

## 소수주형 강교량의 용접 및 품질

경갑수·권순철

### Welding and Quality Control for Rationalized Plate Girder Bridges

Kab Soo Kyung and Soon Chol Kwon

#### 1. 서론

최근 사회기반시설의 건설에 있어서도 국가 재원의 효율적인 사용을 위해 보다 강도 높은 경제성이 요구되고 있다. 이러한 추세에 발 맞추어 강교량 건설에서도 설계·제작·가설·유지관리에서의 효율성을 고려하는 합리화 강교량이 다양하게 제안되어 사회 인프라구조물로서 건설되고 있다. 따라서 합리화 강교량 건설을 위해서는 각 구성요소별로 최근의 신기술, 기술개발이나 합리적인 이론 등을 적용하는 것이 필요하므로 강교량의 제작공정에서도 새로운 기술요소의 도입은 불가결하리라고 생각한다.

이러한 시대적 요구에 대응하기 위하여 최근 강교량에서도 합리화 강교량으로 주목을 받고 있는 것이 소수주형 형식의 플레이트거더교이다. 이 형식의 대표적인 교량이 2주형 형식의 플레이트거더교이다. 국내 고속도로에 적용된 대표적인 2주형 교량의 사례를 그림 1에 나타낸다.

이러한 형식의 2주형교량은 이미 대구-포항고속도로 등의 몇 개의 강도로교 및 경부선 고속철도 강철도교량에 적용 실적을 갖고 있다. 이 가운데 경부선 고속철도의 경우는 주형 이음에 FCAW에 의한 현장용접이 적용되었다. 국내의 기술적인 요인을 고려하여 품질을 확보할 수 있는 FCAW를 적용하였으나, 입열량 제한으로 인하여 극후판 용접에 다수의 용접패스가 필요하여 현장용접에 많은 시간이 소요되었다. 현장용접이음의 구조상세로는 사진 1에 나타낸 것과 같이 기존 박스거더의 이음형식과 같은 이음상세가 적용되었다. 이러한 현실을 고려하면 향후 소수주형교의 현장용접에는 대입열 등의 고능률의 용접방법 및 피로강도가 높은 구조상세를 적용하는 등의 연구가 필요할 것으로 생각한다.

그러나 이러한 2주형교의 제작 및 현장의 용접 방법과 이음방식은 용접기술 및 용접조건 등에 크게 영향을

받으므로 강교량 합리화를 위해서는 이들에 대한 검토를 실시하는 것도 합리화의 중요한 요소로 생각된다. 따라서 본 기고에서는 이러한 것을 고려하여 2주형교량의 제작 및 가설에 관련된 용접 및 검사기준에 대한 국내·외의 동향에 대해 기술하고자 한다.

#### 2. 소수주형교의 용접

##### 2.1 공장용접

국내·외의 표준적인 플레이트거더의 I형 조립용접의 각장은 최대 9mm정도이나, 소수거더에서는 후판(평균적으로 두께 40~80mm정도)을 사용하기 때문에 15mm정도가 된다. 이 경우 기존에 사용한 SAW로 시

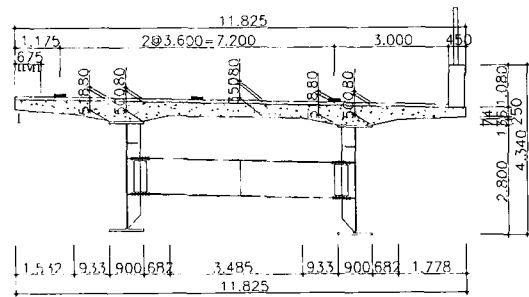


그림 1 국내 고속도로의 2주형교량의 사례



사진 1 경부선 고속철도 2주형 강교량 현장용접 사례

공하는 경우 부재를 경사지게 하여 아래보기 자세로 용접을 실시하여야 하므로 양쪽 플랜지를 동시에 용접할 수 없게 되어 제작 시간이 많이 필요하다. 이 문제를 해결하기 위하여 일본에서는 그림 2와 같이 각장 7~15mm를 수평자세의 1회 주행으로 용접할 수 있는 플레이트 거더용 대각장 필렛용접장치를 개발하였다.

주요특징은 다음과 같다.

2.1.1 용접선 자동조정

종래의 부재정렬방법으로는 부재 변형에 의해 용접토치의 목표위치가 어긋나거나 곡선거더에 적용할 수 없는 문제가 있었던 바, 이를 해결하기 위해 그림 3과 같은 고속회전아크(hyper-arc)를 채용하였다. 이 용접은 모터에 의해 전극을 고속회전(회전수 : 50Hz~100Hz) 시키면서 용접하는 방법이다.

(가) 센싱능력의 향상

고속아크를 회전시키는 것에 의해 일반적인 weaving의 아크 센서에 비하여 아크 센싱 정보가 크게 증가하기 때문에 용접선 추적 능력이 향상되었다.

(나) 비드형상개선

아크고속회전에 의해 아크 입열, 아크 힘이 분산되므

로 고속용접에서의 일반적인 Z선비드에 비해 언더컷, 오버랩 등의 비드형상이 개선된다.

2.1.2 대각장의 1회 주행 용접

3전극 토치기구를 사용하여 수평자세로 각장 15mm를 1회 주행으로 시공할 수 있는 시스템을 구축하였다.

(가) 3전극토치기구

3전극 토치기구는 hyper-arc torch(2전극), 스트레이트형 토치(1전극) 및 토치각도, 목표위치조정기능을 갖는 토치 브라켓으로 구성되어 있는데, 토치는 다음과 같다.

① 선행극토치

와이어 직경  $\phi 3\text{mm}$ , 회전수 50Hz로 고속회전하는 hyper torch로 hyper-arc sensing에 의해 용접선을 자동조정한다.

