

# 궤도 관리를 위한 레일 온도의 특성

## The Characteristics of Rail Temperature for Track Maintenance

구봉근<sup>1</sup>, 서사범<sup>2</sup>

Koo, Bong-Kuen, Suh, Sa-Bum

**Key words** : rail temperature(레일 온도), atmospheric temperature(기온), rail joint(레일 이음매), joint gap(유간), continuous welded rail(CWR, 장대레일), axial force(축방향력), installation temperature(설정 온도), buckling(좌굴),

### Abstract

The rail temperature is important to preserve the joint gap for standard length of rail and to determine the installation temperature which has direct influence on the rail buckling and failure in welded part for continuous welded rail(CWR). Therefore, we have measured and investigated various characteristics of rail temperature for each kind of rail. As the results of this, the correlation between the atmosphere temperature and the rail temperature which is commonly used by Korean Railway should be reconsidered. Also, the daily highest & lowest rail temperature was occurred when each temperature is higher and when it's lower. For the light rail, the rail temperature by the sun-light increases quickly and decreases late. But the time where the highest temperature is attained is same. There are some differences between the shade and sunny place about 3.0~4.0°C. The temperature of rail web is almost close to the conversion rail temperature for rail expansion. The wind of 1 m/s has an influence on the rail temperature around 5°C.

### 1. 서론

철도 레일강의 선팽창 계수는  $1.14 \times 10^{-5}$ 이다. 레일은 대기 온도의 상승에 대응하여 늘어나려고 한다. 레일간을 연결하는 이음매는 이 늘어나는 최대의 양을 산정하여 유간을 두고 있다.

레일 이음매는 궤도의 최대 약점인 개소이므로 이에 대한 근본 대책으로서 이음부를 용접한

장대레일이 부설되고 있다. 장대레일은 레일의 신축력이 침목과 도상에 의하여 억제되므로 이 힘이 양단의 일부를 제외하고는 레일의 내부 응력으로 저장된다[1, 2].

레일의 신축이 구속되는 경우에 내부 응력(축방향력)은 레일의 단면적에 비례한다. 이 때문에 같은 온도의 변화에서도 레일 종별에 따라 내부 응력이 다르다.

이와 같이 레일 온도는 표준 길이의 레일에서는 유간 보정을 위하여, 또한 장대레일에 대하여는 설정 온도를 결정하기 위하여 중요하다[3, 4].

\*1 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

\*2 한국고속철도건설공단 중앙궤도사무소장

따라서, 이 연구에서는 궤도관리에 중요한 레일 온도의 특성을 측정·조사하였다.

## 2. 측정 방법

### 2.1 구내에서의 측정

#### 2.1.1 기온

기온은 지표면 위 1.5 m의 백엽상 안에 온도계를 넣어 측정하였다. 백엽상은 되도록 자연의 상태로 기온을 측정하기 위하여 건물에서 13.5 m 이상 떨어진 장소에 설치하였다. 더욱이, 철도선로의 레일은 지표면에서 약간 떨어져 부설되므로 별도로 지표면에 같은 모양의 백엽상을 설치하여 기온을 측정하였다.

#### 2.1.2 측정 대상 레일

지상 약 10m의 철근 콘크리트 건물 옥상에 4 cm 각의 목재를 침목으로 하여 40cm 간격으로 설치하고, 그 위에 각각 2m 길이의 30kg/m, 50 kg/m N, KS 60kg/m 레일 등 3 종류의 레일을 부설하였다.

#### 2.1.3 도상과 슬래브

같은 건물의 옥상에 두께 약 1 cm, 종횡 약 1.5m의 범위로 갠 자갈을 깔아 자갈 도상으로 하였으며, 또한 건물 옥상의 콘크리트를 슬래브로 이용하였다. 백엽상, 레일·도상은 Fig. 1과

같이 배치하였다.

