[2차 개정판]

HR 플레이트의 교량 적용 가이드

Guidelines for the Use of HR Plate in Bridges



2024년 11월

사단법인 한국강구조학회
KOREAN SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION

(2차 개정판) 발간사

강교와 관련된 주변 환경은 요동치듯 많이 변해 왔습니다. 해외 시장과 조선업계의 상황 등에 따라 강재 공급 여건은 수시로 변했고, 이에 따라 강교 제작사는 필수적인 후판 소요물량 확보에 많은 어려움을 겪어왔습니다. 이러한 상황 속에서 교량용 강재를 좀 더 탄력적이고 원활하게 공급하기 위해 HR 플레이트를 강교 제작에 적용하는 방안이 검토되었습니다.

한국강구조학회에서는 2004년 3월에 두께 14mm까지의 HR 플레이트를 교량에 적용할 수 있는 가이드를 발표하였고, 2006년에 두께 22mm까지 사용할 수 있도록 한국강구조학회 심의필 **「HR Plate의 교량 적용 가이드」를** 제정, 발행하였습니다.

그 후 2016년에 건설용 강재에 대한 KS 규정이 개정되면서 강재의 명칭과 등급 구분, 그리고 일부 등급의 강재에 대한 강도와 충격치 등 역학적 특성값이 변경되었습니다. 이를 반영하기 위해 강도와 충격치가 변경된 강종에 대해서 재료시험을 통하여 그 적용성을 확인하였고, 변경된 강종의 명칭을 반영하였습니다. HR 플레이트의 강교 제작성에 대해서는 그동안 제작사가 HR 플레이트를 사용한 경험이 있었고, 2006년 가이드 작성 당시 충분한 검토 과정을 거쳤으므로 2006년 연구결과를 그대로 인용하여 2019년에 1차 개정판 **「HR Plate의 교량 적용 가이드」**를 발행하였습니다.

이번 2차 개정판 **「HR 플레이트의 교량 적용 가이드」**에서는 1차 개정판에는 포함되지 않았던 일부 HSB 열연재가 적용 가능한 강종으로 추가되었습니다. 강교 제작사를 통해 시제품을 제작하였으며, 절단, 취부, 용접, 조립 등의 과정에 대한 제작성 평가가 이루어졌고, 적용 적합성을 확인하였습니다. 이번 제작성 평가에 사용한 HR 플레이트 HSB380W에 대한 검토 및 평가는 2차 개정판 부록 참고자료에 추가하였습니다.

앞으로 HR 플레이트가 이 가이드를 통해 강교의 부재용으로 원활히 적용됨으로써 강교의 경쟁력 제고에 기여할 수 있길 기대합니다.

끝으로 이 가이드 개정작업에 참여하여 주신 집필위원, 그리고 관련 자료를 검토하시고 가이드 개정판을 심의해주신 심의위원에게 진심으로 감사드립니다.

2024년 11월 15일

사단법인 한국강구조학회 회장 이 철 호

(2차 개정판) 집필위원 및 심의위원

집필위원 (가나다순)

국민대학교 건설시스템공학부 교수	배 두 병
인천대학교 도시환경공학부 교수	심 형 보
경기대학교 토목공학과 교수	조 재 병

심의위원 (가나다순)

한국도로공사 선임연구위원	길 흥 배
명지대학교 토목환경공학과 특임교수	박 영 석
㈜동명기술공단 부회장	엄 영 호
㈜흥화 부장	윤 기 정

목 차

(2차 개정판) HR 플레이트의 교량 적용 가이드

(2차 개정판) 발간사 ····· i
(2차 개정판) 집필위원 및 심의위원 ····· ii
(2차 개정판) 목 차 ····· iii

1. 적용 범위 ····· 1

2. HR 플레이트의 특성 ····· 1
2.1 HR 플레이트 개요 ····· 1
2.2 재료의 화학성분 ····· 1
2.3 재료의 기계적 성질 ····· 2
2.4 공급형태 ····· 3

3. 형상 허용오차 ····· 3

4. HR 플레이트 적용성 ····· 3
4.1 설계기준 및 시방서 ····· 3
4.2 재료강도 ····· 3
4.3 인성요구조건 및 피로강도 ····· 4
4.4 부재 제작 작업성 ····· 4
4.4.1 절단 ····· 4
4.4.2 취부 및 가용접 ····· 4
4.4.3 본용접 ····· 4
4.5 품질확보 및 주의사항 ····· 4

