

# 장대레일 재설정 방법 개선 연구

## A study on the refined resetting for the continuous welded rail

김우진\*

Woo-Jin Kim

정찬묵\*\*

Chan-Mook Jung

민경주\*\*\*

Kyung-Ju Min

### ABSTRACT

Due to the transportability problems, long rail shall be from base rail unit, which is normally 100m for regular rail and 300m for high speed rail. After these rail units are transported from the fabricator to the site, the field weld would be performed. Axial stresses in the long rail is mainly from the temperature differences at various locations of the long rail. Also the gaps between each welds cause secondary axial stresses in the rail. In addition to these, re-welds of fractured rails, rail buckling, irregular rail vibration, rail twist also result in non-uniform axial stresses in the rail. To obtain the rail buckling stability, the rail stresses shall be released due to the resetting of CWR.

Traditionally two resetting of CWR methods have been applied, the one is rail heater and the other is rail tenser. These methods, the latter has been recommended because it has less limitation in the rail length and it is easier to minimize the force differences. But even in this method, the calculation is cumbersome and it is not easy to find out the rail stress distribution itself. Refined methods of axial stress resetting in the long rail is studied and this study can be easily applied in the real construction. From this approach, more rational rail maintenance system can be expected.

### 1. 서 론

장대레일은 정체레일을 기지에서 운반이 가능한 일정 길이 즉, 일반철도에서는 100m, 고속철도에서는 300m로 용접한 후 부설 현장으로 이동시켜 이들을 다시 용접이음으로 장대레일을 부설하게 된다. 이렇게 부설된 장대레일은 시공에 일정 시간이 소요됨으로 동일한 장대레일에서도 전체적으로 설정온도와 평균온도의 차이는 물론 시공 시간에 따른 온도 차이에 의해서도 크게 다르게 나타나게 된다. 또한 선로의 사용 중에도 레일의 절순과 용접, 궤도의 좌굴, 이상 복진 및 도상강성의 변화와 궤도의 틀림 및 레일 부설 위치의 기온에 따른 장기간 온도 차이에 따른 레일 축력의 집중 등으로 장대레일의 축력은 다르게 나타나게 된다. 이러한 경우 장대레일은 재설정을 통하여 궤도의 좌굴 안정성을 높이고 레일축력의 불균형을 해방시키게 된다.

장대레일 재설정 방법 중 현재 국내철도에서는 주로 레일가열기를 이용하는 방법이 사용되나 장대레일 길이가 제한되고 레일 축력의 균질성 확보가 어려운 여러 단점을 때문에 레일인장기를 이용한 방법이 권장되고 있다. 그러나 이 방법 또한 계산이 복잡하고 현재 레일의 축력 상태를 정확히 알 수 없음으로 알려져 있는 바와 같이 과학적인 방법이 될 수 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 방법을 제시하고 장대레일 재설정 작업 방법을 개선하여 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 함으로서 과학적인 궤도유지관리에 기여하고자 한다.

\* 우송대학교 대학원 철도건설환경공학과 석사과정, 회원

E-mail : dream-007@hanmail.net TEL : (042)257-9489 FAX : (042)257-9488

\*\* 우송대학교 철도건설환경공학과 교수

\*\*\* 코레일트랙(주) 선로시설연구소

## 2. 장대레일 재설정의 현황

### 2.1 장대레일 부설현황

1981년부터 2005년 까지의 한국철도공사 통계자료에 의하면 2005년을 기준으로 레일은 총 7,871km가 부설되어 있으며, 이 중 장대레일은 3천여개소에 3,145km가 부설되어 40%를 차지하고 있다. 이를 노선별로 분류하면 경부선과 경부고속철도 및 호남선에 1,837km가 부설되어 58.42%로 집중되어 있는 것으로 조사되었다. 아래의 그림2.1은 연도별 장대레일 부설 현황과 그림2.2는 노선별 분포현황을 나타낸 것이다.

