

## 시멘트모르터 충전형 포장궤도의 최적 설계

### Optimal Design of Cement Mortar Pouring type Paved Track

이일화†

Il-Wha Lee

#### Abstract

Recently, the development of the paved track is required as a low-maintenance of conventional line. The main reason is that the line capacity and bearing of track are increased progressively. The important factors of paved track are stability and applicability. To be based on this subject, Cement Mortar Pouring(CMP) paved track is developed. CMP paved track is a kind of ballast reinforced track using the prepacked concrete technique. The most important thing to design the paved track is to optimize the track structure considering various conditions. Because construction environment is very limited, cost is expensive and it has very complicated behavior. On this paper, structural characteristics of the paved track are investigated using the 3D finite element analysis to verify the optimized structure of the CMP track.

**Keywords** : paved track(포장궤도), optimal design(최적설계), low-maintenance(생력화)

#### 1. 서론

포장궤도는 일정 도상자갈층을 시멘트모르터 충전 등의 방법으로 콘크리트 슬래브화(化)시키는 공법으로서 열차 운행에 지장을 주지 않으면서 궤도구조를 개선하여 기존선의 유지보수업무를 획기적으로 줄이는데 목적이 있다. 운행 중인 기존선의 생력화를 목표로 하며 최소 열차차단시간(3~4시간)내에 작업이 수행된다. 포장궤도는 기본적으로 콘크리트궤도 수준의 유지 관리성을 목표로 하고 있다. 이를 만족하기 위해서는 궤도구성품을 비롯한 충전 재료(시멘트계)와 충전재의 두께, 침목의 폭과 간격(체결장치의 간격)에 대한 검토와 경제성과 시공성의 조건에서 본 최적구조의 개발 및 현장적용시 충분한 내구성과 안정성을 확보하여야 한다[3].

본 논문에서는 모르터주입형 포장궤도(CMP paved track)의 구조적 안정성 평가 및 최적설계를 위하여 유한요소해석을 실시하였다. 해석은 포장궤도의 기본설계안[3]을 바탕으로

로 수행하였으며, 주요 내용은 기본 안에 대한 구조검토, 최적 충전층의 두께와 폭, 체결장치 간격 및 충전 재료의 강성에 따른 응력 및 변위특성에 관한 평가를 수행하였다. 그리고 구조적 취약개소라고 할 수 있는 시공이음매부에 대한 검토를 수행하여 최적화된 구조를 제안하였다.

#### 2. 포장궤도의 설계

포장궤도는 일본에서 그 개념이 제안되어 1970년대부터 연구되었다. 초기에는 도상을 개량하지 않고 충전하는 방식이 사용되었으나, 품질관리와 내구성 측면에서 성능이 떨어져 도상교환방식으로 변경하였다[11,12]. 개발된 포장궤도는 아스팔트충진형, A형, B형, C형, D형, SU형, TC형, 도상강화궤도가 있다[4]. 이 중 TC형 포장궤도는 JR동일본에서 1990년대 초 개발한 궤도구조로서 E형 포장궤도를 기본으로 개발, 실용화되어 현재 JR동일본의 기존선 생력화의 모델로 채택되었다. TC형 포장궤도는 40mm의 PC침목을 사용하여 침목하면, 200mm범위내의 도상을 시멘트밀크로 주입하는 도상일체형 콘크리트 슬래브 궤도구조이다[11,12]. 시공 대상은 시속 80km급의 협궤용으로 개발되어 적용되

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부  
E-mail : iwlee@krri.re.kr  
TEL : (031)460-5326 FAX : (031)460-5319

고 있으며, 중량열차용이 현재 개발중이다.

본 연구에서도 일본의 TC형 포장궤도의 개념설계안을 토대로 구조최적화를 수행하였다. 구조해석에서는 국내 적용 시 기본적인 검토사항인 하중, 궤간, 설계속도, 노반조건을 고려하여 포장궤도구조에 대한 안전성을 확인할 필요가 있다[2,3]. 또한 개발형 포장궤도의 기본설계안을 다음 Table 1과 같이 고강도형 포장궤도 방식으로 제안하였기 때문에 각 궤도구성품의 물성 및 치수를 원점에서 검토할 필요가 있다.

포장궤도의 설계에 있어서의 주요 핵심은 충전재의 재료 및 궤도구성품 등을 고려하여 비용과 시공성의 조건에서 본 최적구조를 개발하는 것이다. 제안된 포장궤도 방식은 무엇보다 기계화시공이 가능하고 자갈교환방식 중 가장 시공비가 저렴한 장점이 있다. 구조선정 및 개념설계를 위하여 고려한 사항은 다음과 같다.

- 1) 국내 자갈궤도에 시공가능한 포장궤도구조일 것.
- 2) 열차차단시간내 일정공사가 가능하고 시공속도가 20m/h이상일 것.
- 3) 기계화시공이 가능하고 시공공정이 간단할 것.
- 4) 유지보수비가 기존 자갈도상궤도의 20%이하이고 콘크리트슬래브궤도와 동등한 수준의 성능을 발휘할 것.
- 5) 궤도재료의 국내제작 또는 제조가 가능할 것.
- 6) 궤도의 저탄성화 추세에 맞게 궤도지지강성이 낮을 것.