(2차 개정판) 부 록

HR 플레이트의 교량 적용성에 관한 참고자료

1. HR 플레이트제조공정 및 품질특성 ····· 1

1.1 HR 플레이트의 정의 및 공급 목적 ····· 1

1.2 제조 공정 및 설비 ····· 1

1.2.1 열연코일 ····· 1

1.2.2 HR 플레이트 ····· 3

1.2.3 제품 규격 ····· 5

1.3 재료 특성 및 품질 ····· 5

1.3.1 화학성분 ····· 5

1.3.2 기계적 성질 ····· 6

1.3.3 피로강도 ····· 10

1.3.4 표면상태 ····· 10

1.3.5 형상 및 치수 ····· 11

1.3.6 공급형태 및 품질보증 ····· 15

1.3.7 강재 인성요구조건 산정 방법 ····· 15

2. 부재 제작성 검토 및 평가 ····· 19

2.1 개요 ····· 19

2.2 재편 절단 및 변형량 측정 ····· 20

2.2.1 SM 강재 ····· 20

(1) 종리브 ····· 20

(2) 횡리브 ····· 24

(3) 보강재 ····· 25

(4) 플레이트거더 상·하 플랜지 ····· 25

(5) 플레이트거더 웨브 ····· 27

2.2.2 HSB 강재 ····· 28

(1) 종리브 ····· 28

(2) 횡리브 ····· 30

(3) 수평보강재 ····· 32

(4) 수직보강재 ····· 33

(5) 플레이트거더 플랜지 및 웨브 ····· 35

2.3 부재조립 작업성 조사 ····· 36
2.3.1 SM 강재 ····· 36
(1) 리브 및 보강재 조립 ····· 36
(2) 플레이트거더 시험 제작 ····· 37
(3) 본용접 작업성 ····· 38
2.3.2 HSB 강재 ····· 39
(1) 종리브 및 횡리브 조립 ····· 39
(2) 플레이트거더 시험 제작 ····· 40
(3) 본용접 작업성 ····· 42
2.4 HR 플레이트의 강교량 부재 적용성 평가 종합 ····· 43
2.4.1 설계기준 및 시방서 ····· 43
2.4.2 재료강도 ····· 43
2.4.3 피로강도 ····· 43
2.4.4 부재 제작 작업 ····· 43
2.4.5 절단 변형량 관리기준 ····· 44

(2차 개정판)
HR 플레이트의
교량 적용 가이드

1. 적용 범위

HR 플레이트는 두께 22mm 이하의 강교량 주부재 및 부부재(2차부재)에 적용할 수 있다.

2. HR 플레이트의 특성

2.1 HR 플레이트 개요

HR(Hot Rolled) 플레이트는 열간압연기(Hot Strip Mill)에 의하여 생산된 코일상태의 열연강재를 판재화한 강판이다. 강교 제작용으로 적용 가능한 HR 플레이트 강종은 「KS D 3515 용접구조용 압연 강재」의 SM275A, SM275B, SM355A 및 SM355B와 「KS D 3868 교량구조용 압연강재」의 HSB380 및 HSB380W이다.

HR 플레이트용으로 사용될 열연강재는 강교량 제작에 적용할 수 있도록 열연코일을 생산하는 단계부터 별도의 품질관리를 하여 최종적으로 얻어지는 판재가 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」 규격을 만족하도록 하여야 한다.