② 중간극 토치

와이어 직경  $\phi 5\text{mm}$ , 회전수 2Hz로 저속회전하는 hyper torch로 고용착성을 가지며, 하부 각장을 확보한다.

③ 후행극토치

스트레이트형 토치로 스트레이트용접을 하며, 상부 각장을 확보한다.

(나) 적층패턴

표 1에 SM490, SM570 및 내후성강재에 대해 7mm~15mm의 각 각장을 적층하는 방법을 나타내었다. 적층패턴의 특징은 다음과 같다.

① 1전극시공

각장 7mm를 시공하는 경우, 선행극 토치로 hyper-arc용접에 의해 1전극으로 시공한다.

② 2전극시공

SM490 강재 및 내후성강재를 각장 8mm~10mm, 또는 SM570강재를 각장 8mm로 시공하는 경우, 선행극토치와 중간극토치를 이용하여 2전극으로 시공한다. 선행토치가 아크센싱을 하면서 초층을 용접하고, 중간토치가 초층을 덮어 가면서 2층제를 용접한다.

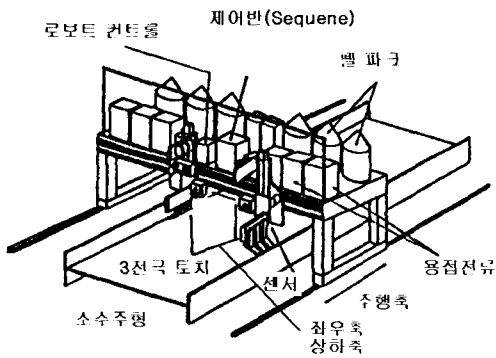


그림 2 플레이트거더 대각장 용접장치 개념도

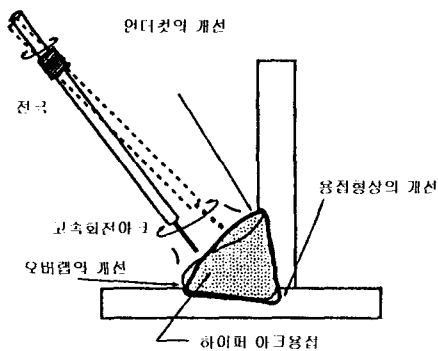


그림 3 하이퍼 아크 용접의 비드형상의 개선

표 1 3pole SAW의 적층방식

각장(mm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15
내후성강재	1전극	2전극시공		3전극시공					
SM490강재	1전극	2전극시공		3전극시공					
SM570강재	1전극	2전극	3전극시공						

③ 3전극시공

SM490강재 및 내후성강재를 각장 11mm~15mm로 시공하는 경우는 선행극, 중간극 및 후행극 토치를 사용하여 3전극으로 시공한다. 선행극 토치가 아크센싱을 실시하면서 초층을 용접하고, 다음에 중간극토치가 하부각장을 오버랩 없이 매끄럽게 용접하고 마지막으로 후행극토치가 상부각장을 언더컷이 없도록 용접하여 비드를 형성한다.

(다) 용접재료

기존의 용접재료를 고전류로 3전극용접하는 경우, 플럭스 그을음, 슬래그 그을음이 발생하며, 또 프라이머 강판에서는 내피트성의 향상이 요구된다. 이것을 위하여 첨가제성분량(Si, Mn 등)을 조정하는 것에 의해 스패터, 슬래그량, 슬래그박리성 및 점성 등의 개선도 도모하였다.

2.2 현장 용접

합리화 강교량의 대표적 형식인 소수주형교량의 경우는 1단면 1이음이 적용되므로 현장용접이 다수 적용되고 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

2.2.1 현장용접 시공사례

여기서는 소수주형교의 가설에서 적용된 일본의 현장용접 사례를 소개한다.

(1) 東海大府高架橋의 시공사례

東海大府高架橋의 표준단면은 구조적 특성을 고려하여 I-형의 극후판의 대단면을 사용하였으며, 부재간의 이음은 점접판이나 장대볼트 및 공사공수의 생략, 교량미관 등을 고려하여 전단면 용접이음을 채택하였다. 극후판 대단면의 단면특성으로 수송중량의 제한때문에 1블럭의 길이가 제한되므로 효율성 측면에서 주형단면과 주형단면 사이를 현지에서 조립, 용접이음한 후에 대블럭 가설을 실시하였다. 이와 같이 가설된 대블럭을 동일방법에 의한 현장용접에 의해 교축방향으로 연결시켜 하나의 주형으로 완성하였다. 주형단면의 용접에는 많은 신기술이 채용되었는데, 그 내용은 다음과 같다.

극후판의 상·하플랜지의 용접에는 로봇에 의한 MAG 및 CO<sub>2</sub> 용접, 복부판 용접에는 일렉트로가스용접 또는 종방향의 자동 CO<sub>2</sub> 용접이 사용되었다. 일렉트로가스아크용접의 경우에는 대입열의 용접이 실시되므로 대입열 용접에 적합한 대입열 용접강판을 개발, 사용하였다. 또한, 용접의 품질관리로서 자동 및 수동초음파탐상시스템을 도입하여 고품질의 강교량을 제작하도록 하였

다. 이 초음파탐상시험에 대한 결과사례는 참고문헌 등을 참조하기 바란다. 또, 사진 1에 나타난 것과 같이 하부플랜지와 복부판 교차부의 용접시공용의 스켈럽에 대한 피로강도확인시험 및 실교량에 대한 재하시험을 실시하고 피로강도향상방안으로 스켈럽 용접지단부를 그라인더 처리하도록 하는 등의 방안을 강구하였다.

2.2.2 F鳥の澤(Chidorinozawa)교의 시공사례

F鳥の澤교는 PSC바닥판을 갖는 2거더교 구조형식의 도로교로 총연장 194m의 일본최초의 4경간 연속함성형교량이다. 설계시에는 PRC바닥판, 강연속합성거더, 거더복부판의 소수화된 보강박판화 및 송출가설 등에 대해 검토된 교량이다. 여기서는 이러한 검토사항 가운데 본 연구와 관련성이 있는 부분에 대해서만 기술한다.