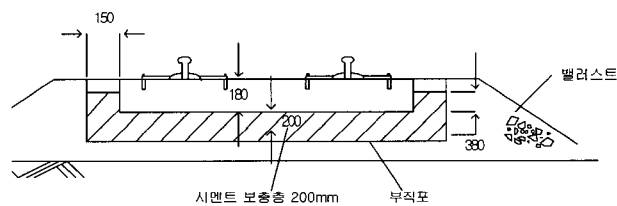


Fig. 1. TC type paved track

Table 1. Constitution of each paved track

궤도구성	개발형 포장궤도	TC형 포장궤도
침목	폭360mm 대형침목	폭400mm 대형침목
체결구	저탄성베이스플레이트형 체결구	팬드롤형 체결구
충진재	고강도 시멘트모르타 $\sigma_{28}=30\text{MPa}$	저강도 시멘트밀크 $\sigma_{28}=10\text{MPa}$
토목섬유	2중 장섬유 부직포	부직포
노반조건	$11 \leq K_{30}(\text{kgf}/\text{cm}^3)$	$7 \leq K_{30}(\text{kgf}/\text{cm}^3)$
도상조건	기존자갈 재활용(건식세척)	신자갈(수세척)

### 3. 해석 모델의 구성 및 조건

#### 3.1 해석 모델

FEM 3차원 해석 모델링에서는 실제 거동과 유사하게 해석하기 위하여 Fig. 2와 같이 다양한 층을 고려하였다. 궤도(레일, 체결구, 침목)를 포함하여 상부로부터 모르타가 주입되는 충전층, 기존도상과 세립분이 혼합되어 있는 하부도상층, 도상이 관입된 노반인 관입층 그리고 원지반인 노반층으로 구성하였다. 노반과 충전층 및 침목은 연속체로 가정하고, 층간에서 미끄러지지 않으며, 각 층은 균일한 등방의 탄성체로 하였다. 레일은 50kg/m의 범요소를 사용하였으며 각 층의 요소는 변위 형태를 완만하게 표현하기 위하여 8 node incompatible mode 요소가 사용되었다. 해석시간을 줄이기 위하여 노반의 종방향과 횡방향에 대하여 대칭모델을 사용하여 해석단면은 실제의 1/4의 크기를 가지며 실제 하중분포를 파악하기 위하여 9개의 침목을 배치하였다. 접촉요소로는 레일과 침목사이의 패드, 충전층과 도상층사이의 토목섬유를 스프링요소로 표현하였다. 해석은 범용유한요소해석프로그램인 ABAQUS를 사용하였다[9].

#### 3.2 재료 물성

유한요소해석은 Table 2의 기본 물성치를 바탕으로 각각의 설계변수에 대한 특성을 평가하였다. 각 재료의 물성은

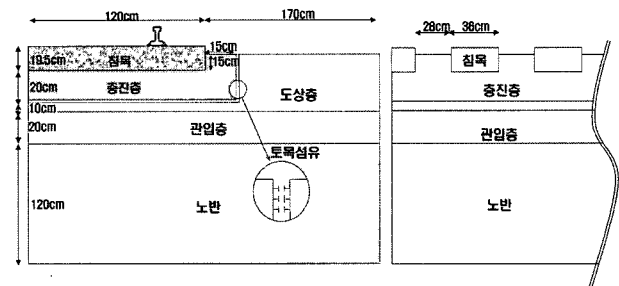


Fig. 2. Standard section of CMP paved track

Table 2. Material parameters

구분	치수(mm)	$\gamma_i$ ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	E (MPa)	$\nu$
레일	50kg/m	-	210,000	0.3
패드	30kN/mm	-	-	-
침목	2,400×360×195(H)	2.3	30,000	0.167
충진층	20cm	2.3	17,000	0.2
도상층	-	1.7	100	0.3
관입층	-	1.6	150	0.3
노반	$11 \leq K_{30}(\text{kgf}/\text{cm}^3)$	1.8	50	0.33

재료시험 및 현장시험을 통하여 구한 값을 사용하였으며, 노반의 지반반력계수  $K_{30}(\text{kgf/cm}^3)$  값은 11 이상으로 하였다. 현장시험은 실제 폐선구간을 선정하여 현장에서 굴착, FWD, SASW, PBT, GPR 등을 수행하여 획득한 결과를 이용하였다[5,6].

### 3.3 해석 조건

포장궤도가 요구되는 개소는 기존선 중 2급선 이하일 것으로 판단되지만, 해석에서는 1급선 조건으로 고려하였다. 설계속도는 향후의 적용성을 고려하여 200km/h로 결정하였으며 설계하중은 LS22를 사용하였다. 레일은 기존선에서 대부분의 노후화된 개소가 50kg레일이 부설되어 있고, 60kg레일도 포장궤도용 체결구의 절연블록을 조정하여 사용 가능하므로 안전측 설계를 위하여 50kg레일을 적용하였다.

