

레일체결장치용 경량화솔더(코일스프링클립걸이)개발 Development of a Lightweight Rail Fastener Clip Shoulder

양재성* 백광일** 남보현***
Yang, Jae-Sung Baik, Kwang-Il Nam, Bo-Hyun

Abstract

For the rail fastener clip shoulder being used in Pandrol e-cilp type fastening system, there has been a need to make a structural and electrical improvement due to the fact that PC concrete sleeper showed material loss in the vicinity of exposed portion of the clip shoulder and the fact that track signal was lost when a track insulation block is missing on the track.

In the present study, a new lightweight rail fastener clip shoulder with enhanced electrical insulation capability is developed

요지

현재 국내에서 사용되고 있는 펜드롤형 체결구의 레일체결장치용 솔더는 구조상으로 솔더와 콘크리트 침목 단차에서의 재료분리를 유발시키고 있으며 현장에서 궤도의 PC침목 자체는 완전절연 상태가 아니므로 절연블럭의 미삽입 또는 탈락시 궤도가 단락되어 신호기에 장애가 발생하거나 열차 미운행시에도 건널목 경보장치와 차단기가 동작되는 등의 문제가 발생하여 근본적인 대비책 강구가 요망되어 온 상태이다. 본 연구에서는 레일체결장치용 솔더의 구조적 개선 및 경량화와 솔더의 절연성능 향상을 위한 신형솔더를 개발하였다.

1. 서론^{1)~3)}

궤도용품 중에서 체결부는 레일과 침목을 구조적으로 연결하며 차량으로부터 전달된 수평 및 연직방향의 힘을 흡수하고 침목으로 전달하는 역할을 한다. 전세계적으로 볼 때 매우 많은 수의 체결부 형식이 존재하며 주된 원인은 새로운 요구사항의 존재, 새로운 재료의 적용가능성 등에 기인한다.

레일과 침목에 작용하는 체결장치의 연직방향의 체결력은 열차 주행에 따른 모든 하중조건하에서 그 기능을 수행할 수 있어야 한다. 또한 가능한 차량통과에 의한 충격 및 진동을 감쇠시킬 수 있어야하며 궤간을 허용치 이내로 유지할 수 있어야 한다.

구체적인 레일체결장치의 구조는 궤도조건과 궤도구조의 조합에 의해 여러 종류 여러 모양의 것이 고안되어 있으나, 실용적으로는 레일, 침목형상, 치수 등의 물리적 제약 및 하중과 기능 등을 감안해서 설계·제작된다.

일반적으로 궤도 구성품의 성능향상에 이바지함으로써 철도의 안전성 및 승차감의 향상을 도모할 수 있으며 철도이용객의 철도에 대한 신뢰성을 유지할 수 있을 것이다. 기존의 솔더의 경우 외국의 모델을 기본으로 하여 국내실정에 맞게 약간 변형시켜 사용하였으나 구체적인 연구가 수행되지 않았다. 따라서 솔더의 경량화 및 기능성의 향상의 여지가 충분히 존재한다.

본 연구에서는 현재 국철에 사용중인 체결장치의 구성품 중에서 코일스프링클립걸이의 기능을 최적화함으로 기능의 향상 및 경량화를 시도하고자 하였다.

본 연구를 통하여 국내 체결장치 관련 설계·제작기술의 향상 및 궤도용품의 성능향상을 기대할

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 공학박사, 정회원

** 동양주공주식회사, 대표이사, 비회원

*** 한국철도기술연구원, 연구원, 비회원

수 있다. 또한, 코일스프링클립결이(솔더)의 경량화에 따라 궤도 구성품의 제작단가가 낮춰질 수 있을 것으로 사료되며, 선로 유지보수, 선로 개량사업, 각종 궤도 건설사업, 고속철도사업 등에 대하여 상당한 경제적 이득을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

2. 기존솔더 및 신형솔더의 비교

신형 솔더의 고안은 철도 레일을 콘크리트 침목에 고정지지 하는데 사용되는 레일 고정지지구의 개선에 관한 것으로 침목에 대한 결합력을 증대시키고, 또 레일과 레일 고정지구 및 콘크리트 침목간에 보다 안정적인 전기절연상태를 유지·제공할 수 있도록 고안된 레일 고정지지구에 대한 것이다.