#### 2.1.4 측정기의 사양

- 온도 측정 센서
  - 종류 : 측온 저항체(100 $\Omega$ )
  - 사용 온도 범위 : - 50 $^{\circ}$ C ~ +150 $^{\circ}$ C
- 기록계
  - 종류 : 공업용 자동평형기록계(타점 기록식)
  - 측정 범위 : - 35 $^{\circ}$ C ~ +65 $^{\circ}$ C

#### 2.1.5 온도 측정 센서의 설치 및 측정

- ① 지상 1.5m의 백엽상 온도계로 기온 측정.
- ② 지상 0.3m의 백엽상 온도계로 기온 측정.
- ③ KS 60kg/m 레일 두부에 직경 8mm, 깊이 35mm의 구멍을 뚫어 온도 측정 센서를 삽입하고 실리콘 그리스로 충전함.
- ④ 레일의 두부에 온도 측정 센서를 실리콘 고무로 접착하여 코팅(KS 60kg/m).
- ⑤ ④와 동일(50kg/m N).
- ⑥ ④와 동일(30kg/m).
- ⑦ 도상 : 표준 입도의 도상자갈 위에 센서를 접착하고 그 위에 자갈을 1층 더 살포함.
- ⑧ 슬래브 : 표면
- ⑨ KS 60kg/m 레일 두부 아래(양달쪽)
- ⑩ KS 60kg/m 레일 두부 아래(음달쪽)
- ⑪ KS 60kg/m 레일 복부(양달쪽)
- ⑫ KS 60kg/m 레일 복부(음달쪽)

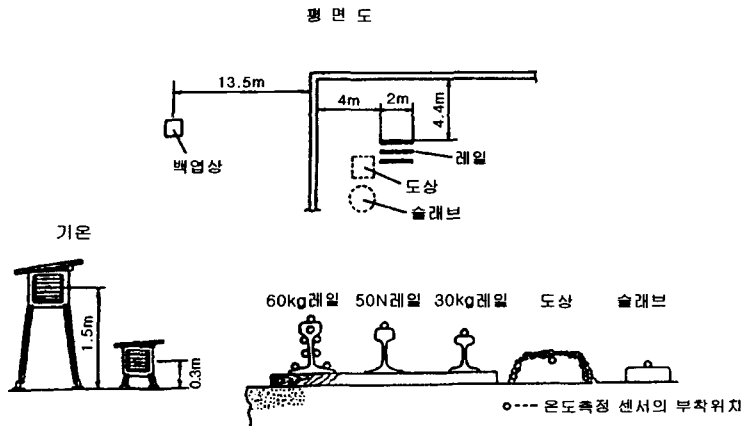


Fig. 1 Layout of measured object

⑬ KS 60kg/m 레일 저부(양달쪽)

⑭ KS 60kg/m 레일 저부(음달쪽)

각 센서의 온도는 매일 일정한 시간에 측정하였다.

### 2.2 궤도 현장에서의 측정

경부선 안양역 구내에 고정 설치된 장대레일 신축 이음매 이동량 측정기(자기식) 병설의 온도 측정기(센서는 경부 하1번선 좌측 50kg/m N 레일에 설치하고 기록 장치 등은 선로 변에 설치, 전원은 안양 선로반의 분전반 이용)로 1년간의 레일 온도를 측정(자동적으로 그래픽에 타점 기록)하였다.

또한, 전국의 장대레일 부설 개소에서 이동식 장대레일 축응력 측정기(기계식, KS 647형)로 연간 수회에 걸쳐 다양한 조건의 레일 온도를 측정하였다. 또한, 전국의 선로반에서 측정한 다양한 범위의 레일 온도의 자료를 수집하였다. 레일 온도는 온도계 자체가 태양열의 영향을 받지 않도록 레일 복부의 음달쪽에 온도 측정 센서 또는 온도계를 설치하여 측정하였다. 기온은 선로 변 지상 1.5 m의 음달에서 측정하였다.

