

# 실물레일 용접부의 정적거동특성에 관한 실험적 연구

장 동 일\*, 채 원 규\*\*, 경 갑 수\*\*\*, 홍 성 욱\*\*\*\*

\* 한양대학교 도시환경건설공학군 교수

\*\* 신구대학 토목과 조교수

\*\*\* 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

\*\*\*\* 한림정보산업대학 토목과 전임강사

## 1. 서 론

우리나라에 철도가 도입된 역사는 개화초기인 구한말 고종 26년에 주한대리공사 이 하영이 귀국시 외국의 기차모형을 우리나라에 소개하면서 우리나라에 철도가 처음 소개되었으며, 지속적으로 철도기술의 발전을 추진한 결과 1998년 현재 철도총연장은 3,101km, 1일 열차운행횟수는 2,685대, 수송력은 여객의 경우 2,240,000명, 화물의 경우 160,000ton에 이르고 있다. 아울러 현재 기존 철도의 물동량 수송정도가 포화상태에 접어들면서 현재 활발하게 건설중에 있는 경부고속철도를 위시하여 계획단계에 있는 호남고속철도, 동서고속철도 등 철도기술은 나날이 발전을 거듭하고 있다.

이와 같이 철도기술의 발전이라고 함은 궁극적으로 열차주행속도의 증대라고 해도 과언은 아니며, 이러한 목적을 달성하기 위해서 일본, 프랑스, 독일 및 스페인 등과 같이 철도기술이 발달된 나라에서는 철도를 구성하는 요소, 즉 도상(道床), 침목(枕木), 레일의 구조적인 거동뿐만 아니라 열차동체의 경량화에 따른 복합재료 이용 기술, 차륜과 레일간의 접촉특성에 관해서 지속적으로 연구를 거듭한 결과 일본 신간선(新幹線)의 경우 자기부상식을 이용해서 주행속도를 550km/hr에 이르게 하는 등 현재 철도기술에 관한 한 명실상부한 세계 제일의 선진국이 되어 있는 상태이다.

이와 같이 열차의 주행속도가 급격하게 향상됨에 따라서 가장 문제점으로 지적되는 것이 레일과 레일 사이를 연결하는 레일이음매 부분인데 이와 같은 레일 이음매는 열차주행에 따른 충격으로 인한 소음 및 진동문제를 유발하고, 궤도보수량을 증대시키며, 차량진동에 따른 승차감의 저하 등을 유발하기 때문에 현재 기존철도와 고속철도에서 사용하는 레일의 경우는 길이가 25m인 정척(定尺)레일을 용접해서 장대레일화해서 사용하고 있으며, 그 중요성은 날로 증가하고 있다.

장대레일화하기 위한 레일의 용접방법으로는 대별해서 4종류로 구분할 수 있는데, 기존철도의 경우 가스압접(Gas Welding), 테르미트용접(Termit Welding), 엔클로우즈드아크용접(Enclosed Arc Welding)방법을 혼용해서 사용하고 있으며, 고속철도의 경우 후레쉬버트용접(Flesh-Butt Welding)방법을 이용하고 있다.

이 중 후레쉬버트용접과 테르미트용접의 경우는 전 세계적으로 사용되고 있는 가장 일반적인 레일용접방법이고 가스압접과 엔클로우즈드아크용접의 경우는 우리나라와 일본에서만 주로 사용되고 있는 고유한 레일용접방법으로 참고적으로 일본 JR Group에서는 재래선에서 사용된 레일용접부 72,000개소를 대상으로 레일용접 시공실적을 조사하였는데, 이것을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

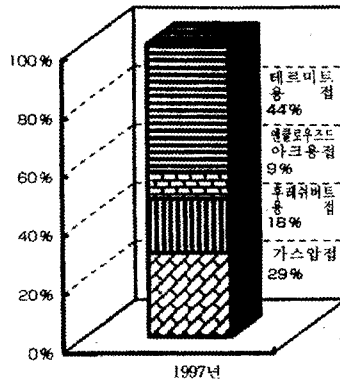


그림 1. 일본 JR Group의 레일용접시공실적

이와 같이 장대레일을 사용하는 빈도는 점차적으로 증가하는 추세이고 이에 발맞추어 일본의 경우 (財)鐵道總合技術研究所를 중심으로 해서 레일 용접부의 정적 및 피로특성을 정량적으로 분석하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 장대레일의 시공실적이나 파손 또는 손상상황에 대한 통계자료가 부족하고 여타 조건들이 미비한 관계로 이와 같은 연구가 활발하게 이루어지고 있지 못한 실정이다. 또한 현재 우리나라에서는 레일갱환주기에 대한 독자적인 기준을 아직까지도 수립하고 있지 못한 실정이고 물론 일본에서 사용하고 있는 레일과 우리나라에서 사용하고 있는 레일의 제원은 동일하다고 하더라도 용접재료의 차이, 레일강의 재료적 차이, 하중 및 열차속도의 차이 등이 있음에도 불구하고 일본에서 제시하고 있는 제안값을 그대로 사용하고 있는 실정이기 때문에 레일갱환주기의 불일치로 인한 낭비요인이 있을 것으로 생각한다.