본 교량의 주형이음위치의 플랜지 최대 판 두께가 38mm로 종래의 다수 거더교과 비교하여 후판화가 되어 고장력볼트를 적용하는 경우 볼트 수가 현저하게 증가하며 또 이음판이 대형화되기 때문에 그림 4와 같은 현장용접이음구조가 채용되었다. 또 A1축의 지조립야드에서 강재 주형을 순차 조립하여 연결하는 것이 가능하고, 주형의 삽입가설이 없으므로 플랜지와 복부판의 용접선을 100mm이동시켜서 이음선이 동일선에 배치되지 않도록 하였다. 또, 스켈럽을 설치하지 않으므로 피로강도측면에서 우수한 Z형의 전단면용접구조를 채용하였다. 이 Z용접에 대해서는 뒤에서 다시 상세하게 설명하도록 한다. 그리고, 하부플랜지는 상향자세에 의한 현장용접으로 하고, 불연속부를 제거한 MAG자동용접으로 시공하였다.

용접시공의 특징과 재료 등의 사양은 표 2와 같다. 용접부의 검사방법은 향후 플랜지의 후판화가 예상되고, X선에 의한 검사방법으로는 결함검출에 한계가 있는 것을 고려하여 초음파탐상검사를 실시하였다. 단, 초음파탐상검사는 검사결과의 재현성이 열악한 것이 지적되어 이러한 점을 개선한 탐상조작, 탐상결과가 자동으로 조작, 기록될 수 있는 자동초음파탐상검사(AUT)를 채용하였다. 조사 결과, 검사수(25cm/개소) 576개

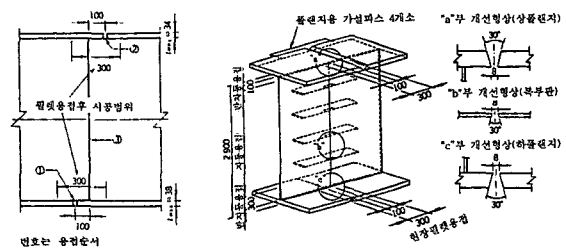


그림 4 F鳥の澤천교의 현장용접이음구조

표 2 현장용접의 특징 및 사양

기술적 특징		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 플랜지와 복부판의 용접선을 100mm이동시키는 것에 의해 이음이 동일선상에 배치되는 것을 회피하고, 피로강도에 대해 보다 우수한 구조로 하였다.</li> <li>• 본 교량의 가설은 송출공법을 채용하여 주형을 편측에서 지지하여 실시하는 것에 의해 Z형태의 이음적용을 채택하였다.</li> <li>• 플랜지와 복부판의 교차부 용접은 전자세용접을 채용하고, 플랜지의 초층용접은 복부판과의 교차부를 직접 용접하는 것에 의해 복부판 스캐립을 제거하였다.</li> <li>• 복부판의 용접은 플랜지의 교점에서 상측 100mm, 하측 300mm의 범위는 반자동용접을 실시하였다.</li> <li>• 플랜지, 복부판의 필렛용접 300mm의 범위는 플랜지, 복부판의 맞대기용접완료후 현장용접으로 실시하였다.</li> <li>• 내후성강재용 혼합가스용 플럭스혼입 와이어를 사용하였다.</li> </ul>		
용접방법설비명	사양(SMA58W)	비 고
와이어	하향용 MGW588 $\phi$ 1.2 솔리드	코베제강
	수직용 SD-CR58A $\phi$ 1.2 FCW	스미토모용접공
	상향용 SD-CR58A $\phi$ 1.2 FCW	스미토모용접공
실드 가스	하향용 Ar(80%) + CO <sub>2</sub> (20%)	프리믹스용기
	수직용 Ar(80%) + CO <sub>2</sub> (20%)	프리믹스용기
	상향용 Ar(80%) + CO <sub>2</sub> (20%)	프리믹스용기
뒷 댄 재 (전자세용)	SB-41 KC-2, KC-3	일본용접공 가와사키중공업
용 접 기	PICOMAX II (AUTO)	코베제강
용접전원	다이나 AUTO 500	오오사카변압기
예열장치	마이크히터 120B $\times$ 5t $\times$ 400L	신코우전기

표 3 검사결과와 내용

검출레벨평가	무결함합격	합격결함	합계 (검사대상수)
L선 이상	574개소	2개소	576개소
L/2선 이상	557개소	19개소	576개소

소에 대해서 합격률은 100%였다. 검사결과는 표 3과 같다.

2.2.2 전단면 현장용접 Z이음의 합리적인 방법

(1) 개요

강구조물 취성파괴의 발생원인으로 온도에 의한 영향 이외에 ① 인장응력장 ② 노치 ③ 인성부족을 들 수 있다. 잘 알려져 있는 것과 같이 용접부에는 인장잔류응력, 스캐립 또는 용접결함, 열에 의한 재질열화 등에 의해 ①~③에 상당하는 취성파괴를 발생시키는 3가지 요인이 잠재할 가능성이 있다. 강교량의 공장용접에서는 단면변화위치에서의 플랜지와 복부 상호간의 판 이음 용접선 또는 판 이음 용접선과 수직보강재 설치위치 등에서 용접선 중첩을 피해 이음 품질을 향상시키기 위

한 고려가 이루어지고 있다.

강교량의 주거더 현장용접부의 이음상세에서도 용접 이음의 인성향상의 관점에서는 단면을 직선이음이 아닌 상하 플랜지와 복부의 용접선을 서로 달리한 소위 Z이음이 바람직하다. 그러나 현장에서는 입체적인 부재의 맞대기용접이 되므로 구조가 복잡할수록 조립정도가 약간 저하할 가능성이 있다. 삽입부재가 필요한 경우와 같이 가설조건, 가설순서의 제약이 있는 등의 현장 특유의 유의사항이 있으므로 주거더 현장용접부에 Z이음을 채용한 사례는 많지 않다.