## 3. 측정 결과 및 분석

### 3.1 기온과 지표면 기온

이번의 조사에서 지표면 0.3 m의 기온(이하 "지표면 기온"으로 약칭)은 지상 1.5 m에서의 기온(이하 "기온"으로 약칭)에 비하여 야간에는 낮게 되고(0~2.0℃), 그 차이는 여름보다 겨울에 크다. 주간은 반대로 지표면 기온이 기온보다 0~3.0℃ 정도 높게 된다(Fig. 2). 따라서, 이후의 각 측정에서 야간의 레일 온도가 기온보다 0~2.0℃ 낮게 나타나고 있는 경우가 있지만, 이것은 상기의 관계이며, 야간의 레일 온도는 지표면 기온과 같다고 보아도 무방하다.

### 3.2 기온과 레일 온도의 변화

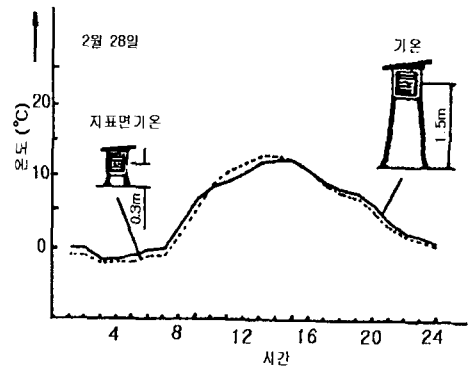


Fig. 2 Graph of atmospheric temperature at 1.6 m and 0.3 m above the ground

여러 종류의 레일을 같은 조건에 둔 경우에 기온의 변화에 따라 각종의 레일 온도가 같은가를 조사하기 위하여 3 종류의 레일에 대한 레일 두부의 상면의 온도와 기온을 비교하였다.

Fig. 3은 한여름의 예를 나타낸다. 레일의 온

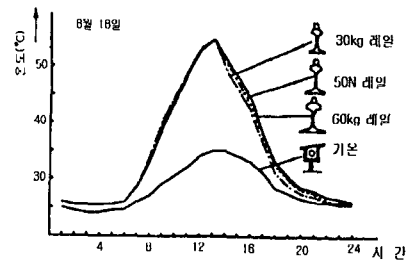


Fig. 3 Graph of atmospheric temperature and rail temperature

도는 상승·하강 모두 가벼운 레일의 쪽이 빠르다. 무거운 레일의 온도는 늦게 상승하기 시작하여 최고 온도가 가벼운 레일을 넘는 것이 거의 없고 하강은 늦게 시작하여 야간에는 가벼운 레일을 포함하여 모두 같은 온도로 된다. 이것은 무거운 레일일수록 열 용량이 크기 때문에 주간에는 온도의 변화가 완만하고 야간은 방사열이 없이 대류 열에 의하기 때문에 레일간에 차이가 적은 것이라고 생각된다.

기온과 레일 온도의 차이가 최대가 되는 시각

은 11~15시의 시간대이지만 12~13시의 사이에 85 %이며 기온의 상승과 관련하고 있다.

**3.3 레일 표면 각 부분의 온도**

레일은 탄소량이 많은 고탄소강(C 0.5~0.8 %)에 속하는 합금으로 열 용량이 크고, 열전도율은 금속 중에서는 그다지 빠른 편이 아니다(Table 1). 레일이 태양의 방사열 등을 흡수하여도 양달

**Table 1 Thermal conduct ratio at 20℃**

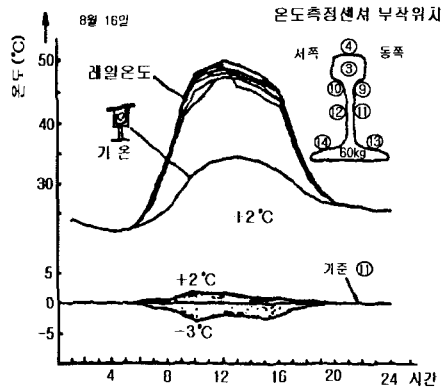
물질명	열전도율 cal/cm · s · °C	기 사
은(순)	1.00	
금	0.742	
동	0.889	보통의 시판 품
알루미늄	0.486	보통의 시판 품
탄소강 (0.5C 이상)	0.128	레일강에 상당
탄소강 (1.5C 이상)	0.086	
화강암	$8.06 \times 10^{-3}$	$6.94 \times 10^{-3} \sim 9.17 \times 10^{-3}$
콘크리트	$2.64 \times 10^{-3}$	$1.94 \times 10^{-3} \sim 3.33 \times 10^{-3}$
물	$1.42 \times 10^{-3}$	은의 약 1/700
공기	$6.14 \times 10^{-5}$	은의 약 1/16,800

쪽, 응달쪽에 차이가 있다고 생각하여 각 부분의 온도를 측정하였다.