축하중은 차량의 중량을 축수로 나눈 하중이며 윤하중은 축하중의 1/2을 사용한다. 속도충격율은 일본에서 사용하는 속도충격을 산정공식을 이용하였다. 일반적으로 설계에 사용되는 연직하중의 계산시 속도충격율과 캔트부족량에 대한 하중의 증가분을 고려한다. 수직하중 산정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{설계윤중} : P_w &= P_w \times i \times (1+c) \\ &= 11 \times 1.6 \times 1.1 \\ &= 19.36 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, 속도충격율}(i) &= 1.0 + 0.3\left(\frac{V}{100}\right) = 1.6 \\ \text{캔트부족량}(c) &= 0.1 \end{aligned}$$

본 연구에서의 해석조건은 Table 3에 나타난 것과 같이 체결장치 간격, 충전층의 두께 및 강성, 충전층 측면 폭, 체결구 패드의 스프링계수 및 시공이음매부에서의 특성변화

Table 3. Analysis cases

	체결장치 간격	충전층의 두께	충전층의 강성MPa	충전층 측면 폭	패드 스프링	시공 이음매
Case1	210mm	200mm	17,000	15mm	30kN/mm	×
Case2	210mm	200mm	2,000~ 30,000	15mm	30kN/mm	×
Case3	210mm	0~250mm	17,000	15mm	30kN/mm	×
Case4	210mm	200mm	17,000	0~ 250mm	30kN/mm	×
Case5	140~ 420mm	200mm	17,000	15mm	30kN/mm	×
Case6	140~ 420mm	200mm	17,000	15mm	10~ 100kN/mm	×
Case7	210mm	200mm	17,000	15mm	30kN/mm	○

를 분석하였다.

## 4. 해석 모델의 응력 특성

Table 3의 Case 1에서는 3차원 모델을 이용하여 기본모델의 응력특성을 검토하였다. Fig. 4는 하중재하시 포장궤도의 연직방향 주응력분포를 나타낸 그림으로서 토목섬유가 포설된 깊이를 기준으로 응력이 구분되는 것을 알 수 있다. 충전층 하부 도상면에서 응력분포는 0.38~0.48kg/cm<sup>2</sup>의 범위로 도상자갈궤도보다 전달된 응력의 크기가 작으므로 해석되었다. 응력특성은 하중이 재하된 침목과 두 번째 침목에서 압축응력이 집중되고 재하침목의 중앙에서는 침목의 길이방향으로 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다. 해석구간에서 전체적으로는 압축응력이 주응력으로 작용하지만, 침목의 단부에서는 국부적으로 인장응력이 발생하면서 응력특성은 매우 복잡한 것으로 나타났다.

특이사항은 침목과 충전층의 접촉면에서 과도한 인장 또는 압축응력이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 두 재료의 강성차가 2배 정도이고 접촉면 지점이기 때문에 응력이 집중된 것으로 판단된다.

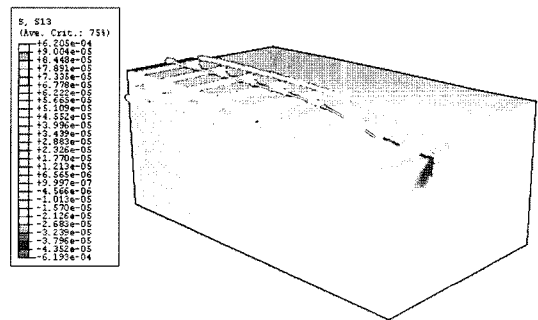


Fig. 3. Vertical direction shear stress

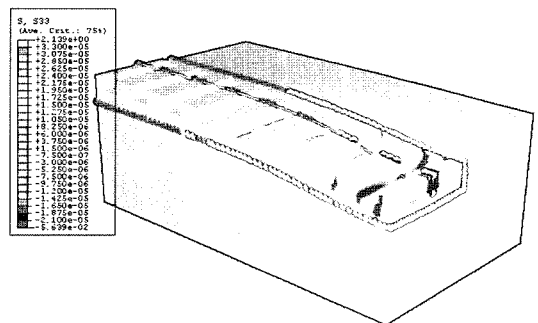


Fig. 4. Vertical direction stress

### 4.1 충전층의 응력 특성

해석시 사용된 충전층의 재료는 탄성계수가 17,000MPa

이고 두께는 19.5cm, 폭은 1.35m이다. 설계하중에 대하여 충전층에서도 응력분포는 하중재하점의 위치에 따라 압축과 인장응력이 복잡하게 작용한다. 충전층에서 저면의 인장 응력범위는 300~1,000kPa이다. Fig. 5는 침목직각방향(Y축), 즉 궤도 길이방향의 응력도로서 하중재하점에서 첫 번째, 두 번째 침목 사이에서만 압축이 발생하고 5번째 침목까지는 인장응력이 고르게 작용하는 것으로 해석되었다. Fig. 6은 침목 수직방향의 전단응력으로서 침목의 모서리 부분에서 가장 큰 전단응력이 발생하는 것을 알 수 있다.