일본철도건설공단의 阿佐線 物部川교량(4경간연속합성 2거더 플레이트거더 2연으로 구성된 도상식 철도교, 교량 길이 188.0m 및 189.5m, 지간 길이 46.4~47.5m, 거더 높이 2.7m)의 주거더 현장이음은 전단면 현장용접이음을 채용하고 있다. 본 교량의 가설은 밴트 위의 가설 스테이지에서 거더를 조립한 후, 현장용접을 실시하고 송출공법을 채용하고 있다. 따라서, 주거더 현장용접부의 이음 상세에 관한 가설상의 큰 제약이 없어 상하 플랜지와 복부의 용접선을 각각 100mm 어긋나게 하는 Z이음을 채용하였다. 이 Z이음은 피로내구성을 고려하여 복부에는 스캐립을 설치하지 않은 이음구조이다.

여기서는 교량에서 채용한 스캐립을 채용하지 않은 전단면 현장용접 Z이음의 특징에 대하여 기술한다.

(2) 현장용접 직선이음의 문제점

주거더 현장용접부에 직선이음을 적용하는 경우, 그림 5에 나타난 것과 같이 용접의 작업성 또는 용접선 교차를 피해 그 부위의 품질 확보를 위해 복부에 스캐립을 설치하는 경우가 많다. 그러나 스캐립을 갖는 용접이음은 단면결손 및 응력 흐름의 불균일화에 의해 국부적인 응력집중을 유발시켜 피로강도가 낮은 이음구조가 된다. 철도구조물 등 설계표준에서는 「스캐립을 갖

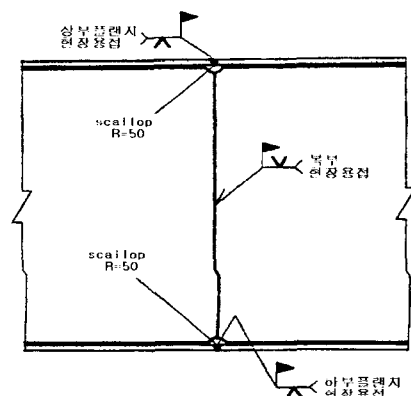


그림 5 현장용접 직선이음의 일례

는 종방향이음을 갖는 모재」의 피로강도등급을 G등급 (200만회 기본피로응력범위:50N/mm<sup>2</sup>)으로 하고 있다. 기존연구에 의하면 전단응력과 휨응력이 동시에 작용하는 부위에서는 G등급보다 낮은 경우도 있는 것으로 보고되고 있다.

그림 6은 맞대기이음 65종류(판 두께 13~100mm)에 대해 모재와 용접금속부의 샤프트흡수에너지의 상관관계를 정리한 것이다. 일반적으로 용접이음은 모재의 규격치 이상의 기계적성질이 요구되고 있다. 본 그림에 나타난 것과 같이 모든 용접금속에 대해서도 모재의 규격치(SM490YB, SM520B:0°C 27J이상, SM520C, SM570Q:-5°C 47J이상)를 상회하는 샤프트충격흡수 에너지가 얻어져 있다. 그러나, 모재가 갖는 샤프트충격흡수에너지는 규격치보다 훨씬 높으나, 용접금속은 모재의 1/4~3/4에 지나지 않는다. 용접금속의 샤프트충격흡수에너지가 모재와 같거나 또는 약간 상회하고 있는 것은 65개의 이음 중 4개(6.1%)이다.

현장 용접이음에 대한 설계요구는 ① 피로강도 등급이 높고, 합리적인 설계가 가능할 것 ② 구조체로서 약점이 되지 않고 충분한 내력을 기대할 수 있어야 한다. 스켈럽을 갖는 직선이음은 스켈럽에 의한 구조적인 불연속과 재료인성의 불연속적인 문제점이 있다. 상부플랜지와 복부를 어긋나게 하는 Z이음은 용접에 의해 발생할 가능성이 있는 결함의 중첩을 피해 이음의 건전성을 높게 할 뿐만 아니라 강재 자체의 고인성을 이용한 crack arrest(균열정지)가 형성되어 이음의 극한강도 향상에 기여할 것으로 생각된다.

(3) 이음의 적용사례

강교량 현장에서의 부재 연결법은 리벳이음, 용접이음 및 볼트이음으로 분류할 수 있다. Z이음은 직선이음에 앞서서 일본에서 강교량 제작프로세스에 용접이 본격적으로 도입된 직후인 1950년대에 현장용접 시공방

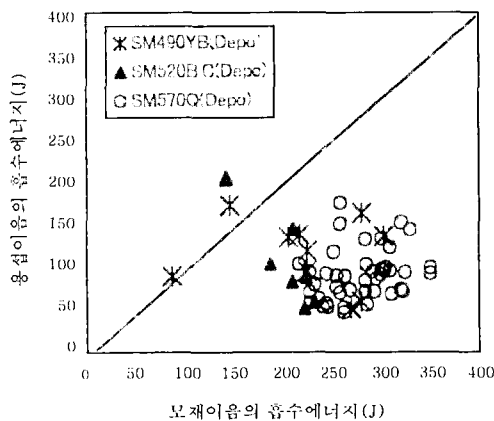
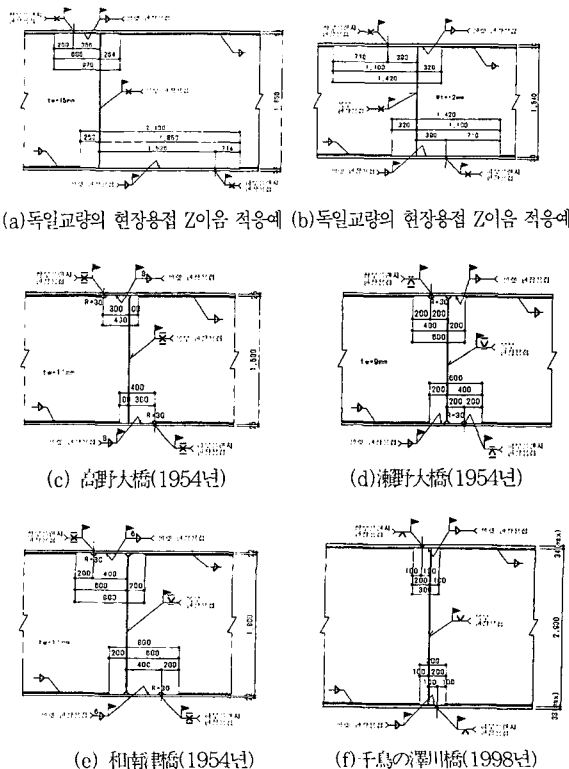