측정 결과는 예상대로 Fig. 4와 같은 차이가 있었다. 그림에서는 오전 10시경에 최대 폭으로 5.0℃이다. 년간을 평균하면 4.5℃로 실험 중의 최대는 2차 년도 1월의 7.0℃이었다. 또한, 레일 내부(35 mm)의 온도는 열전도율의 관계에서 레일 두부의 상면에 비하여 1.5~2.0℃ 낮다.

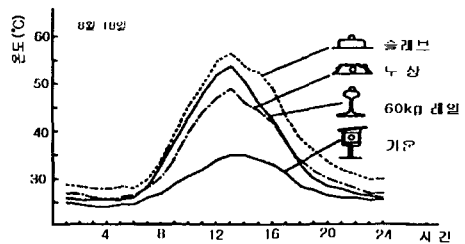
**3.4 기온, 레일, 슬래브 및 도상의 온도**

레일 온도는 태양의 직사 열 뿐만 아니라 도상이나 궤도 슬래브로부터의 방사열의 영향도 크다고 생각되므로 기온, 레일, 슬래브 및 도상의 온도를 측정하였다.



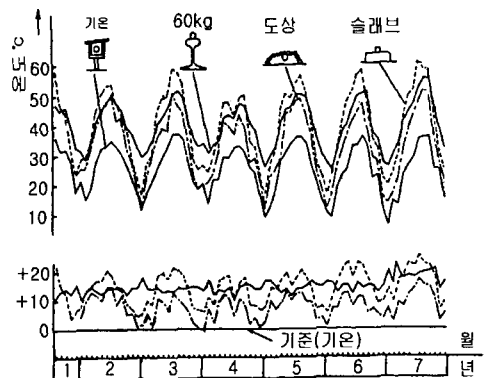
**Fig. 4 Temperature of each part of rail**

Fig. 5는 한여름의 예로 슬래브 온도가 레일



**Fig. 5 A atmospheric temperature and temperature of rail, slab and ballast**

온도보다도 4.5℃, 기온보다도 21.5℃ 상승하였



**Fig. 6 Graph of annual highest temperature for 7 year**

다. 이에 대하여는 좀더 검토가 필요하다.

Fig. 6은 7년간의 각 월을 대표하는 날의 각 센서의 최고 값을 그래프로 나타낸 것이다. 여름에는 슬래브 온도가 레일 온도 이상으로 되지만, 도상 온도는 레일 온도 이상으로 되는 일이 없다.

Fig. 6의 하단은 기온을 기준으로 하는 경우에 레일, 슬래브 및 도상의 온도 차이를 그래프로 나타낸 것이다. 맑은 날씨일 경우에 레일의 온도는 기온보다 평균적으로 낮 동안에 약 15 °C 높다.