신형 솔더의 단면은 콘크리트 레일 침목속에 매립 고정되는 스템부와 침목상부로 돌출하여 레일 고정용 스프링 클립이 결합 지지되고 스프링 클립과 협력 작용하여 레일에 대한 고정지지작용을 제공하는 헤드부를 일체로 주조 성형하여 구성된다. 레일 고정지지구를 구성함으로써 헤드부의 내부 일측에 스프링 클립 결합공과 연통되는 공동이 형성되어 있고 스템부의 일부분에 적어도 하나의 관통공이 형성되어 있으며, 스템부 또는 헤드부를 포함하는 레일 고정지지구의 일부 또는 전체 표면에 절연피막층이 도포 제공되어 있는 것을 특징으로 하는 레일 고정지지구이다.

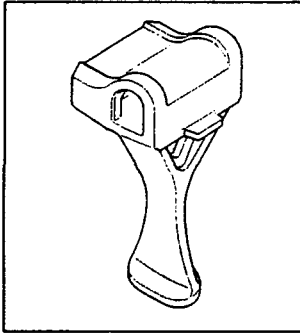


Fig. 1 신형솔더 모형

종래의 레일 고정지지구는 그 스템부가 레일로부터의 횡압에 견디도록 하기 위하여 상당한 좌우폭을 가지며 레일로부터의 종압에 견디도록 하기 위하여 보강부와 침목과의 결합력 증대를 위한 돌출부들을 일체로 형성 구비하는 형태로 구성되기 때문에 한 레일 고정지지구를 제작 완성하는데 상대적으로 많은 양의 재료가 소요된다. 또한, 이로 인해 레일 고정지지구의 전체적인 중량중대 및 제작원가중대가 불가피하고, 헤드부의 일측에 재료절감 및 중량감소의 취지로 바깥쪽으로 트인 요입부를 형성하고 있기 때문에 침목 제작시 그 침목 구성재료인 콘크리트의 일부가 요입부 내에 들어찬 상태로 굳어져서 반복하중의 작용에 취약한 단차부를 구성하게 되며, 따라서, 사용중 단차부로부터의 침목 손상과 침목 및 레일 고정지지구간의 결합력 약화 내지 레일고정상태의 약화를 쉽게 나타내는 폐단이 있다.

이러한 레일 고정지지구 및 침목, 레일패드, 절연블럭 등을 사용하여 부설되는 레일에는 관련 신호시스템 및 전기적 제어시스템 등의 작동을 위한 전류가 흐르고 있는데 절연블럭이나 레일패드가 레일로부터의 반복적인 충격력에 의해 손상 및 파손되는 경우 특히 우천시 등에 레일에 흐르는 전류가 레일 고정지지구쪽으로 누전됨으로써 관련 시스템의 신호장애나 제어장애를 일으키게 되는 일이 빈번히 발생하는 문제점도 있으며, 이러한 문제점은 종래의 레일 고정지지구가 금속제로 된 그 몸체 표면에 절연처리되지 않은 상태로 단순구조로 형성되었기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 종래의 문제점을 효과적으로 해결할 수 있도록 Fig.1과 같은 절연성능을 지닌 신형 솔더의 개발을 제안하였다.



Fig. 2 기존 운행선상의 솔더와 침목 단차부의 콘크리트 재료분리

기존 솔더와 마찬가지로 신형 솔더 역시 스템부와 헤드부를 일체로 주조 성형하여 구성되어진다. 개선부분은 레일 고정지지구에 있어서 헤드부 내부일측에 스프링클립 결합공과 연통되는 공동이 형성제공됨으로써 헤드부에 요구되는 구조적 강도를 약화시키지 않으면서 헤드부의 구성재료 및 중량을 공동의 크기에 상응하는 정도로 효과있게 감소시킬 수 있고, 공동이 헤드부 외측으로 트이지 않는 상태로 형성되어 침목 제작시 종래와 같이 침목의 구성재료가 인입되어 생기는 취약한 단차부를 하등 초래하지 않게 되는 장점이 얻어진다.