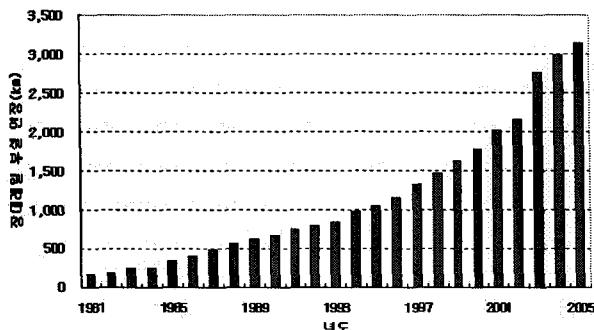


그림2.1 연도별 장대레일 부설연장

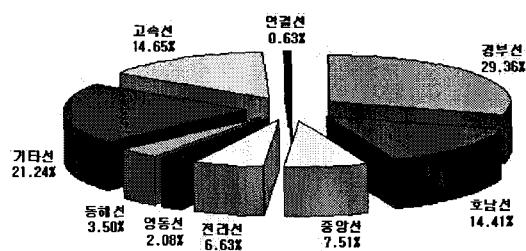


그림2.2 노선별 장대레일 부설 분포

### 2.2 현행 장대레일 재설정 작업

레일을 용접하여 장대레일화 시공을 할 경우 작업시간의 불규칙 등에 따라서 레일은 서로 다른 온도 하에서 체결이 된다. 이러한 문제는 레일 내부에서 발생되는 축력이 다르게 됨으로서 장대레일 구간에서 온도변화에 따른 축력관리에 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 이러한 경우 장대레일은 대부분 재설정을 시행하여 레일의 불균형 축력을 제거함과 동시에 온도에 의한 장대레일의 에너지의 최대치를 감소시킬 수 있는 방향으로 시행하게 된다.

또한, 장대레일의 공용기간 등 여러 가지 원인에 의하여 레일 축력이 불규칙한 경우도 발생한다. 즉, 레일의 절손, 도상작업, 도상단면의 변화 및 레일의 밀립현상 등에 의한 특정구간에서 축력의 추적 등이다. 이러한 경우 축력을 분산시켜 일정하게 하기 위하여 장대레일 재설정 작업을 수행하게 된다. 재설정 작업은 궤도의 좌굴을 방지할 목적으로 봄철에 집중되어 시행되며 계절적 제약으로 인한 유지관리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 재설정 방법을 합리적으로 제시함으로써 장대레일 안전성 확보는 물론 적합한 유지관리가 시행될 수 있도록 하고자 한다.

#### ▶ 장대레일 재설정 시행 현황

다음은 최근 2년도의 288개소의 장대레일 재설정 기록부 등을 통하여 현재까지의 장대레일 재설정의 원인과 작업주기, 작업연장, 작업인원 등을 분석한 결과를 요약한 것이다.

재설정의 사유는 노후레일교환 및 레일교환이 90회로 31%를 차지하고 있으며, 2종기계작업은 43회로 15%, 신설장대화 작업은 36회로 12%의 대부분을 차지하고 있으며, 나머지 원인으로는 사용년수 경과, 레일절손, 방향불량, 유도상화, 축력균등분배, PCT교환, 침목교환 등의 원인으로 분석되었으며, 재설정 작업의 주기는 288개소의 장대레일 재설정 기록부에 주기가 명기된 111개 자료를 토대로 분석한 결과 평균 1,150일 즉, 3.15년으로 나타났으며, 1년 미만의 재설정 주기를 갖는 것도 약 30%로 분석되었다. 또한 278개의 자료를 토대로 장대레일 작업연장을 비교해 본 결과 최소 56m, 최대 1,355m로 조사되었으며, 평균 작업연장은 613m로 나타났고, 총 129개 자료를 분석한 결과 평균 작업인원은 평균 27명으로 조사되었다. 또한, 07년도 장대레일 재설정 작업은 8월 현재까지 총 161km를 수행한 것으로 조사되었다.

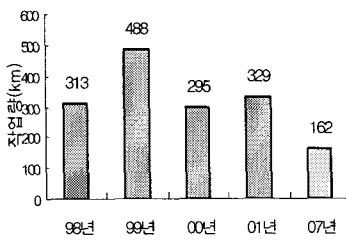


그림2.3 장대레일 재설정 작업 현황

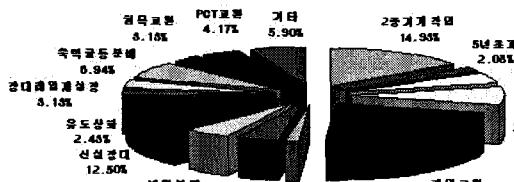


그림2.4 재설정 시행에 따른 원인분포현황

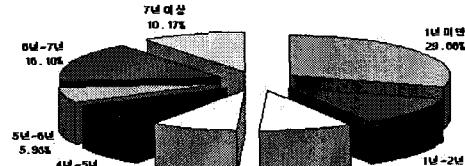


그림2.5 재설정 작업 주기 현황

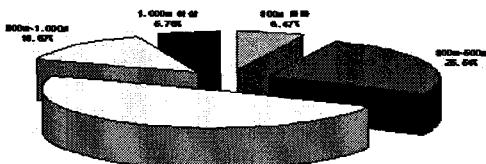


그림2.6 재설정 작업연장 분포

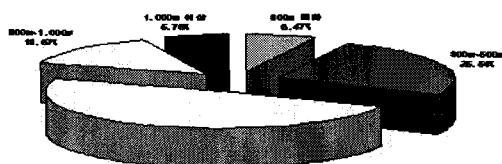


그림2.7 재설정 연장 분포

## 2.3 재설정 수행방법

### 2.3.1 재설정 시행조건

- 1) 장대레일의 당초 부설(설정)온도가 중위온도( $25^{\circ}\text{C}$ )에서 심하게 차이가 날 때
- 2) 장대레일의 중간의 손상레일 절단후 교환한 뒤
- 3) 열차사고 및 이의복구 등으로 장대레일 구간의 레일, 레일체결장치, 침목 및 도상이 이완되었을 때
- 4) 장대레일 구간에 레일밀림 현상이 심할 때
- 5) 장대레일 구간에 연속적 침목교환 또는 도상자갈치기, 도상교환 등을 하였을 때

