chaudhary, A. B. (1982), "Generalized Stiffness Matrix for Thin Walled Beams", ASCE(ST3), Vol. 108, pp. 559—577
15. Barsoum, R. S. & Gallagher, R. H. (1970), "Finite Element Analysis of Torsional and Torsional—flexural Stability Problems", International Journal for Numerical Methods in Eng., No 1.2, pp. 335—352