Fig.2는 현재 운행선상에서 발생하는 단차부에서의 콘크리트 재료의 단락을 나타낸다. 또한, 레일 고정지지구의

스템부가 좌우방향에서 볼때 스템부의 중앙부에서 상단부 및 하단부쪽으로 갈수록 점차적으로 커지는 폭을 가지도록 하여 형성되고 동시에 전후방향에서 볼 때는 상평하협상의 상부를 가지도록 하여 형성된다. 레일 고정지지구의 스템부에 요구되는 구조적 강도의 약화를 초래하지 않으면서 스템부를 상대적으로 적은 재료를 써서 보다 가벼운 중량으로 형성할 수 있고 콘크리트 레일 침목의 제작시 그 침목의 구성재료인 콘크리트가 관통공속으로 진입 고화되는 상태로 침목 제작이

이루어지게 되기 때문에 상기 레일 고정지지구의 스템부 및 침목간의 결합력 및 이에 상응하는 레일 고정지지구를 안정적인 상태로 결합설치를 할 수 있는 이점이 얻어진다. 또한, 고정지지구 몸체의 스템부를 포함하는 일부 표면, 또는 스템부 및 헤드부를 포함하는 전체 표면에 절연피막층을 도포 제공하는 것이 제안되며, 레일패드 및 절연블럭이 레일로부터 전해지는 반복적인 하중 및 충격력으로 인해 손상·파손되는 경우에도 절연피막층의 작용으로 레일과 레일 고정지지구 및 침목간의 전기적 절연상태가 그대로 유지되어 레일 통전 전류의 누전으로 인한 신호장애나 제어장애 등이 초래되지 않는 유리한 효과를 얻게된다. 절연피막층의 소재로서는 침목의 구성재료인 콘크리트가 지니는 알카리성분에 대한 강한 화학적 내성 및 내구성을 지니면서 전기절연성이 우수한 도료를 사용하였다. 이때 절연피막층의 색상은 콘크리트와 유사한 색을 사용하여 거부감을 줄였으며 미적효과를 충분히 나타내었다. 또한 이때 얻어지는 경제적 효과는 Table.1과 같다.

Table. 1 신형 솔더의 경제성 비교

단중(kg)	1.3	1.0	30%절감
단가(원)	1,627	1,320	307원/개 23.2%절감
년간 소요 예정액(개)	2,500,000		2000년도 구매기준
년간 예상 절감액(원)	767,500,000		307/개×2,500,000개
절연처리시 부담액(원)	375,000,000		150/개×2,500,000개
절연시 연간 예정액(원)	392,500,000		

3. 실내성능실험

신형 레일체결용 솔더의 안정성을 평가하기 위하여 실내성능실험을 수행하였다. 아직 국내에서는 침목 및 체결장치에 대한 안정성을 평가하는 기준이 없으므로 본 개발에서는 미국의 AREA 기준 및 불란서의 SNCF 기준에 따라 침목 및 체결장치의 실내성능실험을 수행하였다. 본 성능실험에서는 KS 60kg 침목을 사용하였다.

3.1 AREA 기준⁴⁾

AREA에서 1990년에 규정한 Monoblock Ties의 실내성능실험에 의거하여 신형 솔더에 대한 안정성 평가를 수행하였다. Monoblock Tie에 대한 안정성 평가를 수행하는데 3가지의 반복진행 방법이 있다. 본 연구에서는 "Tie Block" 방법에 따라 안정성을 평가하였다.

- ① Tie Pad Test → ② Fastening Uplift Test → ③ Fastening Longitudinal Restraint Test →
- ④ Fastening Repeated Load Test → ⑤ Fastening Longitudinal Restraint Test →
- ⑥ Fastening Uplift Test → ⑦ Fastening Lateral Restraint Test → ⑧ Tie Pad Test

본 연구에서 채택한 "Tie Block"방법은 하나의 시편으로 위에서 기술한 실내실험을 반복하여 수행하는 것이다. AREA 기준에 따라 시편은 길이 50cm의 레일과 90cm의 침목을 사용하였다.

3.1.1 Tie Pad Test



Fig. 3 Tie Pad Test

Fig.3은 Tie Pad 실험을 나타내고 있으며 본 실험에서는 침목 패드의 스프링 정수값을 구할 수 있다. Tie Pad 실험을 수행하기 전 패드의 거동을 안정화시키기 위하여 본 연구에서는 134~17.8kN의 진폭을 갖는 반복하중을 6Hz, 1,000회 재하하였다. 정적하중을 재하할 경우 13.4~26.7kN/min의 하중 재하 속도로 223kN의 하중까지 4.45kN씩 하중을 증가시킨다. 이때 초기하중 재하량인 4.41kN에서 패드의 변위가 0.0025mm 이상 발생하면 안된다. 하중 재하속도를 26.46kN/min으로 하여 223kN까지 하중을 증가시키고 223kN시에 변위를 구하였다. 또한 하중을 223kN 이상 재하한 후 하중을 제거하였다. 이때 하중을 제거한 후 10초가 지난 후 패드 변위의 복원량을 다이얼 게이지를 이용하여 알아보았다. 이때 복원되는 량이 0.051mm 이상 발생하면 안되도록 규정되어 있으며 본 실험에서도 구한 처짐량은 0.015mm이다.