따라서 본 연구에서는 장대레일 용접부를 대상으로 용접방법별 정적거동특성을 정량적으로 규명함으로써 향후 우리나라 고유의 레일갱환기준을 수립하기 위한 기초적인 자료를 제공하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 레일의 용접방법

### 2.1 가스압접(Gas Welding)

가스압접은 피접합부재를 직접접합하는 것으로 다른 용가제를 필요로 하지 않으며, 접합온도가 낮아서 고체상태의 접합이 가능하고 접합강도가 다른 접합방법에 비해서 큰 장점을 가지고 있다. 또한 용융접합법에서는 주로 균열 등의 문제가 되기 쉬운 공구강과 저합금강, 고탄소강 등의 접합도 가능하다.

### 2.2 엔클로우즈드아크용접(Enclosed Arc Welding)

엔클로우즈드아크용접은 후레쉬버트용접이나 가스압접과 같이 가압, 압축할 필요가 없다. 그러나 본 용접법은 수(手)용접이기 때문에 용접결과에 인적요소가 개입될 가능성이 다분하고 용접시 장시간을 필요로 한다. 용접시간을 단축하기 위해서는 피복재 대신에 쉴드가스(Shield Gas)로서 탄산가스를 사용해서 용접와이어를 연속적으로 보내어 용접을 실시하는 반자동용접법이 개발되어 1995년부터 JR의 일부구간에서 시험시공되고 있다.

### 2.3 테르미트용접(Termit Welding)

테르미트용접은 용접작업이 단순하고 기술습득이 용이하고 용접기구가 간단하고 경량이기 때문에 설비가 저렴하고 기동성이 있으며, 용접시 전력을 필요로하지 않고 용접소요시간이 짧다. 레일용접의 경우에는 엔클로우즈드 아크용접과 같이 가압, 압축할 필요가 없기 때문에 부설레일의 용접에 적절하다. 그러나 용접부가 본질적으로 주물이고 레일의 복부 및 하부에 비드가 크기 때문에 다른 용접법에 의한 접합부에 비해서 강도면에서 다소 취약하다.

### 3. 실험방법

본 연구에서는 현재 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 50kgN급 레일과 60kg급 레일을 대상으로 후레쉬버트 용접을 제외한 3종류의 레일용접부를 대상으로 200ton 용량의 만능시험기(UTM:Universal Testing Machine)를 이용해서 그림 2와 같이 3점휨실험(Three-point Bending Test)을 실시하였다.

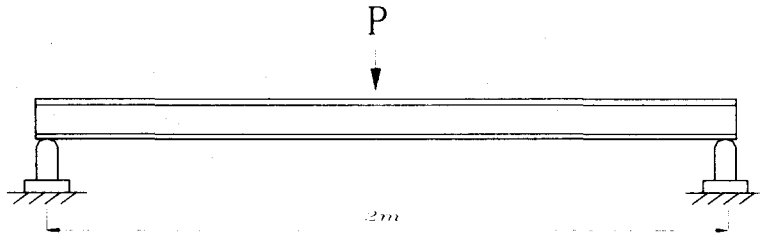
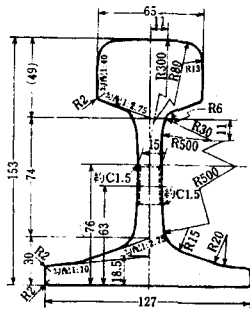
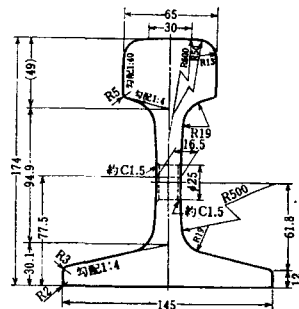


그림 2. 3점휨실험(Three-point Bending Test)

또한 본 연구에서 사용한 50kgN급 레일과 60kg급 레일의 단면제원을 나타내면 그림 3 및 표 1과 같다.