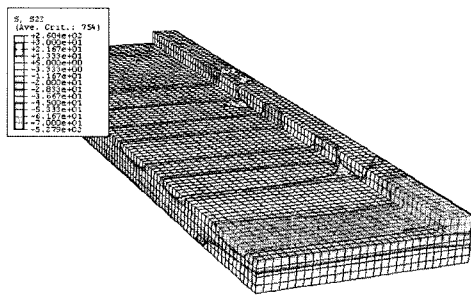


Fig. 5. Compression and tension stress contour of poured layer (vertical)

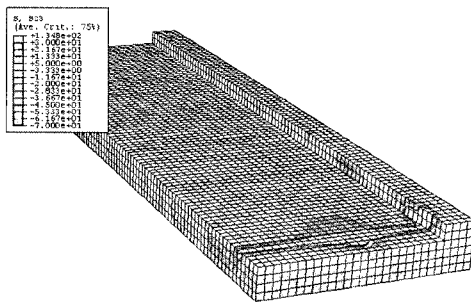


Fig. 6. Shear stress contour of poured layer(vertical)

4.2 침목의 응력 특성

침목에서의 응력은 하중재하 침목을 포함하여 전후 3개 침목까지만 일정이상의 유효응력이 작용한다. 침목에서는

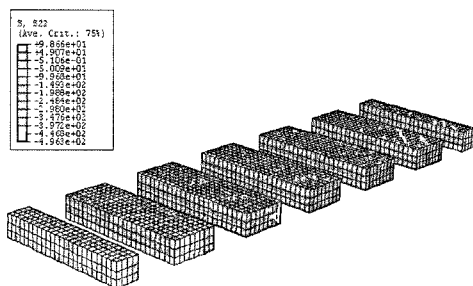


Fig. 7. Compression and tension stress contour of wide sleeper (vertical)

응력이 비교적 고르게 분포하며, 침목 단부의 모서리 부분에 응력이 집중하는 것을 알 수 있다. 응력은 압축과 인장성분이 하중작용점에 따라 다르게 작용하며 장기사용을 위한 피로검토가 요구된다.

5. 충전층의 강성별 특성변화

Table 3의 Case 2에서는 충전층의 강성 변화에 따른 궤도 변형 특성을 검토하였다. 검토항목은 레일과 충전층에서의 탄성변형량과 충전층 내의 최대응력값의 변화를 검토하였다. 재료강성(탄성계수)은 2,000~30,000MPa까지의 범위로 6개의 경우에 대하여 비교 검토하였다. Fig. 8은 충전재료의 강성별 포장궤도의 변위특성을 비교한 그림이다. 재료강성에 따른 탄성변화량은 크지 않으며 일정값 이상에서는 선형적으로 변위가 감소하였다. Fig. 9는 충전층 내에서 발생하는 최대응력을 나타낸 그림이다. 충전층의 강성이 증가 할수록

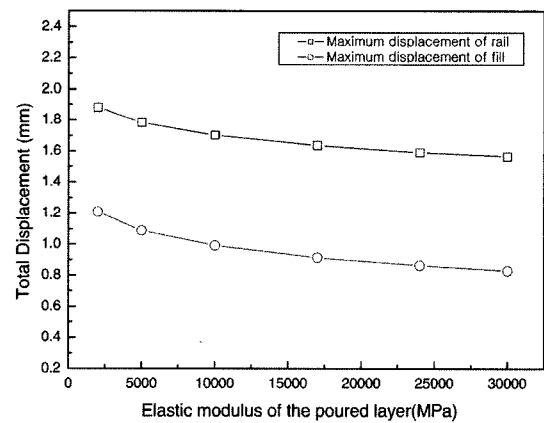


Fig. 8. Displacement variation according to the poured layer stiffness

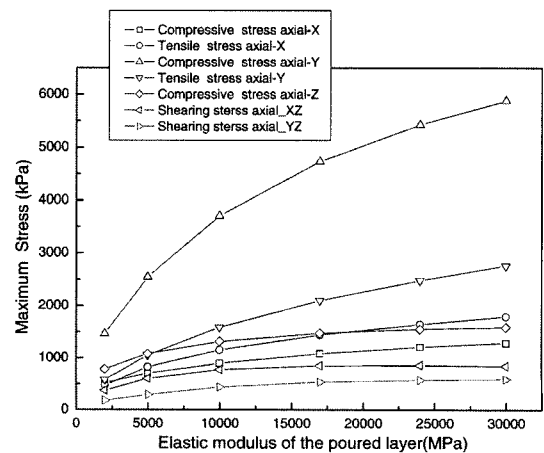


Fig. 9. Maximum stress variation according to the poured layer stiffness

모든 최대응력은 증가하며, 특히 Y방향(열차주행 방향)의 압축응력은 크게 증가한다. Y방향 최대압축응력은 충전재의 강성이 30MPa인 경우로서 약 6MPa인 것으로 나타났으며, 개발중인 충전형 모르타의 시공직후인 2시간 압축강도는 10MPa이며, 28일 압축강도는 30MPa이상이므로, 최대 압축응력은 허용범위를 만족한다고 할 수 있다.