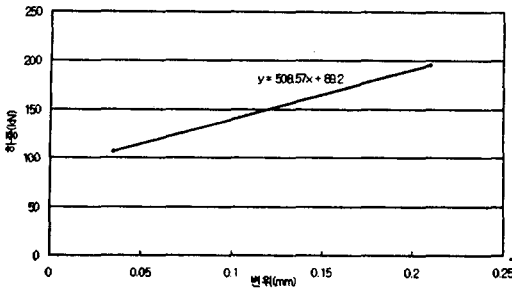


Fig. 4 침목 패드의 스프링 정수

Table.2는 223kN으로 재하시 다이얼 게이지로 측정된 변위값과 하중 제거 후 복원되는 량을 나타내었다. 여기서, 침목 패드의 스프링 정수값은 하중이 107kN~196kN사이일 때 하중-변위관계로부터 구하며 그 결과는 Table.3과 같으며, Fig.4와 같은 관계를 나타낸다.

스프링 정수값은 하중 범위 107kN~196kN에서의 상대변위값과의 비이다. 따라서 초기 침목패드의 스프링 정수값은 509kN/mm이다. 본 실험에서 사용한 측정 방법은 하중이 재하되는 레일 하부의 패드에 다이얼 게이지를 설치하여 측정하여야 하나 다이얼 게이지를 설치할 수 없어 레일과 가장 인접한 패드위에 다이얼 게이지를 설치하여 변위값을 측정하였다. 따라서, 기존에 실험한 레일패드의 스프링 정수값에 비해 매우 큰 값을 나타내고 있다. 철도청 시설국 보선과에서 지정한 우레탄 소재의 레일패드의 기준과 우레탄 패드시편을 사용하여 스프링 정수값을 직접 측정된 결과는 Table.4와 같다. 따라서 본 연구에서는 물성실험을 실시하여 구한 스프링 정수값을 이용하여 추후의 실험을 수행하였다.

Table. 2 Tie Pad 실험결과

게이지 1	0.34	0.02
게이지 2.	0.19	0.01

Table. 3 스프링정수를 구하기 위한 하중-변위

게이지 1	0.04	0.28
게이지 2.	0.03	0.14

Table. 4 침목패드의 물리적 성질

인장강도	MPa	43.1	48.7	43.4	300kgf/cm ² 이상
신장율	%	510	500	440	400%이상
경도(HS)	-	92	92	92	90이상
스프링정수	T/cm	129	120	124	100~200T/cm

3.1.2 Fastening Uplift Test



Fig. 5 Uplift Test

0.02mm 라고 보고 그 때의 하중값을 재하하중 값으로 채택하였다. 이는 0.01mm의 눈금을 가진 다이얼 게이지로 변위를 측정하기 때문에 어느정도의 오차를 고려한 것이었다. 실험에서는 변위값 0.02mm일때의 재하하중은 28kN의 값을 나타내었다. 따라서, Table.5와 Fig.6을 사용하여 적용하중 P를 산정하면 29.8kN을 얻을 수 있다.

Fig.5는 Fastening Uplift Test를 나타낸다. Uplift Test를 위해서는 레일에 하중의 전달이 없고 직접 침목에 하중이 가해지도록 설계된 Zig를 사용하여 수행한다. Uplift test는 적용하중 P의 값을 구하는데 수목적이 있으며, 적용하중 P는 침목에 재하되는 하중+침목의 중량+실험용 Zig의 중량이며, 44.5kN을 넘지 않아야 한다고 규정되어 있다. 본 실험에서는 90cm의 침목 시편의 중량은 110kg, 실험용 Zig의 중량은 70kg이며, 재하되는 하중으로 인하여 체결구의 들림이 시작할 때의 하중 측정을 위하여 본 실험에서 그 변위량을