### 2.3.2 재설정 작업을 위한 공통사항

- 1) 재설정 온도는 일반구간에서  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 즉  $22^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ (이상적 온도는  $25^{\circ}\text{C}$ )가 적정
- 2) 1회 재설정 길이는 1,200m 내외 원칙
- 3) 장대레일이 일반(노천)구간과 터널구간에 걸쳐있는 경우의 재설정은 일반 구간을 먼저 시행한 후 터널구간 시행
- 4) 재설정 계획구간은 궤도강도의 강화와 균질화를 위하여 1종 기계작업을 사전 시행
- 5) 재설정 계획구간은 불량침목, 불량체결구 교환 정비
- 6) 분니개소, 뜯침목, 직각틀림이 있는 침목은 사전 조치
- 7) 재설정 계획구간 내 건널목, 구교 등은 미리 보수 정비
- 8) 재설정구간의 전후에 정척(定尺)레일이 인접하는 경우는 유간 상태를 조사, 필요시 유간정리작업 시행
- 9) 재설정 작업시 레일이 들어남을 돋기 위하여 레일과 침목사이에 삽입하는 로라(roller)는 직경 15mm이상 20mm이내의 강판을 길이 120mm로 절단, 다듬어 설치
- 10) 로라 삽입간격은 침목 6개~10개마다 삽입하고, 삽입할 침목에는 미리 백색페인트로 표시

### 2.3.3 재설정 시행 방법 종류

- 1) 레일 가열법 : 재설정용으로 특수 제작된 프로판가스 또는 아세티렌가스를 사용하는 레일가열기를 모타카로 서행 견인하면서 레일을 재설정 온도로 가열, 자유 신축시켜 레일의 내부 축응력을 해소하는 방법으로 레일을 인위적으로 가열하는 것만 다를 뿐 나머지 그 전후 순서와 방법은 대기온도법과 동일하게 진행되며 장대레일의 길이가 길 경우 이미 가열하고 지나온 부분의 냉각으로 축응력 분포가 불균등하게 되고, 많은 작업원이 소요되는 단점 때문에 근래



그림2.8 레일 가열기

에는 지양되고 있는 추세이다.

- 2) 레일 인장법 : 재설정할 레일 중간부를 절단하고 레일 인장기(rail tensor)로 재설정시의 레일온도와 부설시의 온도차 만큼의 힘으로 레일을 강제 인장하여 축응력을 재설정 온도 범위로 해소시키는 방법으로 가열법에서와 같은 축응력의 불균형이나 작업원의 과다 소요 등의 단점 해소하고 근대 철도에서 사용되는 무한장(無限長) 장대레일 재설정작업에 적합한 방법으로 알려져 있으나 계산이 복잡하고 불확실성이 내재하고 있어 시행 경험과 기술의 부족으로 현장에서 적용을 꺼리고 있는 실정이다.



그림2.9 레일 인장기

- 3) 대기 온도법 : 대기 기온에 의하여 장대레일이 재설정온도( $25^{\circ}\text{C}$  내지  $28^{\circ}\text{C}$ )에 이르렀을 때 재설정을 계획한 구간의 레일 체결구를 해체하고 띡메 등으로 레일을 타격·충격을 주어 자유 신축으로 내부 축응력을 해소하는 방법으로 경제적이고 고른 축력을 유지할 수 있으나 온도의 시각을 맞추어야 되고 그늘 등이 있는 경우 불가능하며, 열차 운행에 지장을 줄 수 있다. 특히 레일 온도가 태양열과 작업시간에 따라 계속 상승하게 될 경우에는 재설정의 목적을 달성할 수 없게 된다.

#### 2.3.4 레일인장법의 작업방법

##### 1) 준비작업

- 기상상태조사, 작업시간, 재설정 길이 결정
- 재설정할 구간 양단의 시종점에 고정위치(장대레일 길이가 1500m이내일 경우는 양단 신축이음매 레일 끝점)선정, 레일 밀림을 확인할 O와 O'점 표시
- 재설정할 구간 중간 또는 좌우 20m이내에 레일절단 위치 선정 및 표시. 장대레일 길이가 1500m 이내일 경우 또는 장대레일 길이가 한 번 재설정 가능한 경우는 중간 절단은 하지 않아도 된다
- 고정위치로부터 중간 절단개소를 향해서 50m마다 레일저부 후렌지 표면과 침목표면에 백색페인트로 표시하고, 그 위에 가는 실선(일직선) 표시
- 레일이 늘어날 때 지장우려 있는 설치물은 일시 철거, 레일 용접개소가 레일 밀림에 지장우려 있으면 침목간격 확대조치
- 양쪽 고정위치구간 체결상태 확인
- 재설정 위치 부근에 토막레일을 놓고 토막레일에 레일 온도계 부착
- 로라 삽입할 위치에 배열
- 장대레일의 길이가 중간 절단을 할 필요가 없을 만큼 짧고(대략 1500m이내) 양단에 신축이음매(EJ)가 설치되어 있는 경우는 레일절단 금지