HR 플레이트는 Uncoiler, Leveller, Shear 등의 설비를 갖춘 임가공 공장에서 판재화하여 제조하되, 소성변형이 동반되는 Leveling 과정 후에도 표 2.2에 나타낸 기계적 성질의 연신율과 다음 3항과 4항에 각각 규정된 형상 검사기준과 강교량 부재 제작 작업성 기준을 만족하여야 한다.

2.2 재료의 화학성분

HR 플레이트를 구성하는 재료의 화학성분은 표 2.1과 같이 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」 규격을 만족하여야 한다.

표 2.1(a) 화학성분 (SM 강종)

종류의 기호	C	Si	Mn[1)]	P	S
SM275A	≤0.23	-	2.5C≤	≤0.035	≤0.035
SM275B	≤0.20	≤0.35	0.50~1.40	≤0.030	≤0.030
SM355A	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM355B	≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.030

주1) KS 규격의 Mn에서의 C의 값은 레이들 분석값을 적용한다.

표 2.1(b) 화학성분 (HSB 강종)

종류의 기호	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
HSB380	≤0.18	≤0.55	≤2.0	≤0.02	≤0.006	-	-	-
HSB380W	≤0.18	≤0.65	≤2.0	≤0.02	≤0.006	0.10~0.5	0.45~0.75	0.05~0.8

2.3 재료의 기계적 성질

판재로 생산 완료된 HR 플레이트의 기계적 성질은 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」 규격에 따른 표 2.2의 요구조건을 만족하여야 한다.

표 2.2(a) 기계적 성질 (SM 강종)

종류의 기호	충격시험		인장시험				
			항복강도 (MPa)		인장강도 (MPa)	연신율	
	시험온도 ℃	샤르피 흡수에너지 J	강재의 두께 (mm)			강재의 두께 (mm)	%
			16 이하	16 초과 40 이하			
SM275A	20	27 이상	275 이상	265 이상	410~550	5 이하 5 초과 16 이하 16 초과 40 이하	23 이상 18 이상 22 이상
SM275B	0						
SM355A	20		355 이상	345 이상	490~630	5 이하 5 초과 16 이하 16 초과 40 이하	22 이상 17 이상 21 이상
SM355B	0						

표 2.2(b) 기계적 성질 (HSB 강종)

종류의 기호	충격시험		인장시험			
					연신율	
	시험온도 ℃	샤르피 흡수에너지 J	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	강재의 두께 (mm)	%
HSB380 HSB380W	-5	47 이상	380 이상	500 이상	16 이하 16 초과 40 이하	15 이상 19 이상

2.4 공급형태

HR 플레이트는 후판과 같이 판재 형태로 공급되며, 현재 제조 가능한 두께와 폭은 다음과 같다. SM 강종은 판 두께 6~12mm의 경우에 최대 폭 1930mm, 판 두께 12mm 초과 22mm까지는 최대 폭 1830mm이다. HSB 강종은 판 두께 8~14mm, 최대폭 1600mm이다. 제조 가능한 최대 폭 이내에서는 주문에 따라 폭을 조정하여 공급할 수 있다.

3. 형상 허용오차

HR 플레이트의 허용오차는 「KS D 3500」을 따른다. 다만, 판두께는 표 3.1을 따르도록 한다.

표 3.1 HR 플레이트 두께 허용차

(단위 : mm)

구 분	두 께	두께 허용차	
		하 한	상 한
교량용	t=6.0	-0.30	0.80
	t=7.0	-0.35	0.80
	t=8.0	-0.40	0.85
	8.0 < t < 15.0	-0.45	0.85
	15.0 ≤ t < 25.0	-0.50	1.00

4. HR 플레이트 적용성

4.1 설계기준 및 시방서

HR 플레이트는 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」 규정, 국내의 철도교 및 도로교의 관련된 설계기준인 「KDS 24 14 30」 및 「KDS 24 14 31」, 표준시방서 「KCS 24 31 05」 및 「KCS 24 31 10」의 해당 규정을 만족하여야 한다.

4.2 재료강도

후판 SM 또는 HSB 강재에 대한 해당 규정을 적용한다.