그림 6 모재와 용접금속부의 샤프트흡수에너지

법으로 채용되었다.

그림 7 (a), (b)는 당시 독일에서 채용된 22개소의 현장용접 이음사례를 소개한 것이다. 이들 이음의 특징은 플랜지와 복부의 접합용접의 현장용접구간(자유필릿길이)을 상당히 길게(870~2100mm)채용하고 있는 것이다. 기존연구에 의하면 공장에서 시공한 구속이 적은 맞대기 용접이음성능과 동등하기 위한 현장용접시공 조건의 고려사항의 하나로 적절한 자유필릿길이를 갖게 하는 것을 지적하고 있다.

그림 7 (c)~(e)는 1954년경 실제로 일본에서 시공된 Z이음의 사례를 나타낸 것이다. 이들은 앞에서 나타낸 독일에서 적용된 현장용접이음형상의 영향을 받은 것으로 보인다. 모든 사례에서 플랜지와 복부의 맞대기 용접선에서 200~400mm정도 떨어져서 자유필릿길이를 400~800mm로 한 Z이음을 채용하고 있다. 또, 플랜지 용접부의 후면 가우징과 용접시공을 고려하여 복부에는 스켈럽(R=30mm정도)을 설치하고 있다. 그림 (c)의 高野大橋 및 (e)의 和南津橋에서는 회전지그를 이용하지 않은 상태에서 전자제(플랜지 표면 : 하향, 플랜지 뒷면:상향, 복부 :입향)의 용접을 실시하였다. 또, 기존연구에 의하면 瀬野大橋의 현장용접시공시에는 복부의 용접수축에 의해 먼저 용접된 플랜지에 슛음이 발생하여, 플랜지와 복부의 필릿용접부에 루트갭이 최대 4.5mm가 발생된 것으로 보고되어 시공 상의 주의



(a)독일교량의 현장용접 Z이음 적용예 (b)독일교량의 현장용접 Z이음 적용예

(c) 高野大橋(1954년)

(d) 瀬野大橋(1954년)

(e) 和南津橋(1954년)

(f) 千鳥の淵川橋(1998년)

그림 7 현장용접 Z이음의 적용사례

를 환기시켰다.

이후, 현장용접의 이음상세는 Z이음으로부터 앞에서 기술한 직선이음으로 이행되어 현재에 이르고 있으나, 최근 千鳥の澤川橋(일본도로공단)에서 다시 현장용접으로 Z이음이 채용되었다. 그림 7 (f)는 千鳥の澤川橋의 현장용접 Z이음형상을 나타낸 것으로 플랜지와 복부의 맞대기용접선을 100mm 떨어뜨리고, 자유 필렛길이를 300mm로 하였다. 이 이음의 특징은 하부플랜지를 상향 MAG자동용접으로 하여 스킨을 제거한 것이다.

(4) 제안 Z이음 구조상세

그림 8은 物部川橋梁에 채용된 현장용접Z이음의 구조상세이다. 본 이음은 설계의 요구를 고려하는 동시에 무리한 시공이 되지 않도록 고려되었다. 이하에 Z이음의 구조적인 특징과 용접시공상의 유의점을 정리하였다.

(가) 스킨이 없는 이음구조상세

주거터의 현장용접부에서는 용접선 교차를 피하는 것과 함께 용접시공의 작업성 향상을 도모하는 것을 목적으로 플랜지 용접선 바로 위(하부)의 복부에 스킨을 설치하는 경우가 많다. 그러나 앞에서 기술한 것과 같이 스킨을 갖는 용접이음은 피로강도가 낮은 이음구조가 된다. 이 경우 피로강도 개선책으로 ① 스킨 돌림용접 지단부를 그라인더로 다듬질 하는 방법 ② 전단면 용접완료 후, 스킨을 동일한 강재를 사용하여 완전용입용접으로 메꾸는 방법(Patch 방식) 등을 들 수 있다.

物部川橋梁 주거터의 현장용접부에서는 Z이음을 채용하는 것과 함께 다음과 같은 시공방법을 연구하여 스킨이 없는 이음구조를 실현시켰다. 또, 하부플랜지의 맞대기용접에는 용접시공의 견실성 및 시공능률을 고려하여 용접자세로서 가장 표준적인 하향용접을 채용하였다.

- ① 상부플랜지 용접이음에 사용되는 뒀땜재는 복부위치에서 분할하여 설치한다. 뒀땜재의 단부는 복부와의

밀착도를 향상시키기 위해 복부 필릿용접부의 개선 각도(bevel형 50°)에 맞추어서 그라인더로 다듬질 한다.