2) 절단개소(양단에 EJ가 있는 경우에는 장대레일 EJ부근)에 인장기(tensor) 설치. 로라를 삽입하는 침목의 타이패드 철거

3) 레일 절단개소로부터 시종점 방향을 향해 레일체결구 해체

4) 잭크 또는 레일양로기로 레일을 약 30mm정도 들고 미리 표시해 둔 위치에 로라 삽입

5) 체결구 해체가 끝나면 레일온도 측정, 절단할 유간을 결정

※ 유간 계산법 : 유간(mm) =  $0.0114 \times L \times (25^{\circ}\text{C} - t^{\circ}\text{C}) + (S-1) + b$

여기서, L = 재설정하는 구간의 레일길이(m)

t = 체결장치를 완전히 해체하고 레일을 로라 상에 올려놓은 상태에서 측정한 레일온도( $^{\circ}\text{C}$ )

S = 테르მิต 용접에 필요한 유간(=25mm)

b = 레일온도에 따른 고정레일 신축량(mm)

레일온도(°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
b (mm)	28	23	20	16	13	10	7	5	4	2	1	0	0

- 6) 장대레일 절단(절단 표시한 위치에서 계산한 유간 확보)  
 7) 대기온도법에서와 같이 타격, 한쪽에서는 중간 절단부에 설치한 레일인장기로 팽팽하게 레일 인장  
 8) 각 50m마다 표시한 측정개소(가는 실선)에서 레일의 늘어나는 길이 측정.  
     ※ 측정치가 최대 또는 최소치 내에 들어가는지 확인  
         최대치 (mm) =  $0.57 \times (28°C - t)$   
         이론치 (mm) =  $0.57 \times (25°C - t)$   
         최소치 (mm) =  $0.57 \times (22°C - t)$   
 9) 용접할 개소(절단위치) 좌우 양쪽 40m구간의 로라 철거후 레일을 제자리에 배치, 체결구 체결, 테르მ잇트용접 시행  
 10) O점과 O'점에서 용접개소 쪽으로 향해 로라 제거 및 패드 삽입, 레일 체결구 체결. 침목 6개마다 1개씩 먼저 체결  
 11) 테르მ잇트용접 중간부 레일두부 외측 온도가 350°C 이하로 식었을 때 레일인장기 해체(일반적으로 용접 후 25분 정도 경과하면 350°C 정도가 됨)  
 12) 나머지 체결구 모두 체결, 일시 철거해 둔 시설물 모두 복구  
 13) 재설정 구간 전반에 걸쳐 이상유무 점검 확인, 기록 유지

### 3. 장대레일 재설정 방법 개선

#### 3.1 장대레일 신축이음매(EJ)를 이용한 재설정

본 연구는 장대레일을 인장기(tensor)를 사용하여 재설정 하고자 하는 방법을 개선한 것이며, 레일을 절단하여 재설정 하는 기존의 방법을 개선하여 장대레일의 신축이음매(EJ)에 인장기를 설치하고 레일을 인장시켜 재설정 하고자 하는 것이다.

장대레일을 인장시킴에 있어 기존의 방법은 현재의 설정온도에 따라 유간을 결정하고 레일을 절단후 인장하여 용접하는 방법으로 시행하고 있으나, 본 방법은 레일의 절단을 가능한 한 피하기 위하여 레일 신축부에서 인장봉을 연장시켜 상대편 레일을 반력대로 활용하여 그림 3.2와 같이 장대레일 재설정 하는 방법이다.