### 3.5 레일의 부위별 온도

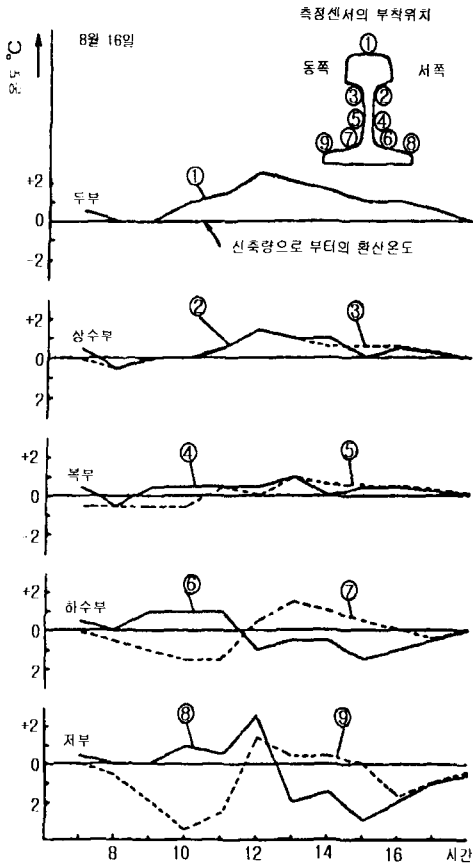


Fig. 7 Comparison of temperature of each parts with rail expansion

레일 축응력 측정기로 레일의 신축을 측정하고 레일의 신축이 레일의 어느 부분의 온도에 가장 가까운지를 조사하기 위하여 Fig. 7과 같이 온도 센서를 레일의 9 개소에 부착하였다. 레일의 설치 방향에 따라 양달쪽이 오전과 오후에 바뀌며, 그 때문에 두부 이외의 각 위치의 그래프는 온도 궤적선이 정오 경에 교차하고 있다. 그래프에서 북부의 온도가 신축량의 환산 레일 온도에 가장 가까운 것을 나타내고 있다. 다음으로 양달쪽의 두부 아래, 그 다음에 음달쪽의 두부 아래의 순서이며, 상면은 0~25°C 높은 온도 이었다.

### 3.6 레일 온도의 바람에 의한 영향

레일 온도와 기온은 야간에는 거의 같다. 주간에는 날씨의 영향을 받아 오전 시에는 거의 같은 온도로 되지만, 맑은 날씨일 경우에는 온도에 따라 그 값에 차이가 있으며 평균적으로 15 °C의 차이가 생긴다. 또한, 이 경우에도 바람의 영향을 받는다.

기온과 레일 온도의 상호 관계는 제3.8절(기온과 레일온도의 상관관계)에서도 고찰하지만 맑은 날씨와 흐린 날씨의 경우에 대하여 해외에서 조사한 일례[5]를 Fig. 8에 나타낸다.

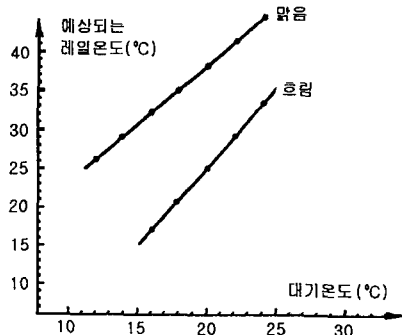


Fig. 8 Relationship between air temperature and rail temperature

공기의 열전도율은 Table 1에 나타낸 것처럼 레일의 약 1/1,200이며 움직이지 않는 불온으로

서의 역할을 하고 있다. 바람이 분다고 하는 것은 열전도의 면에서는 강제 대류가 일어나는 것이며, 레일 표면에 접하고 있던 공기가 제거됨과 동시에 레일의 온도가 내려간다. 풍속이 빠르면 빠를수록 레일 온도는 기온에 가깝다.

Fig. 9는 주간을 통하여 거의 동일한 기온이었

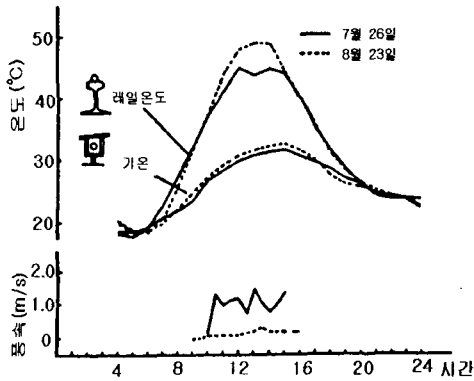


Fig. 9 Wind influence on the rail temperature

던 날 측정된 값으로 한쪽은 풍속이 0.15 m/s인 날이고 다른 쪽은 풍속이 1.0 m/s인 날이다. 12시경의 레일 온도를 비교하면 약 5 °C의 차이가 생기고 있다. 즉, 레일 온도가 50.0°C 부근에서는 풍속 1 m/s의 바람이 분다면 레일 온도를 5.0°C 내리는 효과가 있을 것이다.