- ② 하부플랜지 용접이음에서는 복부를 사이에 두고 작업자 2인을 배치하고, 좌우 위빙의 하향 CO<sub>2</sub>반자동 용접을 실시하는 방법을 채용하였다. 용접시공 상의 포인트는 복부 바로 아래를 용접시점부로 하고 최초에 아크를 발생시킨 작업자의 용접금속이 응고하기 이전에 다른 1사람의 작업자가 용접을 개시하여 두 사람이 타이밍을 도모하면서 용접금속을 확실하게 용융시키는 것이다. 하부 플랜지 용접선 바로 위 복부의 개구부는 작업자 2인에 의한 연계용접을 실시하는데 필요한 최소 사이즈(높이 5mm, 폭 100mm의 Slit)로 하고 플랜지와 복부의 필릿용접 시에 메꾸는 것이 가능한 구조상세로 하였다.

(나) 현장이음근방의 플랜지·복부의 필릿용접

본 교량에서는 그림 8에 나타낸 것과 같이 현장용접 구간(200mm) 및 공장용접범위의 부재단부의 점차적인 변화부분에 대한 일부분(70mm)의 플랜지 및 복부의 필릿용접은 bevel형의 개선가공을 실시하여 완전용입용접으로 하였다. 현장용접근방의 필릿용접을 완전용입용접으로 하면 다음과 같은 이점이 있다.

- ① 상부플랜지 현장용접이음에 관해서 복부 스킨을 설치하지 않고 뒀땜재를 분할하는 방법을 적용하는 경우, 복부 단부면의 일부가 뒀땜재 역할을 하기 때문에 상부플랜지 백 비드와 국부적으로 용착된다. 사진 1은 복부 단부면과 상부플랜지 백비드의 용접부에 착안하여 복부판 두께 중앙에서 절취하여 촬영한 Macro사진이다. 사진 2 (a)는 플랜지와 복부에 1mm의 갭을 두고, 플랜지 맞대기 용접부의 개선내부를 초층만 용접하고, 필릿용접으로 시공한 경우이다. 여기서 나타낸 것과 같이 플랜지와 복부에 갭이 있는 경우, 주거터의 응력직각방향에 위치하는 플랜지 초층의 백비드 용착부 지단이 매끄럽게 되지 않는 경우도 있으므로 응력집중의 요인이 되는 것을 예측 할 수 있다. 사진 2 (b)는 플랜지 맞대

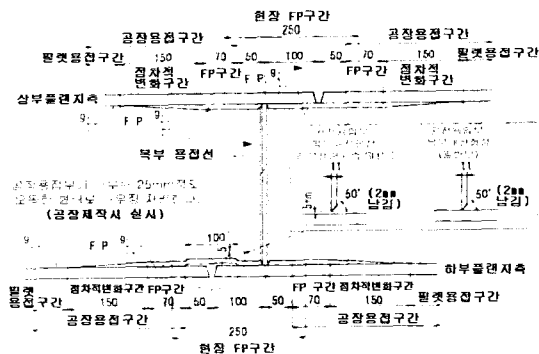
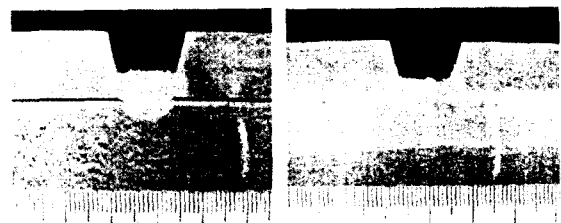


그림 8 현장용접 Z이음의 구조상세



(a) 필릿용접 갭 1mm (b) 완전용입용접

사진 2 상부플랜지 현장용접이음부의 접합용접 Macro사진

기용접부의 개선내부를 초층만 용접하고 플랜지와 복부의 용접을 완전용입용접으로 한 것이다. 이와 같은 시공에 의해 응력전달의 불연속부를 피할 수 있다.

- ② 하부플랜지의 현장용접이음에 하향 CO<sub>2</sub> 반자동용접을 적용하는 경우, 플랜지와 복부와의 접합용접의 완전용입용접시공을 위해 설치한 복부의 bevel형 개선(개선각도 50°)에 의해 토치 움직임이 향상된다. 이것에 의해 보다 작은 복부의 개구부(slit 높이 5mm)에서도 작업성을 저해하지 않고 복부 바로 아래의 용접선을 연결하는 것이 가능하다.
- ③ 스캘럽이 없는 Z이음을 갖는 주거더의 부재 단부의 플랜지와 복부와의 접합용접은 돌림용접을 실시할 수 없기 때문에 필릿용접 상태로 야드에서의 임시 설치나 운송시에는 플랜지와 복부와의 접합용접부에 물이 들어 갈 가능성이 있다. 공장시공 시에 부재의 플랜지와 복부와의 접합용접 단부를 필릿용접에서 완전용입용접으로 점차적으로 변화시키는 것에 의해 방수대책에 대해 만전을 기울일 수 있다.
- ④ 주거더 부재 상호의 치수오차 또는 가설시의 조립오차의 누적에 의해 현장에서 플랜지와 복부의 갭 정도를 만족시킬 수 없는 경우가 발생할 수도 있다. 현장시공부의 플랜지와 복부와의 접합용접을 완전용입용접으로 하는 것에 의해 갭 부정에 영향을 받지 않는 건전한 용접시공이 가능하다.