### 6. 충전층의 두께별 특성변화

Table 3의 Case 3에서는 충전층의 두께변화에 따른 궤도 변형 특성을 검토하였다. 충전층의 두께는 10cm부터 5cm씩 증가하여 30cm까지 5번의 해석을 실시하였다. Fig. 10은 충전층의 두께 변화에 따른 레일 및 충전층의 변위 특성을 비교한 그림이고 Fig. 11은 충전층 두께변화에 따른 충전층의 최대응력을 비교한 그래프이다. 충전층 내 최대응력은 충전층의 두께 변화에 선형적으로 영향을 받는다. 충전층의

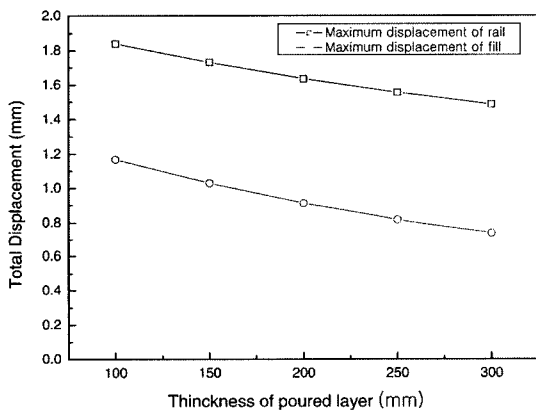


Fig. 10. Displacement variation according to the poured layer thickness

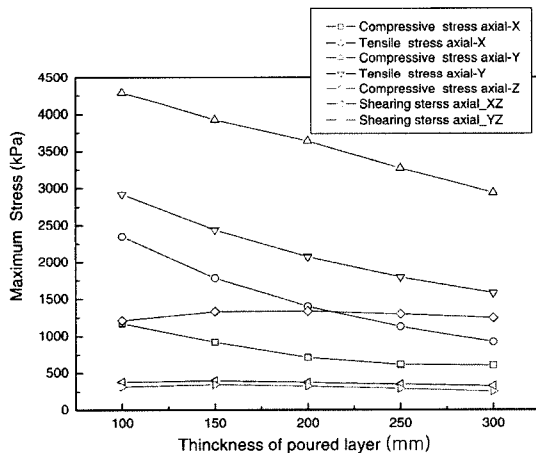


Fig. 11. Maximum stress variation according to the poured layer thickness

두께가 100mm일 경우에는 압축응력은 4,250kPa이고, 충전층의 두께가 300mm일 경우에는 3,230kPa로서 그 변화의 폭은 상대적으로 크지 않다. 충전층의 두께를 변화시킨 경우의 영향을 검토한 결과, 충전층의 두께가 두꺼워 질수록 충전층 내 최대변위와 충전층 내 최대응력치가 작아진다. 그러나 실제 현장에서는 충전층 두께가 두꺼워지면 충전량이 늘어나는 관계로 비용이 증가하여 경제적이지 못한 단점이 있다.

### 7. 충전층 측면 폭의 두께별 특성변화

Table 3의 Case 4에서는 충전층 측면 폭의 변화에 대한 궤도 변형 특성을 검토하였다. 충전층의 측면폭을 0mm부터 250mm까지 50mm간격으로 총 6회 유한요소해석을 실시하여 비교 검토하였다 Fig. 12는 충전층 윗 부분의 폭 변화에 따른 레일 및 충전층의 변위 특성을 비교한 그림이며 Fig.

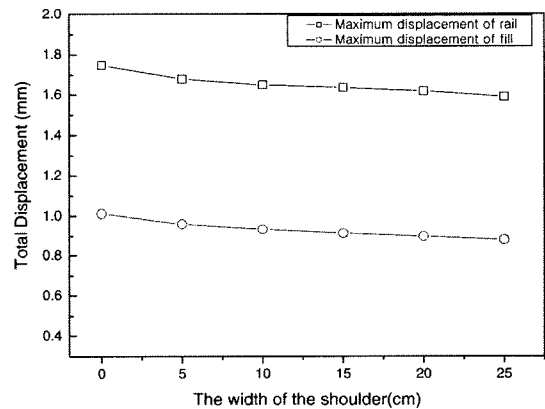


Fig. 12. Displacement variation according to the poured layer shoulder width

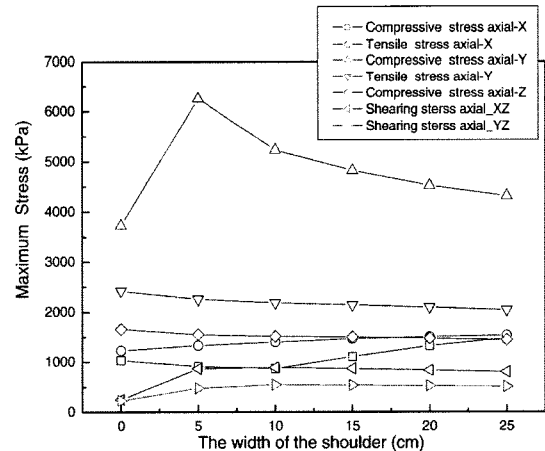


Fig. 13. Maximum stress variation according to the poured layer shoulder width

13은 최대응력의 변화를 나타낸 그림이다. 충전층 윗부분의 폭이 0mm 경우 레일에서의 최대처짐은 1.75mm, 충전층에서의 최대처짐은 1.01mm이며, 250mm 경우에는 레일에서의 최대처짐은 1.59mm, 충전층에서의 최대처짐은 0.88mm로 나타났다. 이는 충전층 윗부분의 폭 변화는 변위에 따른 미소한 차이만 있을 뿐 크게 영향을 못 미치는 것으로 판단된다. 또한 충전층의 최대응력 특징을 살펴보면 폭이 0cm에서 25cm로 변화시에 Y축의 압축응력만 변화가 있을 뿐 다른 응력변화가 거의 없었다. 이는 하중이 재하되었을 때 충전층이 Y방향(열차진행방향)의 응력을 가장 크게 받게 되기 때문에 충전층의 윗부분 폭이 점차적으로 증가함에 따라 최대응력은 감소한다는 의미로 판단된다.