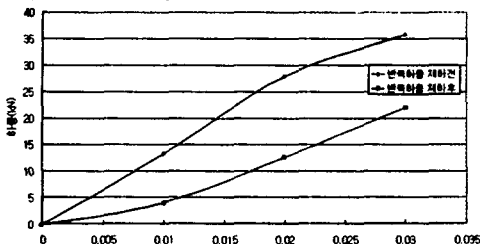


Fig. 6 Uplift Test 결과

Table. 5 Uplift Test 결과

0.01	4.21	0.01	13.4
0.02	12.7	0.02	28.0
0.03	22.15	0.03	35.9

3.1.3 Fastening Longitudinal Restraint Test

Fig.7은 종방향저항실험을 나타내고 있다. 실험에서는 수평으로 하중을 재하하는 장치가 없기 때문에 침목을 회전시켜 레일을 수직으로 세워 하중을 재하하였다. 체결구의 종방향 저항실험은 하중 속도를 90kgf/min로 유지하고 1.8kN씩 하중을 증가시켜 10.7kN까지 재하한다. 본 실험은 15분 이상 시간으로 수행하여야 하며 초기 3분 이내에서 침목의 변위가 5mm 이상 발생하면 안된다. Table.6에서 보이는 바와 같이 하중 12.6kN일 때 체결장치에서 종방향저항이 기준치를 만족함을 알 수 있다.

Table. 6 체결구의 종방향 저항실험 결과

1.8	0.00	0.00
3.6	0.01	0.01
5.4	0.01	0.01
7.2	0.01	0.01
9	0.01	0.01
10.8	0.01	0.01
12.6	0.01	0.01

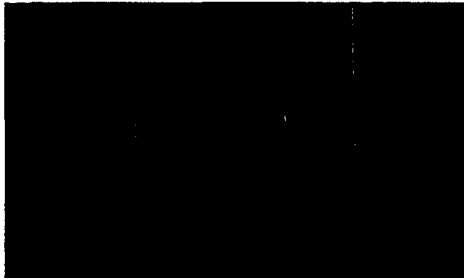


Fig. 7 Fastening Longitudinal Test



Fig. 8 Fastening Repeated Load Test

3.1.4 Fastening Repeated Load Test

본 실험에서 재하되는 하중은 Uplift Test에서 구한 적용하중 P값을 적용한다. 시편은 20°로 기울여 하중 P를 재하한다. 이때 규정하고 있는 20°의 경사를 유지하기 위하여 경사피로 Zig를 설계하였으며, Zig의 경사 각도는 20° ~ 45°까지 5°씩 변화시킬 수 있게 제작되었다.

규준에서의 하중 조건 및 진동주기는 sine파형으로 5Hz이하로 3,000,000cycle의 진동주기와 151kN~18kN의 반복하중을 재하하였다. 또한 하중을 재하할 때는 레일의 회전이 자유로운 상태로 체결되고 위치되어야 한다. 실험수행후 체결구를 구성하는 구성요소들에 균열이 발생하면 안된다. 또한 초기하중 재하는 84.75kN, 그 후 66.75kN의 크기를 갖는 반복하중이 5Hz의 속도로 재하되었다. Table.7에서 나타나는 것과 같이 3,000,000회에서 체결구에서의 최종 변위는 0.109mm이었으며, 3,000,000회에서의 체결장치 및 침목에서는 어떠한 균열도 발견되지 않았으므로 실험결과로 미루어 볼 때 반복하중에 의한 체결구의 안정성에는 별다른 문제가 없는 것으로 판명되었다.

Table. 7 실험속도의 피로실험시 변위

초기치짐	-6.818
5,000	-6.832
1,000,000	-6.880
1,500,000	-6.892
2,000,000	-6.904
2,500,000	-6.926
3,000,000	-6.927

3.1.5 Fastening Lateral Restraint Test



Fig. 9 Fastening Lateral Restraint Test

Lateral Restraint Test를 나타내고 있다. 실험은 반복하중 실험보다 경사를 10° 더 높은 30°로 놓고 하중을 재하한다. 하중을 재하할때는 레일에 직접 하중을 재하하는 것이 아니라 레일과 재하판의 사이에 254mm×254mm×19mm의 송판을 올려놓고 그 송판 위에 하중을 재하한다. 재하되는 하중의 속도는 22kN/min을 넘어서는 안되며 먼저 하중을 재하한 후 변위가 3.18mm 발생되었을 때 하중값을 읽는다. 그 다음으로는 하중을 완전히 해방시킨 후 다시 하중을 재하하여 변위가 6.35mm 발생될 때

의 하중값을 읽는다. 이때 초기변위 3.18mm 및 6.35mm 발생시 균열 및 파괴가 발생하면 안되도록 규정되어 있다. 본 실험의 결과에서는 어떠한 균열 발생이 나타나지 않았으므로 안정성에는 문제가 없는 것으로 판명되었다.