4.3 인성요구조건 및 피로강도

후판 SM 또는 HSB 강재에 대한 해당 규정을 적용한다.

4.4 부재 제작 작업성

4.4.1 절단

HR 플레이트의 작업성을 확보하기 위해 제작 단계에서 절단으로 인한 변형량은 다음과 같이 관리할 것을 추천한다.

(1) 면내 변형량 :
- 후판의 경우와 유사한 수준
- 종리브 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 10m 기준) : 최대 20mm

(2) 면외 변형량 (판을 평평하게 눕혀 놓은 상태의 측정값) :
- 종리브 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 10m 기준) : 최대 300mm
- 수평보강재 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 2.9m 기준) : 최대 60mm
- 웨브, 플랜지 (두께 22mm이하, 폭 1,400mm, 길이 10m 기준) : 최대 20mm

4.4.2 취부 및 가용접

취부 및 가용접은 제작된 부재가 제작오차에 대한 요구조건을 만족할 수 있도록 해야 한다. 이 외의 요구조건은 후판을 적용한 경우와 동일하다.

4.3.3 본용접

본용접 작업 및 용접 결과에 대한 요구조건은 후판을 사용한 경우와 동일하다.

4.5 품질확보 및 주의사항

2.4항의 제원 이외의 HR 플레이트에 대하여는 공신력을 갖춘 관계기관 또는 협회, 학회의 성능시험과 검토 등을 통하여 검증받은 후에 사용하여야 한다.

HR 플레이트는 공급될 때, Mill Test Certificate가 발급되어야 하며, 이 Certificate에 따라 공급된 HR 플레이트의 표식과 수량을 반드시 대조·확인하여야 한다.

(2차 개정판)

부 록

HR 플레이트의 교량 적용성에 관한 참고자료

1. HR 플레이트 제조공정 및 품질특성

1.1 HR 플레이트의 정의 및 공급 목적

HR 플레이트는 열연 코일을 레벨링하고 절단하여 판재로 만들어서 후판 박물재를 대체할 수 있도록 공급하는 제품을 말하며, 두께 22mm 이하의 HR 플레이트를 통해 강재 소요물량의 원활한 공급에 기여하는 것이 목적이다.

1.2 제조 공정 및 설비

1.2.1 열연코일

그림 1.1은 열연코일의 제조공정을 후판의 제조공정과 간단히 비교하여 나타낸 것이다.