### 3. 현장용접이음부의 비파괴검사 사례

#### (1) 개요

소수주형의 강교는 플랜지에 최대 판두께가 100mm에 가까운 강재를 사용하므로 용접내부의 비파괴검사에서 종래에 사용된 방사선투과시험을 적용한 경우에는 신뢰성을 갖는 탐상결과를 얻는 것이 곤란하다. 그러므로, 판두께가 두껍게 되어도 탐상이 가능하고, 기록성을 갖는 자동초음파탐상시험이 용접내부의 비파괴검사로써 채용되고 있으나 반드시 탐상결과의 신뢰성을 100%보증할 수 있다고는 할 수 없다. 이 때문에 검사에서는 수동초음파탐상시험을 병용하며, 검사를 실시하고 있다. 그러나 이와 같이 2종류의 검사방법을 병용하면 검사방법이 번잡하게 되며, 공정상 용접부 검사가 임계공정이 될 것으로 예상된다. 그래서 흠 및 결함발생 위치를 사전에 예측하여 탐상영역을 좁혀서 검사를 실시하면 자동초음파탐상시험의 검사결과에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 것에 착안하여 주형의 현장 맞대기이음 용접부의 흠 및 결함 발생분포를 실제 교량에서의 검사결과에 기초하여 정리

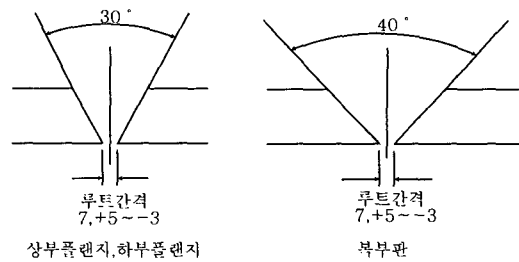


그림 9 각 부위의 용접개선형상

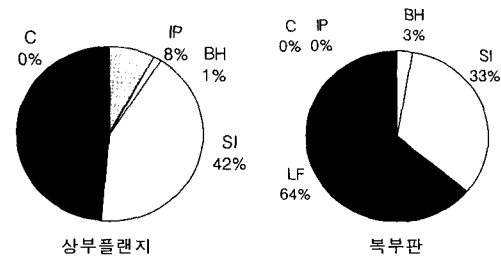


그림 10 부위별 흠종류의 발생률

하면 다음과 같다.

#### (2) 용접의 개요

검사 대상이 된 교량의 상·하플랜지는 22~75mm, 복부판은 12~22mm의 판두께로 구성되었고, 부재간의 판두께는 이음부에 테이퍼를 설치하였으며, 복부판과 플랜지의 교차부에는 복부판에 R50의 스캘럽을 설치하였다. 상·하플랜지는 반자동 CO<sub>2</sub> 용접에 의한 하향용접, 또 복부판은 일렉트로가스아크용접이 의한 수직상향용접과 일부에 반자동 CO<sub>2</sub> 용접으로 실시하였다. 각 부위의 용접개선형상은 그림 9와 같다.

#### (3) 조사방법

용접부 검사는 자동초음파탐상시험에 의해 흠검출을 위한 1차탐상을 실시한 후, 흠의 합부판정을 위해 수동초음파탐상시험에 의해 상세한 2차탐상을 실시하였다. 여기서는, 수동초음파탐상시험에 의한 탐상결과를 사용하여 흠 및 결함의 정리를 실시하였다. 흠의 합부판정에서 갈라짐균열은 지시길이에 관계없이 불합격으로 하고, 갈라짐균열이외의 결함은 수동초음파탐상시험의 에코 높이와 지시길이에 따라 1차판정을 실시하였다. 또, 1차판정에서 합격으로 분류된 흠은 흠의 개선내의 위치와 에코높이를 이용하여 면상결함과 입체결함으로 추정 분류하고, 그 가운데 면상흠에 대해서 에코높이에 의한 합격여부의 2차판정을 실시하였다.

#### (4) 조사결과

수동초음파탐상시험에 의해 흠의 종류를 추정하고 그

종류별의 발생비를 부위별로 정리한 결과를 그림 10에 나타냈다. 상·하플랜지에 발생한 흠의 90% 이상은 융합불량(LF)과 슬래그혼입(SI)이며, 용입부족(IP)나 블로우홀(BH)이 약간 발생하였다. 또, 복부판도 상·하플랜지와 마찬가지로 융합불량과 슬래그혼입이 대부분을 차지하였으나 용입부족의 발생은 없었으며 블로우홀만이 약간 발생하였다.

다음에 개선내의 흠 및 결함의 발생분포로서 다층덧살용접한 하플랜지에 대한 분포를 판두께별로 정리한 결과를 그림 11에 나타냈다. 전반적으로 초음파탐상시험에 의한 검출이 어려운 것으로 생각되는 저면에서 5mm정도까지의 백비드용접근방에서의 결함발생이 중간부에 비해 적으나 발생한 흠은 결함으로 판정된 것이 많았다. 유해한 결함의 하나인 갈라짐균열의 발생은 판두께가 30mm보다 얇은 판두께에서 용접부 초층부근의 1개소에서만 발생하였다. 또 융합불량은 판두께가 30mm보다도 얇은 경우, 용접패스간에서는 발생하지 않고 모재와 용접금속간에서 발생하였으나 판두께가 증가하면 용접패스간의 융합불량의 발생이 보였다. 슬래그혼입은 융합불량과 마찬가지로 박판에서는 모재와 용접금속간에서 발생하였고, 판두께가 증가함에 따라 패스간에서의 발생이 많아졌다. 또, 슬래그 혼입의 발생깊이는 판두께에 관계없이 개선깊이의 중앙부 부근에 많았다. 또, 용입부족은 얇은판에서 많이 발생하였고, 후판에서는 약간만 발생하였다.

결함으로 판정된 흠은 모재와 용접금속간의 융합불량이 대부분을 차지하였다. 또, 용입부족으로 추정된 흠은 결함으로 판정되었다.

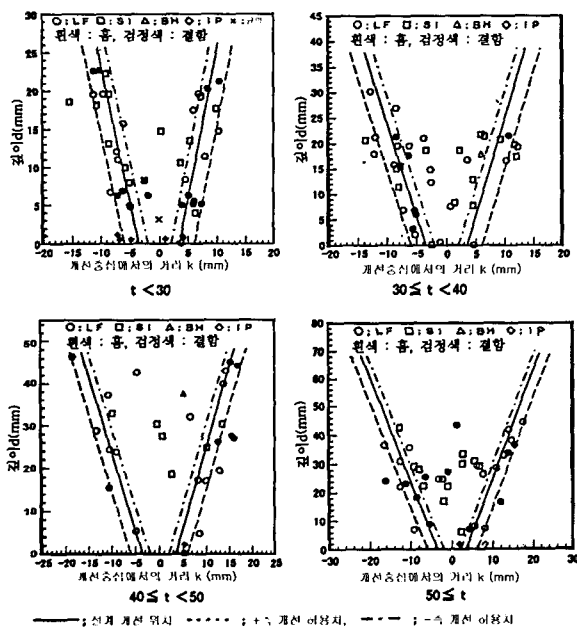


그림 11 하부플랜지 개선부내의 흠 및 결함의 분포

#### 4. 현장용접부의 피로강도 향상을 고려한 구조상세

이음부 설계시 현장용접의 적용 여부는 일반적으로 다음의 항목을 검토하여 종합적으로 판단한다.