Table. 8 Lateral Restraint Test 결과

변위(mm)	하중(kN)
3.18	171.94
6.35	81.74

3.2 SNCF 규정⁵⁾

SNCF 규준은 “fastening system performance specification”에 의거하여 개발된 코일스프링크립 절이에 대한 안정성 평가방법을 채택하였다. SNCF 규준에서도 AREA 규준과 같이 1개의 시편으로 실험을 반복수행하는 방법을 채택하고 있다. 본 실험에서는 다음과 같은 반복 실험을 통하여 안정성 평가를 수행하였다.

- ① Clamping Force → ② Rail Pad Vertical Spring Rate → ③ Longitudinal Restraint → ④ Fatigue Resistance → ⑤ Longitudinal Restraint → ⑥ Clamping Force → ⑦ Rail Pad Vertical Spring Rate

SNCF 규준에 따라 시편은 길이 60cm의 레일과 90cm침목을 사용하였다.

3.2.1 Clamping Force

사용한 Zig와 시편은 Fig.5와 같다. 본 실험에서는 체결력 P의 값을 구하는데 그 목적이 있다. 침목 패드를 침목과 레일사이에서 뺄 수 있을 때까지 하중을 가한다. 레일과 침목사이에서 레일 패드를 제거한 후 하중을 2kN까지 감소시킨다. 이때 하중을 제거시키면 레일과 침목사이에 위치하고 있던 레일 패드의 두께와 체결장치 조합의 체결로 인하여 레일과 침목은 초기 레일 패드보다 더 가까워져 다이얼 게이지의 눈금은 0의 값을 넘어서 음(-)의 값을 가지게 된다. 다시 하중을 재하하여 초기 다이얼 게이지 눈금이 0의 값에 도달할 때까지 하중을 재하한다. 이때 다이얼 게이지의 눈금이 초기 값인 0값에 도달하였을 때의 하중이 체결력 2P값이 된다. 이때 하중 재하 속도는 10kN/min를 넘어서는 안되고 하중은 1.1×2P값이 될 때까지 재하시킨 후 다이얼 게이지의 눈금을 읽는다. Table.9에서 보여지는 것과 같이 체결구에서 나타나는 체결력은 87.75kN이며 체결구 각각의 체결력은 43.875kN이다. 또한, 1.1×2P시인 96.525kN때의 변위는 2.70mm였다.

Table. 9 Clamping Force Test 결과

	하중(kN)	변위(mm)
1회		
패드 제거시	101.54	3.48
2kN까지 하중감소		-0.28
dial gage 0. (2P0)	86.54	
1.1×2P0	95.2	2.40
2회		
패드 제거시	102.81	3.87
2kN까지 하중감소		-0.46
dial gage 0. (2P0)	87.91	
1.1×2P0	97	2.82
3회		
패드 제거시	103.4	3.6
2kN까지 하중감소		-0.5
dial gage 0. (2P0)	88.8	
1.1×2P0	97.68	2.89

3.2.2 Rail Pad Vertical Spring Rate

하중을 50kN/min이하의 속도로 2분 간격으로 하중을 적용시키며 재하하중은 체결력 실험에서 구한 체결력을 사용한다. 이때 하중 P는 87.75kN을 적용하였다. 따라서 하중의 범위는 2P₀~2P₀+75kN 범위이므로 87.75kN~162.75kN이 되며 실험 방법은 Fig.3과 같다. 아래 식 3.1은 스프링 강성을 이동거리 d값을 이용하여 구하는 식이다.

$$K_p = \frac{75}{d} \text{ kN/mm} \quad (3.1)$$

Table. 10 Pad Test 결과

	게이지 #1	게이지 #2
1회		
2P0	0.03	0.08
2P0+75kN	0.02	0.08
2회		
2P0	0.03	0.07
2P0+75kN	0.02	0.04
3회		
2P0	0.03	0.09
2P0+75kN	0.03	0.06

Table.10은 레일패드 실험에서 구한 d의 값을 식 3.1에 적용하여 구한 스프링 강성 K_P 의 값을 나타내고 있다. 따라서 $2P_0+75kN-2P_0$ 시의 거리 d는 0.09mm이므로 스프링 강성 K_P 는 833kN/mm로 나타난다. 본 실험에서도 스프링 정수값을 물성실험에서 구한 값을 사용하였다.