Fig. 10은 송풍에 의한 레일 온도 변화의 실내 시험을 할 때의 개념도이다. 레일을 가열하기 위하여 투광기(300W×3, 100W×2)로 그림 중의 화살표 방향에서 조사(照射)하였다. 또한, 레일에서 1m 떨어진 위치의 송풍기에 의하여 레일에 직각으로 송풍하였다. 풍속은 1 m 떨어진 위치에서 풍향 풍속계로 측정된 값이다.

실험실 내의 온도는 투광기 점등 후에도 거의 변화하지 않았지만 레일 두부 ①과 저부 ②는 열전도의 관계인 듯한 폭을 갖고 변화하며, 송풍에 의한 하강 시도 폭을 갖고 변화하고 있다.

### 3.7 레일 온도 변화의 경향

#### 3.7.1 레일 온도의 연간 변화

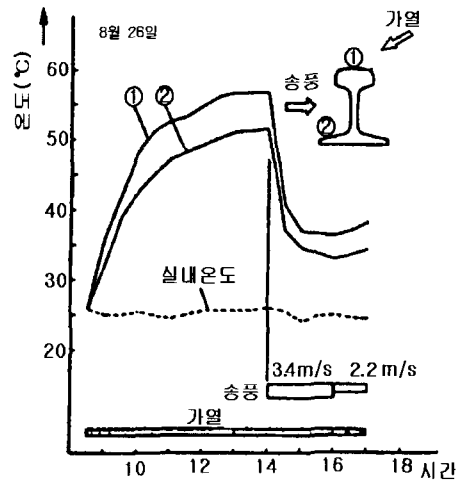


Fig. 10 Concept drawing for the test of artificial ventilation

안양역 구내에서 1년간 측정된 레일 온도를 정리한 것이 Table 2, Fig. 11이다. 이들에서 3월

Table 2 Annual rail temperature

월별	월간 온도(°C)			일간 온도 변화량(°C)		
	최고 온도	최저 온도	차이	최대	최소	차이
1	21	-14	35	27	8	19
2	23	-15	38	31	14	17
3	.	.	.	.	.	.
4	41	0	41	33	19	14
5	49	6	43	35	7	28
6	49	12	37	33	8	25
7	50	18	32	31	5	26
8	56	16	40	33	8	25
9	48	10	38	33	7	26
10	41	-3	44	34	6	28
11	34	-9	43	32	6	26
12	25	-14	39	29	13	16
년간	56	-15	71	35	5	32

분은 측정기의 고장으로 측정하지 못하였으므로 누락되어 있다. 년간의 최고 레일 온도(8월중의 14시에 56°C)와 최저 레일 온도(2월중에 24시 또는 0시 30분에 -15°C)의 차이는 71°C이었다.

한편, 기상청의 자료에 의한 지역별 극기상 값으로부터 제3.8절(기온과 레일온도의 상관관계)의 식으로 레일온도를 계산한 값으로 유추한 주요 지역의 연간 레일온도의 변화범위는 청주

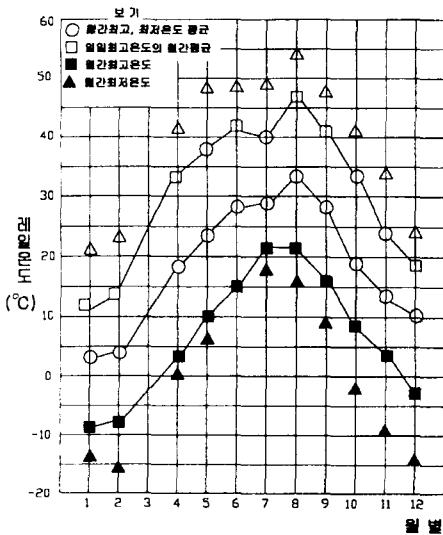


Fig. 11 Monthly rail temperature

(1984. 8. 10~1969. 2. 6) 83℃(56~-27), 서울 (1943. 8. 24~1927. 12. 31), 대구(1942. 8. 1~1923. 1. 29) 80℃, 강릉(1942. 7. 25~1915. 1. 13) 79℃, 수원(1988. 8. 10~1969. 2. 6) 78℃(52~-26), 광주(1939. 7. 21~1943. 1. 5) 76℃(57~-19), 대전(1984. 8. 9~1969. 2. 6) 72℃(53~-19), 부산 (1983. 8. 4~1915. 1. 13), 목포(1924. 8. 18~1915. 1. 13) 69℃이다.