(a) 50kgN급 레일



(b) 60kg급 레일

그림 3. 레일의 단면도

표 1. 레일의 단면제원

레일종류	질량 $m$ (kg/m)	단면적 $A$ (cm <sup>2</sup> )	중립축높이 $y$ (cm)	단면2차모멘트 $I_x$ (cm <sup>4</sup> )	단면2차모멘트 $I_y$ (cm <sup>4</sup> )	단면계수 $S$ (cm <sup>3</sup> )
50kgN	50.40	64.20	7.16	1,960	322	274
60kg	60.80	77.50	7.78	3,090	512	397

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 용접방법에 따른 정적강도특성

본 실험결과 50kgN급 레일 및 60kg급 레일에 대해서 용접방법에 따른 하중-처짐선도를 나타내면 그림 4와 같다.

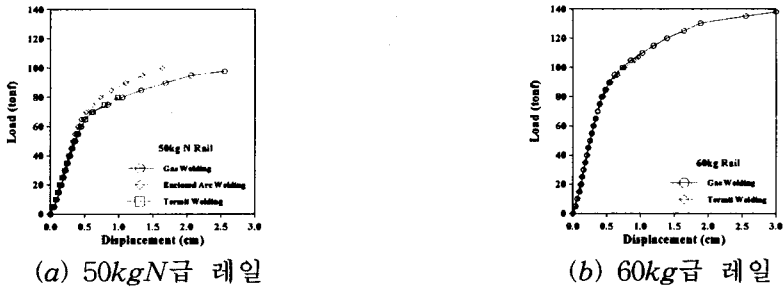


그림 4. 각 용접방법별 하중-처짐선도

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 레일의 종류에 관계없이 탄성구간에서는 레일에 저장되는 탄성변형에너지가 거의 동일하지만 소성구간에서는 가스압접한 경우가 다른 용접방법에 비해서 소성변형에너지가 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이는 가스압접한 경우 접합부의 강도가 다른 용접방법에 비해서 우수하기 때문인 것으로 생각된다.

##### 4.2 레일종류에 따른 정적강도특성

본 실험결과 가스압접, 테르미트용접을 실시한 경우 레일종류에 따른 하중-처짐선도를 나타내면 그림 5와 같다.

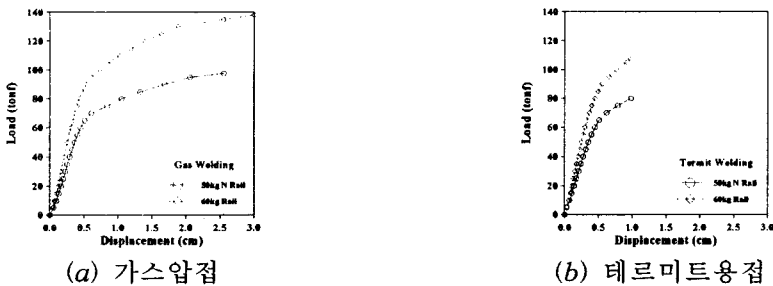
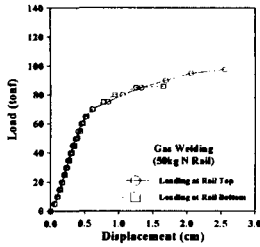


그림 5. 각 레일종류별 하중-처짐선도

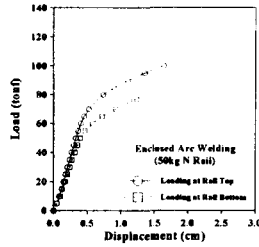
그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 용접방법에 관계없이 60kg급 레일의 경우가 50kgN급 레일에 비해서 탄성변형에너지와 소성변형에너지가 크게 나타나고 있는데 이는 60kg급 레일이 50kgN급 레일에 비해서 휨강성(Flexural Rigidity ; EI)이 크기 때문인 것으로 생각된다.

##### 4.3 하중제하방법에 따른 정적강도특성

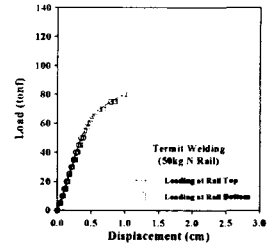
본 실험결과 각 레일에 대해 가스압접, 테르미트용접을 실시한 경우 하중제하방법에 따른 하중-처짐선도를 나타내면 그림 6과 같다.