3.2.3 Longitudinal Restraint

하중의 속도는 2.5kN/min을 유지하며 2.5kN씩 증가시키며 하중이 재하될 때 각하중마다 2분간 하중을 유지하여야 한다. Fig.10은 횡저항 실험 결과를 하중-변위 곡선으로 나타내고 있다.

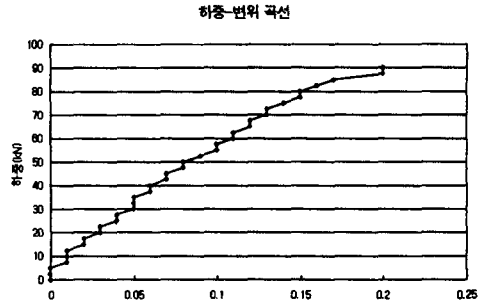


Fig. 10 Longitudinal Test 결과

3.2.4. Fatigue Resistance

시편의 각도는 30° 로써 AREA의 20° 보다 10°의 경사를 더 갖는다. 재하되는 하중은 레일 패드 실험으로 구한 스프링 정수값을 적용하였으며 Table.11을 사용하여 R값을 구한다.

본 실험에서는 8Hz, 3,000,000cycle의 값을 재하 하였다. 또한 하중은 85kN~2kN에서 sine파형으로 반복하중을 재하 하였다. 3,000,000회에서 체결구에서의 최종변위는 0.6 36mm만큼 변형되었으며, 체결구 및 침목에 어떠한 균열도 발견되지 않았으므로 본 실험으로는 실험시편이 안전한 것으로 판명되었다.

Table. 11 반복하중 R

	150	85	31
	120	80	31
	100	75	31
	80	70	31

3.3 체결구의 절연실험

3.3.1 절연코팅제의 물성실험

솔더는 철도레일과 콘크리트 침목의 연결시켜주는 중요한 체결부품으로 레일에 흐르는 전류가 누전 될 수 있으며 또한 발청현상으로 인한 내구성에 문제점이 있어 본 연구에서는 절연 및 방청 성능 향상을 도모하였다.

기존의 코일 스프링클립걸이의 절연성능을 향상시키기 위하여 본 연구에서는 경량화 코일스프링 클립걸이의 전면을 "POWLAC EY171 GR -AY"이라는 절연 및 부식방지용 분체도료를 개발하여 도포하였다. 표면에 도포되는 에폭시수지 분체도료에 전기절연성을 부여하였다.

솔더 코팅도료의 요구물성은 크게 4가지로 나누어 볼 수 있다. 먼저 전기적 특성으로는 코팅된 도막은 레일로부터 전류가 누전되는 것을 방지하기 위한 체적저항이 높은 전기절연성이 있어야 한다. 두 번째로는 도막형성특성으로 솔더는 복잡한 형태의 피로물로 적절한 두께로 도장하기가 어렵다. 따라서, 표면 코팅도료는 우수한 Edge-coverage성과 pinhole형성을 최소화하기 위한 우수한 흐름성이 요구된다. 세 번째로는 표면손상에 대한 저항성으로 도장된 피도물의 수송과정, 설치과정, 콘크리트 충전과정에서의 가혹한 조건을 견딜 수 있는 우수한 부착성과 충격성이 요구된다.

Table. 12 도료 물성

색상	회색(재료에 따라 변경가능)
비중	1.43
이론도포면적	214.5g/m ² (150μm기준, 100%효율)
입자 Size	150μm ↑ : 3%이하 250μm ↑ : 0.2%이하
수분 함유량	0.5%이하
Gel Time (DIN55990/8)	43sec at 180°C 26sec at 200°C 20sec at 220°C 13sec at 240°C

Table. 13 도료의 물리적·화학적 성질

전기절연시험	3.2×10 ¹⁵ Ω	2.7×10 ¹⁵ Ω	
부착성시험	25/25	25/25	
충격성시험	25kg·cm 이상없음	25kg·cm 이상없음	
약품성 시험 (45일)	3M CaCl ₂	이상없음	이상없음
	3M NaOH	이상없음	이상없음
	Ca(OH) ₂ 포화용액	이상없음	이상없음
염수분무시험 (2000시간)	이상없음	이상없음	
도막두께시험 (평균 μm)	시험편1	시험편2	시험편3
	157.4	157.2	152.8
	156.6		

마지막으로 매설환경에 대한 저항성이 있다. 피도물이 시공된 후 도막은 외부의 습기 및 내부의 알카리성 환경에 놓이게 되는데 따라서 도료는 내약품성(특히 알카리성)과 더불어 내식성이 우수하여야 한다.