3.7.2 일간 레일 온도 변화량

Table 2에서 일간 레일 온도 변화의 최대는 5월중에 측정된 35℃(14시에 48℃, 05시에 13℃)이었으며 최소는 7월중에 측정된 5℃이었다. 그리고, 일간 온도 변화량의 월별 최대치는 27℃(1월)~35℃(5월)이고, 월별 최소치는 5℃(7월) ~ 19℃(4월)이었다.

3.7.3 일간 최고·최저 온도의 시간대별 분포

측정기간(291일)중 일간 최고·최저 레일 온도의 시간대별 분포를 나타낸 것이 Fig. 12이다. 일간 최고 온도가 발생한 시간은 8:30~17:30으로 9시간에 걸쳐 분포되어 있다. 일간 최저 온도의 시간대별 분포는 23:00~09:30분으로 최고 온도보다 넓은 시간대인 10.5시간에 걸쳐 분포되어 있다.

또한, 이들의 분포에서 일간 최고·최저 레일 온도 모두 온도가 높을수록 낮은 시간대에, 온도가 낮을수록 이른 시간대에 많이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

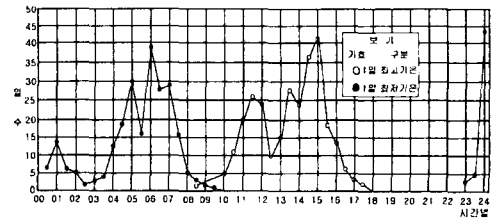


Fig. 12 Distribution of the daily highest and lowest rail temperature

또한, 일간 최고 레일 온도가 26℃ 이상일 때는 오후 1:30~3시에, 25℃ 이하일 때는 정오 직전에 많이 발생하고 있으며, 이는 궤도의 좌굴 사고가 오후 1~3 시간대에 많이 발생하는 경향과 잘 부합되고 있다. 또한, 일간 최저 레일 온도가 영상일 때는 오전 6시 전후, 영하일 때는 자정 무렵에 많이 발생하고 있다.

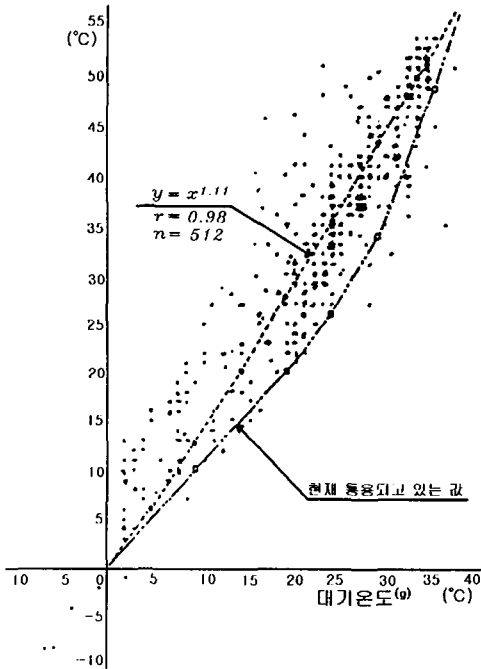
3.8 기온과 레일 온도의 상관 관계

궤도 현장에서 날씨에 관계없이 측정된 기온과 레일 온도의 관계를 나타낸 것이 Fig. 13이다. 이들 자료(n = 512)를 이용하여 기온과 레일 온도의 상관 관계를 구한 결과, 기온이 영상일 때 대기 온도 x(℃)와 레일 온도 y(℃)와의 관계가 다음과 같은 회귀 식(상관 계수 r = 0.98)이 구하여졌다(기온이 영하일 때 레일 온도는 기온과 동일).

$$y = x^{1.11} \dots\dots\dots(1)$$

위의 식으로 기온별로 레일 온도를 환산한 것이 Table 3이다. 표에는 현재 철도청에서 사용되고 있는 값[6]을 함께 나타내었다.