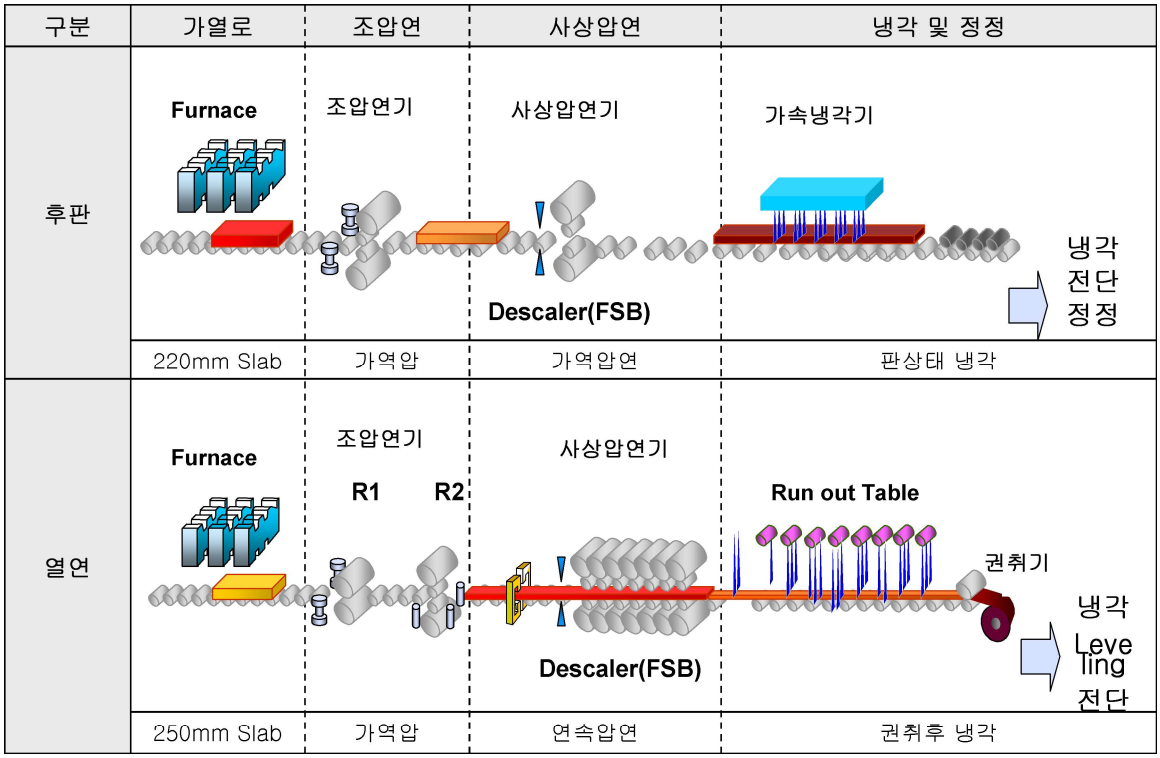


그림 1.1 열연코일의 제조공정

연주공장 또는 분괴공장에서 이송된 슬래브를 가열로에서 충분히 가열한 후 추출하여 압연작업을 시작한다. 이때 열간 상태의 슬래브 표면에 생성된 두꺼운 스케일을 제거한다.

스케일이 제거된 슬래브는 다음 공정에서 적당한 형상, 두께와 폭을 갖춘 압연소재로 만들어진다. 이 공정의 압연기 입구와 출구에 Edger가 설치되고, 적정 폭 제어에 따라 폭방향으로 압연하게 된다. 자동 폭 제어 시스템이 조압연 Roll에 장착되어 폭을 모니터링하고, 고감도 유압작동 실린더를 사용하여 자동으로 판 폭을 조절한다.

이어서 사상압연을 하게 된다. 이 공정의 목적은 판을 정해진 두께와 폭으로 조절하자는 것이며, 용도에 맞는 사상온도에서 양호한 표면, 형상으로 압연한다. 자동 형상제어 시스템은 사상압연기의 끝부분에 장착되어 판의 평탄도를 조절한다. 이후 형상제어를 위해 Roll Bender의 압력을 자동적으로 조절하게 된다. 자동 두께제어 시스템은 사상압연기의 끝부분에 장착되어 두께를 모니터하고 고감도 유압작동 실린더를 작동시켜서 자동으로 두께를 조절한다.

사상압연이 완료된 강판은 Run-Out Table을 지나는 과정에서 냉각수 스프레이에 의해 권취 온도까지 냉각되고, 이어서 권취기에서 둥글게 말려서 코일상태로 만들어진다. 사진 1.1은 HR 플레이트를 제조하기 위한 두께 12mm의 HSB380W 열연코일 모습이다.



사진 1.1 HR 플레이트 제조용 압연 코일 (t=12mm)

1.2.2 HR 플레이트

그림 1.2는 열간 압연기(Hot Strip Mill)에 의하여 강교량 부재 제작에 적용이 가능하도록 특별 공정으로 생산된 코일상태의 열연강재를 길이방향으로 판재화한 후 일정한 길이로 절단하여 HR 플레이트를 제조하는 절차를 보여준다.