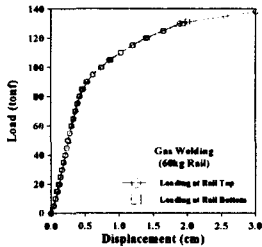
(a) 50kgN급 레일(GW)



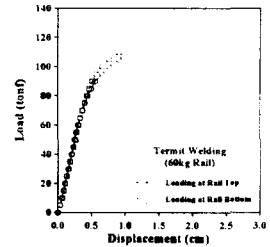
(b) 50kgN급 레일(EW)



(c) 50kgN급 레일(TW)



(d) 60kg급 레일(GW)



(e) 60kgN급 레일(TW)

그림 6. 하중재하방법별 하중-처짐선도

그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 용접방법이나 레일종류에 관계없이 레일두부에서 하중을 재하하는 경우가 레일저부에서 하중을 재하하는 경우에 비해서 총변형에너지가 큰 것을 알 수 있는데 이는 레일의 중립축이 다소 레일저부에 위치하기 때문에 레일상부에서 하중을 가하는 경우 레일저부에 작용하는 인장응력보다 레일저부에서 하중을 가하는 경우 레일두부에 작용하는 인장응력이 다소 크기 때문인 것으로 생각된다.

또한 위의 하중-처짐선도의 결과에 기초해서 각 시험체 변수별 탄성변형에너지(Elastic Strain Energy), 소성변형에너지(Plastic Strain Energy) 및 총변형에너지(Total Strain Energy)를 산정하면 표 2와 같다.

표 2. 각 시험변수별 변형에너지의 비교

레일종류	하중재하방법	용접방법	탄성변형에너지 $U_e$ (ton · cm)	소성변형에너지 $U_p$ (ton · cm)	총변형에너지 $U_t$ (ton · cm)
50kgN	레일두부	GW	13.44	180.48	193.92
		EW	12.44	121.34	133.78
		TW	11.50	40.56	52.06
	레일저부	GW	13.98	94.05	108.03
		EW	6.65	54.04	60.69
		TW	13.90	40.18	54.08
60kg	레일두부	GW	16.96	314.28	331.24
		TW	17.43	49.89	67.32
	레일저부	GW	16.80	76.77	193.57
		TW	16.96	47.73	64.69

표 2의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 용접방법에 관계없이 레일종류별 탄성변형에너지는 큰 차이가 없으나 소성변형에너지의 경우는 레일종류별로 가스압접한 경우가 가장 큼을 알 수 있는데 이는 가스압접한 경우 파괴시까지의 변형능력에 대한 여유가 많으므로 장대레일 용접부의 파단을 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 생각되고 이 결과로부터 레일을 용접하는 경우에는 가스압접방법이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

- (1) 60kg급 레일의 경우가 50kg급 레일에 비해서 총변형에너지가 크게 나타나는데 이는 60kg급 레일이 50kg급 레일에 비해서 휨강성이 크기 때문이다.
- (2) 레일의 종류에 관계없이 가스압접한 경우가 다른 용접방법에 비해서 총변형에너지가 가장 크고 테르미트용접의 경우가 가장 작게 나타나는데 이는 레일복부 및 레일저부에 존재하는 용접비드의 영향이 지배적임을 알 수 있었다.
- (3) 용접방법에 관계없이 레일종류에 따라 탄성변형에너지에는 큰 차이가 없으나 소성변형에너지에는 큰 차이가 존재하는데 이는 가스압접을 실시한 용접부의 연성이 다른 용접방법에 비해서 크기 때문인 것으로 생각된다.
- (4) 이상의 결과로부터 장대레일화하기 위해서 실시하는 레일의 용접방법으로는 가스압접방법이 가장 효율적임을 알 수 있었다.

## 6. 참고문헌

- (1) 이 중득, “철도공학개론”, 盧海出版社, 1997년
- (2) 한국고속철도건설공단, “고속철도핸드북”, 한국고속철도건설공단, 1993년 2월
- (2) 丸山弘志, 深澤義朗, “土木技術者のための鐵道工學”, 丸善株式會社, 1981년
- (3) 紫田元良, “鐵道工學”, コロナ社, 1977년
- (4) 天野光三, 前田泰敬, 三輪利英, “鐵道工學”, 丸善株式會社, 1983년
- (5) 沼田 實, “鐵道工學”, 朝倉書店, 1977년
- (6) 西龜達夫, 神谷牧夫, “新鐵道工學”, 森北出版株式會社, 1980년
- (7) 佐藤吉彦, 梅原利之, “線路工學”, 日本鐵道施設協會, 1987년
- (8) 深田康人, 上山且芳, “レール銲接の現状と課題”, 新線路, pp.27-29, 1999년 2월
- (9) 杉山 亨, “在來線ロングレールの更換週期の検討”, 鐵道總研技報, pp.1-35, 1986년 12월
- (10) 原日吉治, “わかりやすい線路の構造”, 交友社, 1977년
- (11) C.L.Heeler, “British Railway Track”, The Permanent Way Institution, 1979.
- (12) W.H.William, “Transportation Engineering”, John Wiley & Sons, New York, 1982.