Fig. 13와 Table 3을 보면 실측치의 회귀 식에 의한 값과 철도에서 현재 통용되고 있는 값은 기온이 0℃이하 일 때와 40℃일 때만 같고 그 중간 부분에서는 상당한 차이가 있다. 특히 기온이 25℃~30℃일 때는 9.6℃만큼이나 차이가 있



**Fig. 13 Correlation between atmospheric temperature and rail temperature**

으며 이를 축방향력으로 환산하면 50 kg/m N 레일에서 14.8 tf의 차이가 있음을 볼 때 철도에

**Table 3 Comparison of Correlation between the atmospheric temperature and the rail temperature(°C)**

기 온	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
레 일 온 도	A	0	-	10	-	20	26	34	49	60
	B	0	6.0	12.9	20.2	27.8	35.6	43.6	51.8	60
차 이	0	1.0	2.9	5.2	7.8	9.6	9.6	2.8	0	

주 A : 현재 통용되고 있는 값

B : 측정치의 회귀식에 의한 값

서 현재 통용되고 있는 기온과 레일 온도의 관계가 재고되어야 할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

(1) 현재 철도에서 통용되고 있는 기온과 레일 온도의 상관 관계와는 다른 회귀 식이 구하여졌으며, 기온이 25°C~30°C일 때 레일 온도가 9.

6°C만큼이나 차이가 있으므로 현재 통용되고 있는 기온과 레일 온도의 상관 관계는 재고되어야 할 것으로 생각된다.

(2) 레일 단면적의 차이에 따른 레일 온도 변화의 차이는 그다지 차이가 없지만, 태양열을 받아 온도가 상승하기 시작하는 것은 가벼운 레일일수록 빠르게 시작하며, 무거운 레일은 늦게 상승하기 시작하여 최고 온도에서는 가벼운 레일의 온도와 거의 같은 정도로 상승하고 일반적으로 늦게 하강한다.

(3) 레일 온도는 양달쪽과 응달쪽에서 보통 3.0~4.0°C의 차이가 있고, 6년 동안 시험 중의 최대 차이는 7.0°C이었다.

(4) 레일 북부의 온도가 레일 신축량의 환산 레일 온도에 가장 가까우며, 다음으로 양달쪽의 두부 아래, 그 다음에 응달쪽의 두부 아래의 순서이며, 상면은 0~25°C 높은 온도이었다.

(5) 바람이 레일 온도에 큰 영향을 주는 것은 충분히 예측되는 것이며, 초속 1 m에 약 5°C 차이가 있었다.

(6) 이번에 조사한 일간 최고 레일 온도는 26°C 이상일 경우 오후 1:30~3시, 25°C 이하일 경우 정오 직전에, 또한 일간 최저 레일 온도는 영하일 경우 자정에, 영상일 경우에 오전 6시 전후에 많이 발생하였다. 즉, 일간 최고·최저 레일 온도는 각각 그 온도가 높을 때가 낮을 때보다 늦은 시간대에 발생하였다.

#### 참고 문헌

[1] 서사범, 1999, 선로공학(線路工學), 도서출판 삼과꿈, pp 521~527.  
 [2] 徐士範, 1995, 軌道施工學, 盧海出版社, pp 97~104  
 [3] 徐士範, 1991, “長大레일 軌道の 挫折”, 鐵道施設 No. 39, 40, (財)韓國鐵道技術協力會, pp38~57, pp 42~53.  
 [4] 徐士範, 1995, “氣溫과 레일 溫度에 關한 調査”, 鐵道保線 No. 13, (社)韓國鐵道保線技術協力會, pp 40~45.  
 [5] Esveld, C., 1989, Modern Railway Track, MRT-Productions, p 23.  
 [6] 철도청, 1986, 장대레일 보수관리, 철도청, p 24.