### 8. 체결장치 간격별 특성변화

Table 3의 Case 5에서는 체결장치 간격 변화에 따른 궤도 변형 특성을 검토하였다. 체결장치 간격은 500~780mm의

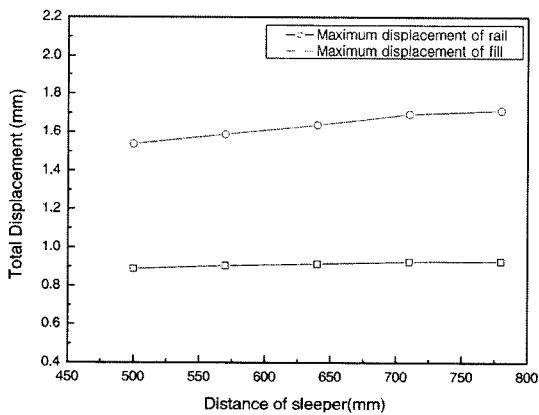


Fig. 14. Displacement variation according to the fastner interval

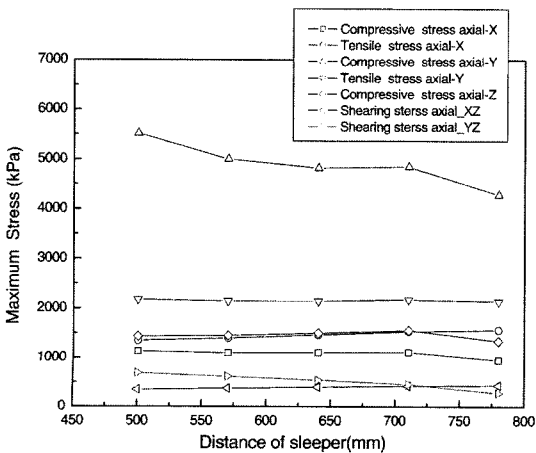


Fig. 15. Maximum stress variation according to the fastner interval

범위에서 70mm씩 증가시켜 총 5번의 해석을 실시하여 비교 검토하였다. 체결장치 간격 변화에 따른 궤도특성을 살펴보면 체결장치 간격이 500mm인 경우에는 충전층의 최대 처짐은 0.89mm이고, 780mm인 경우에는 0.93mm로서 체결 장치의 간격 변화가 있더라도 충전층 변위는 거의 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 충전층내의 최대응력을 살펴보다라도 Y방향 압축응력만 감소하고 나머지 응력들은 거의 변함이 없다. 체결장치의 간격은 충전형 궤도특성에는 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 9. 패드의 지지계수별 특성변화

Table 3의 Case 6에서는 레일패드 스프링 강성의 변화에 따른 궤도변형 특성을 검토하였다. 스프링의 강성은 9.8~98kN/mm 범위 중 5가지 스프링 강성값에 대한 해석을 실시하였다. 검토항목은 레일과 충전층의 변위와 충전층내의 최대응력을 검토하였다. Fig. 16과 Fig. 17은 스프링강성변화

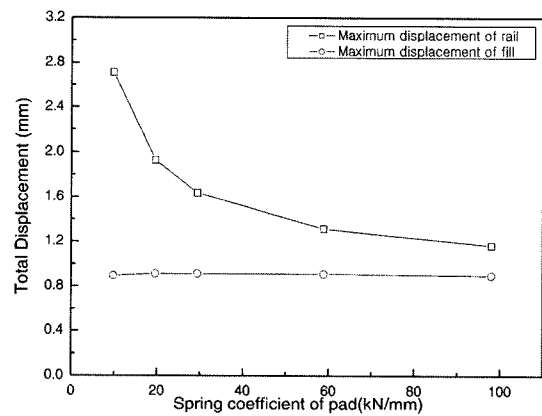


Fig. 16. Displacement variation according to the pad spring coefficient

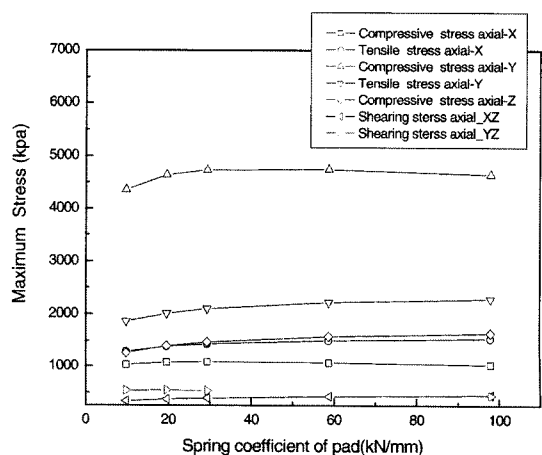


Fig. 17. Maximum stress variation according to the pad spring coefficient

에 따른 궤도변위와 충전층의 최대응력을 비교한 그래프이다. 스프링 강성에 변화에 대하여 충전층에서의 변위와 최대응력에 미치는 영향은 없으나 레일에서의 변위는 상당한 차이를 보였다. 스프링의 강성을 9.8KN/mm로 하였을 경우 레일에서의 최대 변위는 2.71mm로 가장 컸으며 98KN/mm로 하였을 경우에는 1.164mm로 그 차이가 상당히 크게 나타났다.