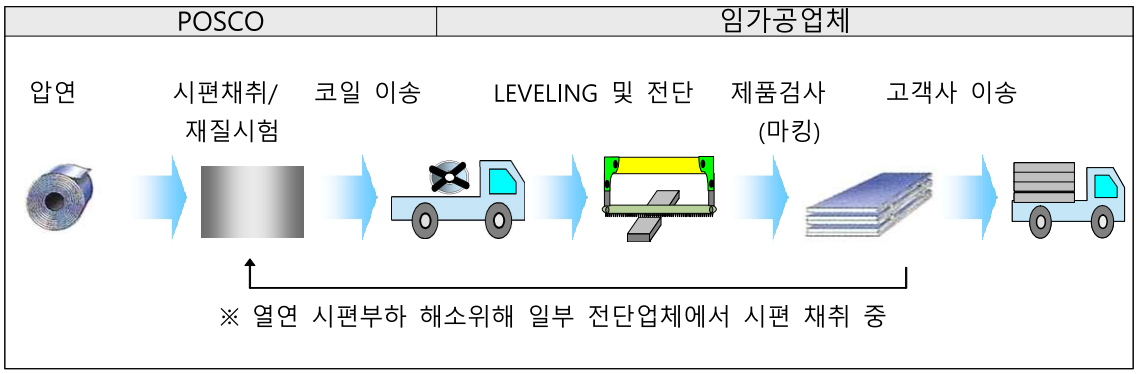
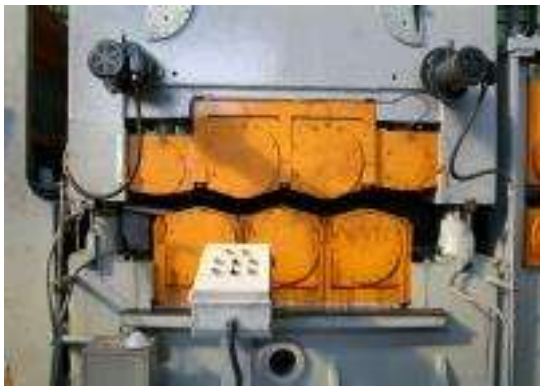


그림 1.2 HR 플레이트의 제조 절차

코일 상태의 강재를 강판으로 만들기 위해 열연코일을 코일상태에서 풀어주는 Uncoiler, 강판을 편평하게 펼쳐주는 Leveller, 폭방향으로 절단하는 Flying Shear 설비가 이용된다. 사진 1.2는 코일상태의 열연제품을 HR 플레이트로 만드는 주요 설비를 보여주고 있다.



(a) Uncoiler



(b) Rough Leveller



(c) Flying Shear



(d) Finish Leveller

사진 1.2(a) HR 플레이트 제조 설비 (A사)



(a) Uncoiler



(b) Rough Leveller



(c) Flying Shear



(d) Finish Leveller

사진 1.2(b) HR 플레이트 제조 설비 (B사)

코일 상태의 강재를 판재로 만들면 잔류응력이 크게 발생할 수 있고, 이로 인해 절단 등 가공할 경우 잔류응력이 풀리면서 판의 변형이 일어날 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 1.3과 같이 판재가 Leveller를 통과할 때 휨, 휨의 풀림, 그리고 반대 방향의 휨 등을 반복해서 가한다. 이 과정에 유발된 소성변형에 의해 강판의 잔류응력이 감소하게 된다. 판의 폭 방향으로 균일한 압하를 위해 소재 Size별 적정 압하기준이 설정되어 있으며, Backup Roll 위치 조정에 의한 Pre-Bending 부여로 폭 방향 균일 압하 조업기준도 마련되어 있다.