- 용접부를 무응력, 정지상태에서의 시공 가능할 것
- 소정 공기내에 용접을 종료할 수 있을 것
- 시공성 및 환경상태에서 문제가 없을 것
- 작업자 및 제3자에게 안전상 문제가 없을 것

현장용접부는 앞에서 기술한 것과 같이 적용 구조상세에 따라 피로강도가 달라지며, 또 용접부에서 발생하는 결함에도 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이러한 용접용접부의 피로강도향상을 위하여 최근 일본에서 현장용접에서 적용할 수 있는 몇 가지 구조상세에 대해 실시된 피로시험에 대하여 기술한다.

##### (1) 피로시험

현장용접부의 피로강도 향상을 위해 시험에 적용된 시험체는 그림 12와 같다.

그림 12의 시험체에 적용된 현장용접부의 구조상세를 상세하게 나타내면 그림 13과 같다. 피로시험의 결과 및 발생한 피로균열의 일례를 그림 14에 나타내었다.

그림 14에 나타낸 것과 같이 기존의 스캘럽을 갖는

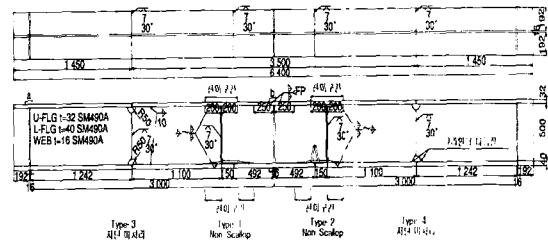


그림 12 피로시험체

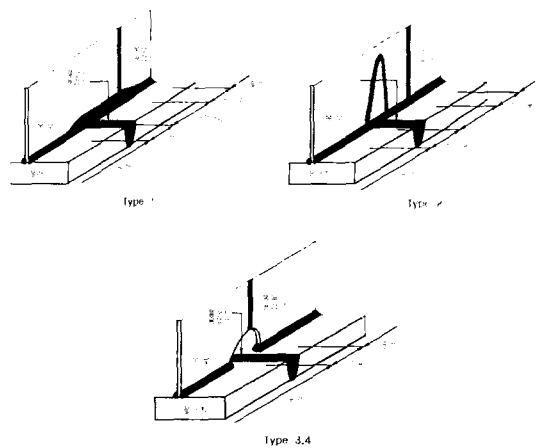
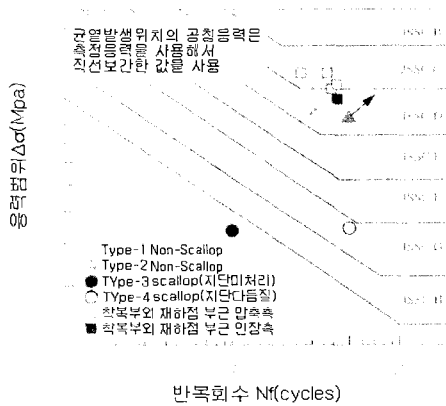


그림 13 현장용접 구조상세





Non-Scallop 구간부의 피로파면  
그림 14 피로시험결과 및 피로균열의 일례

구조상세에 비하여 용접시공 후, 스칼립을 용접으로 메우는 구조상세가 피로강도가 향상되는 것을 나타내고 있다. 이로부터 가능한 스칼립을 없애는 구조상세가 피로강도가 높은 것을 알 수 있다.

### 5. 맺 음 말

본 기고에서는 강교량 경쟁력 향상의 일환으로 국내에서도 적용이 확대되고 있는 합리화 소수주형교의 용접 및 품질을 위한 국내·외의 자료를 검토 정리하였으나, 국내의 경우는 아직 충분한 자료가 제공되지 않아 상세한 설명이 이루어지지 않은 부분도 있으므로 향후 이부분에 대해서는 기회가 되면 다시 자료를 제공하고 자 한다.

강교량의 경쟁력 강화를 위해서는 가능한 제작 및 가설에서의 공수를 저감하는 등의 방안을 강구하는 것이 하나의 좋은 방안으로 생각할 수 있으므로 향후 이 부분에 대한 국내의 연구가 더욱 활성화되기를 바라며 본 자료가 소수주형교의 품질 및 경쟁력 향상 등에 도움이 되기를 바란다.

### 참 고 문 헌

1. 日本橋梁建設協會, 新しい鋼橋., (社)日本橋梁建設協會, 1999.8
2. 日本鋼構造協會, 合理化girderに關するデザインマニュアル, (社)日本鋼構造協會, 2000.3
3. 포항산업과학연구원, 경쟁력 향상 도로용 소수주형 판형교, 2001.12
4. 포항산업과학연구원, 설계·제작·가설·유지관리에의 합리화 시스템을 도입한 강교량 개발에 관한 연구, 2003.5



- 경갑수(慶甲秀)
- 1962년생
- 한국해양대학교, 토목환경시스템공학부
- 교량공학, 강구조물 피로파괴
- e-mail : kyunks@hhu.ac.kr



- 권순철(權純徹)
- 1975년생
- 한국해양대학교, 토목환경시스템공학부
- 토목공학
- e-mail : almight75@naver.com