### 10. 시공이음매에서의 특성변화

Table 3의 Case 7에서는 충전층내에 시공이음매가 존재하는 경우로서 포장궤도의 시공은 정해진 궤도 연장에 대하여 연속적으로 시공하는 것이 아니라 일 일 작업량만큼의 시공이음매가 존재하게 된다. 즉, 토목섬유가 충전층의 경계면을 이루는데, 이 부분은 일종의 불연속 경계면으로서 구조적으로 불안정한 상태가 염려되어 구조검토를 실시하였다. Fig. 18은 충전층 내부 침목의 첫 번째와 두 번째 사이에 시공이음매가 존재하는 경우의 모델형상이다. 시공이음매의 토목섬유는 모델링 시 스프링으로 표현하였으며 다른 부분들은 기존 모델과 동일한 물성치와 경계조건을 가지고 있다.

해석은 기본모델과 이음매가 있는 모델에 대하여 동일한 해석조건을 적용하여 결과값을 비교하였다. 검토항목은 레일 및 충전층에서의 변위와 충전층 내의 최대응력을 검토하였다. 해석조건은 Table 4와 같다. Case II와 Case III의 차이는 완전히 분리되었을 때와 마찰력을 가지고 접촉하고 있을 때를 표현하였다.

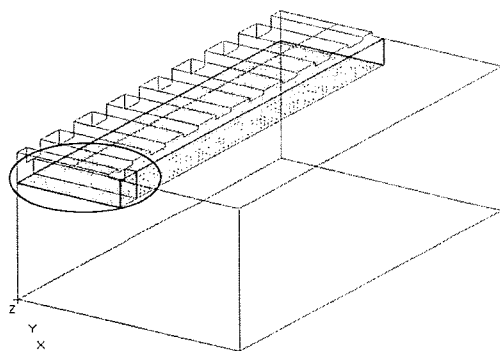


Fig. 18. Location of construction joint

Table 4. Analysis condition

구 분	해석 조건
Case I	충전층 내부에 시공이음매가 없는 경우
Case II	충전층 내부에 시공이음매가 있는 경우 (스프링의 강성 0.0002t/mm)
Case III	충전층 내부에 시공이음매가 있는 경우 (스프링의 강성 5.00×10 <sup>3</sup> t/mm)

다음 Table 5는 충전층내의 최대응력의 변화를 비교한 표로서 Case I과 Case III은 동일한 결과값을 가지기 때문에 Case III은 제외하고 Case I과 Case II만 비교하였다. 충전층 내부의 최대응력은 두 가지 경우에 대하여 크게 차이가 나

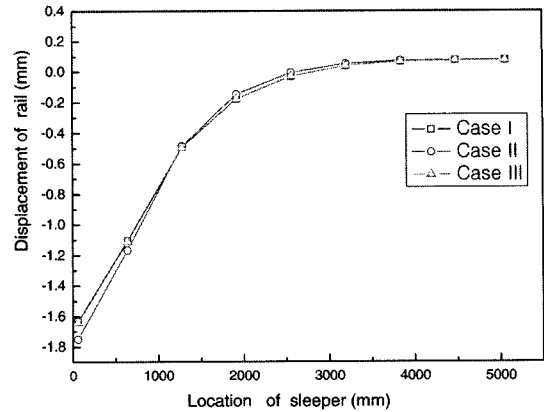


Fig. 19. Rail displacement each sleeper location

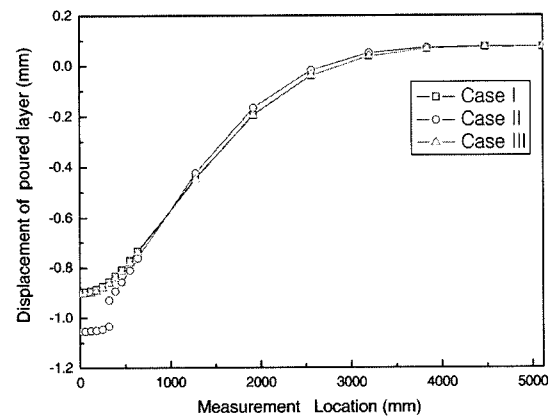


Fig. 20. Poured layer displacement each location

Table 5. Comparison of maximum stress in poured layer

	CASE I	CASE II
Compressive stress axial-X(kPa)	1084.37	993.916
Tensile stress axial-Y(kPa)	1435.994	1612.59
Compressive stress axial-Y(kPa)	4729.774	5938.702
Tensile stress axial-Y(kPa)	2098.768	2764.376
Compressive stress axial-Z(kPa)	1471.274	1493.324
Shearing stress axial_XZ(kPa)	852.3746	1406.692
Shearing stress axial_YZ(kPa)	531.4246	473.438

지 않았다.