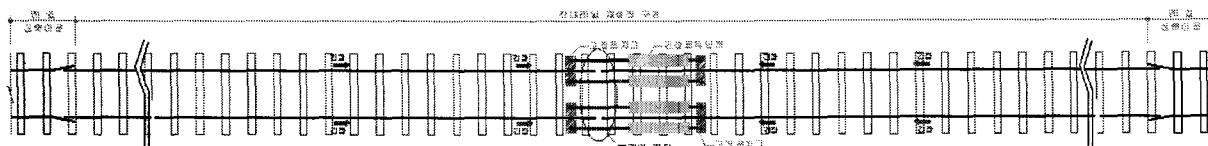


그림3.1 기존의 레일인장법

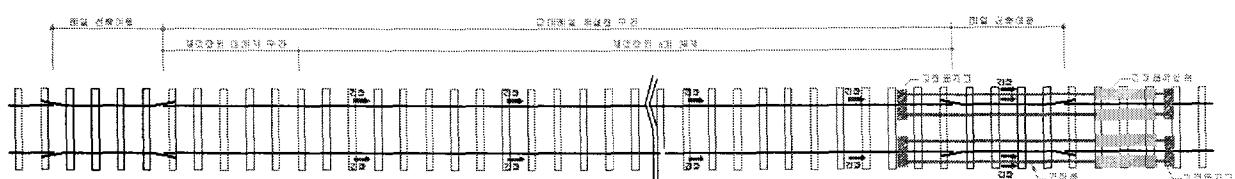


그림3.2 신축이음매(EJ)를 이용한 레일인장법

장대레일 신축이음매를 이용한 재설정 방법은 그림 3.2에서와 같이 신축이음매를 중앙으로 레일 인장 용 고정 지그를 사용하여 재설정 하고자 하는 장대레일과 재설정 하지 않는 반대편 레일에 고정시키고

인장함으로서 반대편 레일이 반력대가 되어 재설정 하고자 하는 장대레일을 인장할 수 있는 방법이다.

또한, 레일 인장시 설치하는 지그의 설치방법에 있어서도 그림 3.3에서와 같이 기존의 방법은 설치시 도상의 차갈을 파고 설치하여야 하는 번거로움이 있으므로 이를 반대로 뒤집어 그림 3.4와 같이 설치하면 야간작업시 시간을 절약 할 수 있을 것이다.

기존의 방법은 그림 3.3에서와 같이 레일 고정용 지그의 미끄러짐과 인장력에 의한 레일의 신장에 따라 지그의 이동으로 인접 침목에 닿게 되면 더 이상의 인장력을 가할 수 없는 경우가 발생되어 작업도 중 인장기를 해체하고 다시 재설치 후 처음부터 다시 인장력을 가해야 하는 경우가 생길 수 있으므로 실질적인 재설정 작업을 실패하는 경우도 생길 수 있으나, 본 방법은 레일 고정용 지그를 그림 3.4와 같이 뒤집어 설치함으로 이러한 문제가 발생될 수 없게 되며 설치나 침목의 간섭에도 자유로운 설치 방법이다.

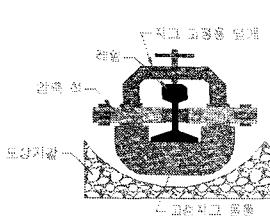


그림3.3 기존의 지그 설치법

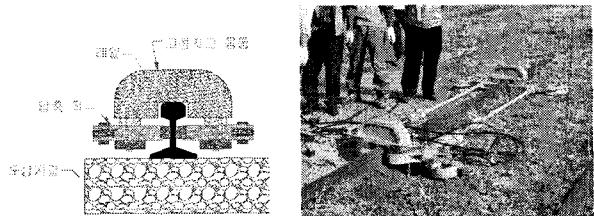


그림3.4 지그 설치 개선

### 3.2 레일용접 저감방법

레일신축이음매를 이용하여 장대레일을 재설정하게 되면 레일신축이음매의 성능(신축용량) 및 장대레일 부설당시 온도 등에 따라서는 장대레일 재설정에서 레일을 절단하지 않고서도 다음 방법과 같이 재설정이 가능하게 된다.

#### 1) 신축이음에서 레일신축 여유량이 충분할 때

장대레일 부설당시의 온도와 장대레일 연장에서 재설정으로 인한 레일신축량이 신축이음의 신축 유효 여유량보다 작을 때에는 신축이음부에서 레일 인장기로 재설정을 수행한다.

#### 2) 신축이음부 일단에서 레일신축 여유량 보다 클 때

장대레일 부설당시의 온도와 장대레일 연장에서 재설정으로 인한 레일신축량이 신축이음의 신축 유효 여유량보다 작을 때에는 신축이음부에서 레일 인장기로 재설정을 수행한다.

#### 3) 신축이음부의 양단 여유량의 합이 레일신축 여유량보다 클 때

신축이음부의 양단 여유량이 큰 곳에서 먼저 인장기를 설치하고 레일체결구를 해체시킴과 동시에 장대레일을 인장기로 인장시키면서 레일 인장력을 소정의 재설정 목표 인장력으로 인장하면서 허용 여유량에 이를 때까지 인장시켜 레일을 체결한다. 이어서 반대편 레일신축부에서 동일한 작업을 수행하여 장대레일을 재설정시킨다.

#### 4) 재설정에 의한 레일신축량이 신축이음부의 양단 여유량 보다 클 것으로 예상될 때

이 경우에는 앞의 마지막단계에서 소정의 인장력을 도입시킨다. 이때 장대레일은 신축되어 신축이음부의 허용용량을 초과하게 될 것이다. 레일절단위치는 부설당시 테르미트 용접부까지 인장된 장대레일을 체결시키고 이곳의 장대레일 여유분을 절단해내고 용접시킨다. 이때 소정의 레일 신장량에 따라서 레일신축 여유량이 큰 곳을 이용하게되면 재설정 노력을 저감시킬 수 있을 것이다.