본 개발에서 사용한 POWLAC EY171은 특수한 에폭시수지와 경화제를 주체로 한 열경화성 분체도료로서 우수한 방식성과 내약품성을 가진 도료이다. 고온에서 예열시킨 Gritblast steel에 도장하면 우수한 부착성과 기계적 물성을 지니게 되며 특히 Table.12와 Table.13에서 보는바와 같이 국내 KS5250 1종(강관용)과 2종(철근용)의 규격을 획득한 도료이다.

3.3.2 슐더의 절연저항실험

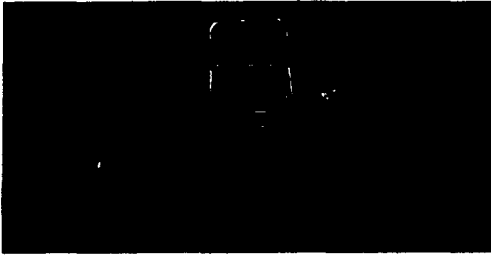


Fig. 11 절연저항실험

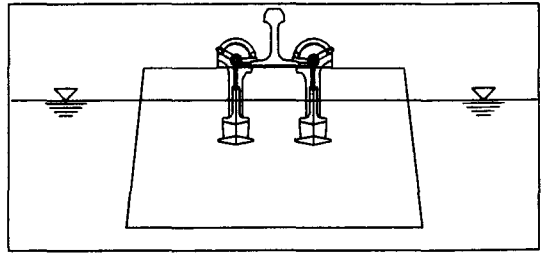


Fig. 12 스템부 중앙부 물을 채울 때

절연저항실험은 시험시편을 레일까지 완전 체결된 상태에서 최소 6시간 동안 수조에 넣어 두었다가 수조에서 시편을 빼내어 1시간 이내에 수행한다. 이때 각 양단의 레일에 10volt, 60Hz의 전류를 15분간 흘려 보낸다. 이 때 20,000 Ω이상의 저항값을 가져야 한다. 전류의 측정은 절연저항계인 TOA 전기 SM-8210을 사용하였으며 Fig.11과 같이 측정한다.

현장에서의 침묵 습윤상태를 재현하기 위하여 물의 수위를 조절하면서 침묵 절연에 대한 실험을 수행하였다. 이때 레일의 반까지 물을 침수하였을 때, 레일패드까지 물을 채웠을 때, 스템부의 중앙까지 물을 채웠을 때, 침묵 중앙단면까지 물을 채웠을 때의 4경우에 대하여 실험을 하였다. 또한, 완전체결상태와 절연불력 1개 망실되었을 때 및 절연불력 2개 모두 망실되었을 때의 경우로 3회씩 절연실험을 수행하였다. 또한 각 경우에서 슐더간의 절연저항 계측도 수행하였다.

Table. 14 스템부 중앙까지 물을 채울 때의 결과

완전체결	2.5×10^6	0	2.5×10^6	∞
절연불력 1개 망실	0.4×10^6	0	0.3×10^6	∞
절연불력 2개 망실	0	0	0.5×10^6	∞

4. 결론

본 연구에서는 기존의 경량화 슐더(코일스프링클립걸이)에 비하여 제작이 용이하며 기계·전기적 성능이 향상된 신형 경량화 슐더를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 신형 경량화 슐더 사용시에

- 경제적 효과 : 연간 약 4억원의 비용 절감
- 기계적 효과 : 슐더와 침묵 단차부의 콘크리트 재료분리 방지
- 전기적 효과 : 절연불력 망실에 따른 궤도신호 단락 방지

등을 도모할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 궤도의 설치 및 유지보수비 절감, 안전성 향상 등을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이종득(1997), "철도공학", 노해출판사
2. 佐藤吉彦, 榎原利之(1987), "線路工學",
3. V.A.Profillidis(1995), "Railway Engineering", Avebury Technical
4. AREA(1996), "Manual for Railway Engineering"
5. SNCF, "Fastening System Performance Specification"