Fig. 19는 하중재하시 침목위치에서의 레일변위를 거리별로 나타낸 그림이다. 유효하중은 하중재하침목에서 4번째 침목까지 전달되는 것을 알 수 있으며 각 해석조건별 차이는 시공이음매가 분리되어 있을 경우, 각 레일지점에서의 변위차중 재하 직하부에서 약 7%정도 변위가 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 20은 충전층 표면에서의 거리별 변위로서 시공이음매가 분리되어 있을 경우(Case II) 약 0.1mm의 단차가 발생하였으며 재하 직하부의 변위는 약 16%정도 증가하였다. 실제 부설조건은 시공이음매부의 양쪽면이 서로 결합되어 있어 해석결과보다는 그 영향이 작을 것으로 판단되지만, 향후 열차반복주행에 의한 영향 검토가 요구된다.

## 11. 결론

포장궤도의 최적구조를 결정하기 위하여 다양한 해석조건에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 해석 결과, 전반적인 변위의 범위는 슬래브궤도와 동등한 성능을 보였으며 충전층의 두께와 강성변화에 따른 변위특성도 기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 충전층과 침목의 접촉면과 침목단부의 모서리에서 응력이 집중하는 현상이 나타나 장기사용시의 취약개소가 될 것으로 예상된다. 각 해석조건에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 기본모델에 대한 해석결과, 응력특성은 전체적으로는 압축응력이 주응력으로 작용하지만, 침목 저면의 단부 및 중앙부에서 국부적인 인장응력도 발생하면서 응력특성은 매우 복잡한 것으로 나타났다. 충전층에서의 최대응력은 하중재하 침목의 직하에서 최대 인장이 발생하고 침목단부와 충전층의 접촉면에서 최대 압축이 발생하며 하중재하점 직하부 침목과 충전층의 접촉면에서 가장 큰 전단응력이 발생하는 것으로 해석되었다.
- (2) 충전층의 강성이 증가할수록 변위는 감소하지만, 응력은 증가한다. 특히 Y방향(열차주행 방향)의 압축응력은 크게 증가한다. 충전층 내 최대응력은 충전층의 두께의 변화에 선형적으로 영향을 받아 안전율을 고려할 경우, 최소 100mm이상의 두께가 요구된다.
- (3) 충전층 측면의 폭 변화(50~250mm)와 체결장치의 간격

(500~780mm)은 포장궤도의 구조적 특성에 별 영향을 미치지 않는다. 또한 스프링 강성에 변화(9.8~98 kN/mm)에 대해서도 충전층에서의 변위와 최대응력에 미치는 영향은 없으며 레일에서의 변위만 차이를 보였다.

- (4) 시공이음매가 있고 불연속인 경우의 해석 결과, 이음매부에서 단차가 다소 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 현장 부설조건은 시공이음매부의 양쪽면이 서로 맞물려 있어 해석결과보다는 그 영향이 작을 것으로 판단되지만, 향후 열차반복주행에 의한 영향 검토가 요구된다.
- (5) 구조해석을 통하여 결정된 최적구조는 침목폭 360mm, 체결간격 640mm, 충전층 두께 200mm, 강성 17,000Ma, 측면폭 150mm, 패드스프링계수는 약 60N/mm로 하였다.

## 참고 문헌

1. 이일화, 김현기, 황선근, 조용권 (2000), “고속전철 강화노반의 침하특성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, Vol.20, Vol.6-d, pp.681-690.
2. 이일화, 이희업, 이준석, 이진옥 (2005), “궤도 무보수화를 위한 시멘트모르타르충전형 포장궤도의 개발”, 대한토목학회 학술발표회 논문집
3. 이일화, 황선근, 김영구, 장봉춘 (2004), “기존선 자갈궤도 무보수화를 위한 시멘트그라우트주입형 포장궤도의 기본설계”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 1603-1608.
4. 기존선 자갈도상궤도의 무보수화를 위한 포장궤도 개발 현황 (2004), 철도시설, No.94, pp.50-58.
5. 이일화, 황선근, 박태순 (2004), “포장궤도 구조결정을 위한 현장상태 조사”, 한국철도학회 춘계학술발표회.
6. 김성환, 최승식, 이일화 (2005), “포장궤도 골재용 도상자갈의 입도기준”, 한국철도학회 춘계학술발표회.
7. Etsuo Sekine and Katsumi Muramoto (1995), “Bearing Capacity of Actual Existing Roadbed”, RTRI Report, Vol.9, No.7.
8. Makoto Ishida, Shigeru Miura, Akiko Kono (1997), “The Influence of Track Stiffness on Track Dynamic Behaviour”, QR of RTRI, Vol.38, No.3.
9. ABAQUS User Manual Ver. 5.7, Finite element software package, Hibbitt Karlsson & Sorenson, Inc.
10. 小西俊之外 2人 (1995), 土路盤上省力化軌道の軌道沈下調査, 土木学会第50回學術講演會, pp.584-585.
11. 小関昌信外 3人 (1995), “低廉型既設線用舗装軌道の開発”, RTRI REPORT, Vol.9, pp.25-30.
12. Katsutoshi ANDO外 4人(1995), “新軌道構造の技術的經濟的可能性”, RTRI REPORT, Vol.9, pp.55-60.