#### 5) 국철에서는 장대레일 연장이 대부분 1km 내외이다. 이는 장대레일 관리의 편리성 관점에서는 유용할 것이나 레일신축부가 많아져 신축부의 설치비와 유지관리노력 및 비용이 증가되게 된다. 그럼에도 불구하고 장대레일 길이를 제한하는 것은 가열기에 의한 재설정의 한계성에 기인하는 바가 크다. 인장기를 사용한다면 이러한 문제점은 없으며 인장 방법의 개선에 따라서는 1회 재설정 길이를 증가시킬 수 있음으로 효율을 기할 수 있을 것이다.

### 3.3 기존공정과 개선공정의 비교

개선하고자 하는 장대레일 인장법은 기존의 인장법에 비하여 레일의 절단 및 용접에 소요되는 비용 및 시간, 인력을 절약할 수 있으며, 필요시 용접을 시행함으로써 인장기를 사용하여 장대레일 재설정을 효율적으로 시행 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

표3.1 레일 인장법의 공정 비교

(1km 기준)

순서	작업 순서		소요 시간		작업내용
	기존 인장법	개선 인장법	기존 인장법	개선 인장법	
1	현장조사 및 준비작업	현장조사 및 준비작업	-	-	선로차단협의, 작업계획수립
2	레일절단	-	20분	-	절단할 유간결정 중앙부 좌우 레일 절단
3	인장기설치	인장기설치	15분	15분	-
4	체결구 해체	체결구 해체	40분	40분	로라샵입후 레일페드 철거
5	인장실시	인장실시	20분	10분	장대레일에 진동 및 충격을 주며 필요유간이 생길때까지 인장
6	체결구 체결	체결구 체결	40분	40분	롤러철거후 레일 패드 삽입
7	용접시행	-	60분	-	용접에 필요유간확보(25mm) 태르밋 용접 실시
8	인장기 철거	인장기 철거	15분	15분	-
9	마무리 작업	마무리 작업	30분	30분	체결상태 확인 및 자재 반출
계			240분 (4시간)	150분 (2시간30분)	

주) 재설정 작업중 용접시간이 부족한 경우 기존방법은 다음에 소정의 길이 만큼 레일을 재인장하여 용접하여야 하나 레일 본 방법은 신축부에서 인장하였음으로 다음에 레일용접에서도 다시 인장시킬 필요가 없다.

### 3.4 소요 인장력 산정

앞의 '2.3.4절'에서 기존의 인장 방법에 대하여 상세히 설명하였다. 이 방법은 레일 부설당시 온도와 장대레일 재설정 온도와의 차이로부터 발생되는 레일 신축량, 인장력저항부(레일신축부에서 약 100m)의 레일 신축량 및 용접 유간 등을 계산하여 재설정하고자하는 장대레일의 중앙부에서 레일을 절단하고 레일을 인장시켜 용접함으로써 장대레일을 재설정시키는 방법이다. 그러나 기존의 이 방법은 다음과 같은 문제점이 있다.

- 1) 재설정하고자하는 장대레일의 길이가 긴 경우 이 장대레일을 하루에 부설하기 쉽지 않고 하루에 부설한다하여도 레일의 온도가 위치에 따라서 크게 다르게 될 수밖에 없다. 따라서 엄밀한 의미에서 정확한 레일의 신장량의 계산이 곤란하다.
- 2) 궤도의 조건에 따라 마찰력이 다르고 인장력 저항부의 해체되지 않은 체결구의 체결력과 도상 종 저항력에 따라 레일 신장량이 다르게 나타남으로 이들 값들을 추정하여 이론적으로 정확히 계산하여 인장시켰다하여도 인장력은 다르게 나타날 수 밖에 없을 것이다. 즉 궤도 구조에 대한 경험 이 축적되어야 하며 신축량 계산 또한 복잡하여 계산상의 오류를 범할 가능성이 있다.
- 3) 레일을 직접적으로 신장시키는 것은 인장력이나 이를 신장량으로 추정함으로써 레일 신장량은 앞에서와 같이 궤도 구조의 불확실성이 내재된 상태에서 추정하게 된다. 즉 레일의 신장량을 산정하여 장대레일을 재설정하는 것은 복잡하고 불확실성이 포함된 간접적인 방법이다.

이러한 문제점은 레일 재설정에서 아래와 같이 인장력을 그대로 사용하게 되면 아주 간단하게 해소될 것이다. 이때의 레일신장량은 체결력이 해방된 구간과 체결력이 유지되는 인장력 저항 구간에서 작용되는 인장력으로부터 구할 수 있으며 체결력이 해방된 구간에서 마찰력을 고려하면 다음의 식3.1과 식3.2 와 같이 구할 수 있다.

$$P = aEA(t_r - t_o) + fW_r \quad \text{--- (식3.1)}$$

여기서,

- P : 장대레일 재설정 인장력
- a : 레일 온도팽창계수
- E : 레일 탄성계수
- A : 레일 단면적
- $t_r$  : 재설정온도
- $t_o$  : 현재온도

$$dL = (P - \frac{1}{2}fW_r)L_r/EA + dL_r \quad \text{--- (식3.2)}$$

여기서,

- dL : 레일신장량
- f : 체결력해방구간 레일 마찰계수
- $L_r$  : 체결력해방구간 연장
- $W_r$  : 체결력해방구간 레일 하중
- $dL_r$  : 인장력 저항 구간에서의 레일 신장량  
(=b:고정레일 신축량)

위의 식3.1, 식3.2에서 레일의 신장량은 인장력에 따른 부수적인 것으로 계산할 필요는 없다. 또한 식3.1의 인장력식에서 보는 바와 같이 레일 부설 당시의 온도와는 무관하게 현재 온도에 따라서 레일을 재설정함으로써 장대레일 부설 당시의 온도차이를 고려할 필요가 없으며, 부설후 선로의 조건 변화에 따른 고려 또한 필요하지 않고 오직 현재의 온도와 재설정 온도만이 변수로 작용하게 됨을 알 수 있다.

### 3.5 인장력과 장대레일의 거동

레일 재설정을 위하여 체결구를 해체하고 적정 간격에 롤러를 삽입하여 레일을 인장기로 인장시키면서 떡뢰로 레일을 타격하게 되면 레일은 인장기에서 가해진 인장력이 먼 곳으로 전달되게 된다. 롤러와 떡뢰에 의한 충격에도 불구하고 수백m에 이르는 장대레일에는 마찰력이 작용되게 될 것이다. 따라서 장대레일 인장시 인장기로부터 멀리 떨어진 곳의 레일은 소정의 인장력이 도입되지 못하게 될 것이다.

본 연구에서는 해체된 레일의 마찰계수(f)를 0.1로 가정하고 인장력과 레일 신축량을 수치해석을 통하여 산정하였다. 궤도의 도상종저항력은 1tonf/m로 가정하였으며, 60kg 레일을 적용시켰다. 아래 그림들은 1km 인장시 레일의 축력분포와 신장량을 도시한 것 들이다. 그림 3.5와 그림 3.6은 인장력 저항을 위해 체결구를 해체하지 않은 약 100m 정도의 고정레일의 축력분포와 신장량을 도시한 것이다.

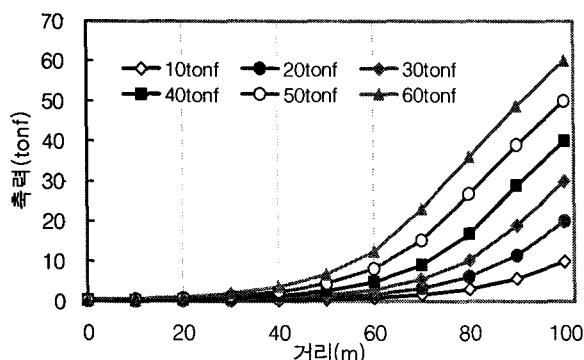


그림3.5 인장력에 의한 0~100m구간 축력

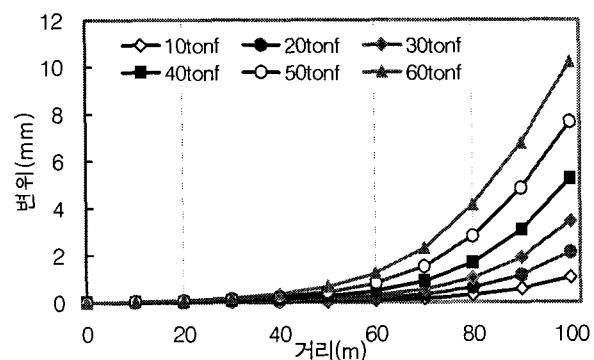


그림3.6 인장력에 의한 0~100m구간 변위

그림 3.7과 그림 3.8은 장대레일 1km 구간 전체에 작용되는 축력분포와 신장량을 도시한 것으로 고정 레일 끝단인 100m 지점까지 소정의 인장력을 유지시키기 위해서는 그곳으로부터 멀리 떨어져 설치한 인장기에서는 그만큼의 마찰력( $fW_r$ )을 추가하여 인장시켜야 할 것이다. 전술한 바와 같이 여기서는 마찰력계수를 0.1로 산정한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 인장기를 이용하여 재설정을 한다 하여도 이러한 문제는 있으며 재설정 장대레일의 길이가 길면 길수록 영향을 받게 될 것이다. 이에 대하여는 현장 실험을 통하여 보다 정확한 자료를 얻어 적용시켜야 할 것이다.

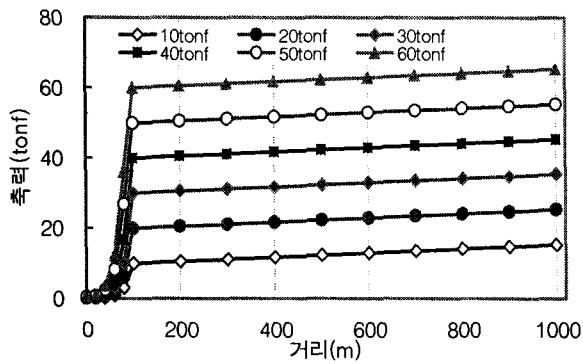


그림3.7 인장력에 의한 0~1,000m구간 축력

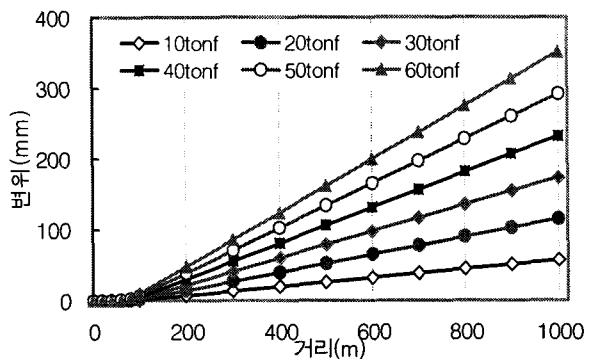


그림3.8 인장력에 의한 0~1,000m구간 변위

현재와 같이 인장시키고 레일을 체결시키게 된다면 실제적으로는 그림 3.7과 그림 3.9에서 보는 바와 같이 재설정 장대레일의 시점과 종점은 마찰력만큼 축력차가 나게 됨으로 이를 해소시키는 방법은 인장기에서 마찰력만큼 인장력을 추가로 가하고 레일 체결 전에 추가 인장력 만큼 제거(그림 3.9 ↗)시켜 체결하게 된다면 마찰력에 의한 인장력의 불균형을 1/2로 감소시킬 수 있을 것이다. 불균형을 좀더 감소시키고자 한다면 추가인장력 제거시 종점부에 영향을 미치지 않을 정도로 좀더 제거하고 다시 재인장시키는 등 이를 적정히 반복시키게 되면 도입 인장력의 오차를 줄여 나갈 수 있을 것이다.

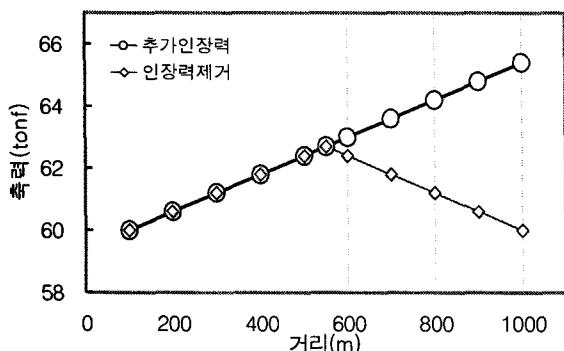


그림3.9 인장력 변화에 의한 0~1,000m구간 축력

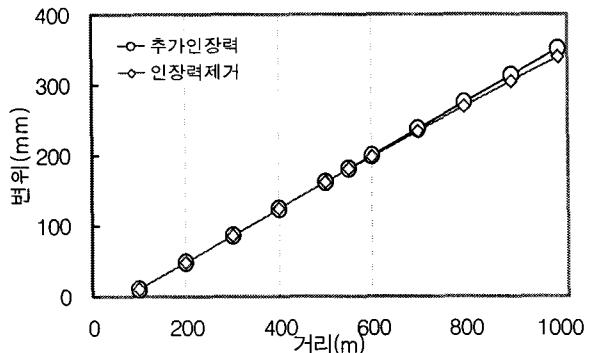


그림3.10 인장력 변화에 의한 0~1,000m구간 변위

#### 4. 결 론

본 연구는 인장기를 이용하여 장대레일의 재설정방법을 개선한 것으로 인장기를 개선하고 레일 신축이음매을 이용하여 장대레일의 재설정하는 방법을 제시하였고, 레일 고정용 지그의 사용방법 개선으로 인장기 사용을 간단하게 하여 인장기를 이용한 재설정 시간을 단축시킬 수 있게 하였으며 장대레일과 레일 신축이음매와의 관계로부터 현재와 같이 레일을 절단하지 않은 상태에서도 재설정할 수 있는 방법도 제시하였다. 특히 기존의 인장방식이 레일 부설온도로부터 레일 신장량을 산정함으로서 발생되는 불확실성을 제거시킬 수 있고 레일 부설온도와 무관하게 장대레일을 재설정할 수 있도록 인장력에 의한 간편한 방식을 제시함으로써 쉽게 현장에 적용할 수 있게 하고, 과학적인 궤도유지관리를 가능케 하였다.

#### 참고문헌

- 서사범(1992), "선로공학", 삶과꿈
- 박옥정외(2007), "장대레일재설정 시행기준 및 유지관리 효율화 방안연구", 철도기술연구원
- 민경주외 (2000), "경부고속철도 기존선 활용에 따른 편평교 장대부설 및 장대레일 관리방안연구", 철도청
- 철도청(2004), "보선작업지침", 철도청