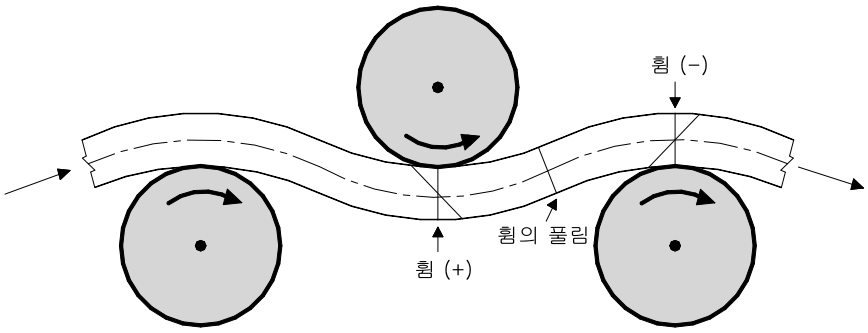


그림 1.3 Leveling에 의한 판내 잔류응력 저감



사진 1.3 구조용 열연코일로 제조한 HR 플레이트

1.2.3 제품 규격

국내에서 생산되는 HR 플레이트는 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」 규격을 만족하는 용접구조용 강으로써 강종은 SM275A, SM275B, SM355A, SM355B, HSB380, HSB380W이다.

1.3 재료 특성 및 품질

1.3.1 화학성분

HR 플레이트를 구성하는 재료의 화학성분은 표 1.1과 같다.

표 1.1 화학성분

종류	강재	C	Si	Mn[1)]	P	S	Cu	Cr	Ni
KS D 3515 : 2004	SM400A	≤0.23	-	2.5C≤	≤0.035	≤0.035	-	-	-
	SM400B	≤0.20	≤0.35	0.60~1.40	≤0.035	≤0.035	-	-	-
	SM490A	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	-	-	-
	SM490B	≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	-	-	-
KS D 3515 : 2016	SM275A	≤0.23	-	2.5C≤	≤0.035	≤0.035	-	-	-
	SM275B	≤0.20	≤0.35	0.50~1.40	≤0.030	≤0.030	-	-	-
	SM355A	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	-	-	-
	SM355B	≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.030	-	-	-
KS D 3868 : 2023	HSB380	≤0.18	≤0.55	≤2.00	≤0.020	≤0.006	-	-	-
	HSB380W	≤0.18	≤0.65	≤2.00	≤0.020	≤0.006	0.10~0.50	0.45~0.75	0.05~0.80

주1) KS 규격의 Mn에서의 C의 값은 레이들 분석값을 적용한다.

1.3.2 기계적 성질

국내 「KS D 3515」, 「KS D 3868」 규격 및 「KDS 24 14 30」, 「KDS 24 14 31」에서는 두께 40mm 이하의 구조용 강재의 기계적 성질을 표 1.2와 같이 규정하고 또한 표 1.2와 표 1.3은 각 연도별 평가된 강종별 인장시험 결과와 충격시험 결과를 각각 보여주고 있다. 실험결과, HR 플레이트는 동일 강종의 후판의 경우와 동등한 수준이며, 해당 규격 및 기준에서 요구하고 있는 기계적 성질에 대한 조건을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 따라서 후판을 대신해서 동일한 강종의 HR 플레이트를 강교량 어느 부위에 적용하여도 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 1.2a 기계적 성질 (인장시험 결과)

종류	강재		항복강도 (MPa) 두께 (mm) 16 이하	항복강도 (MPa) 두께 (mm) 16 초과 40 이하	인장강도 (MPa)	연신율 강재두께 (mm)	연신율 %
시험 결과 (2006년)	SM400A	HR Plate	305		489	-	25
		후판	295		451	-	27
	SM490B	HR Plate	424		564	-	21
		후판	404		556	-	24
	SM400A (10t)	압연방향	299		479	10	23
		압연 직각방향	301		475	10	23
		대각선 방향	303		482	10	27
	SM400B (12t)	압연방향	260		453	12	24
		압연 직각방향	328		460	12	25
		대각선 방향	276		459	12	23
	SM490B (16t)		397		530	16	20
			433		575	16	19
			369		511	16	26
			382		515	16	22
			417		559	16	19
	SM490B (22t)		490		599	22	21
시험 결과 (2019년)	SM355A (12t)	압연방향	419		550	12	22
			413		537	12	24
		압연 직각방향	456		553	12	21
			457		555	12	21
	SM355A (19t)	압연방향	396		529	19	26
			389		552	19	25
		압연 직각방향	441		540	19	21
			441		539	19	20
시험 결과 (2024년)	HSB380W (9t)	압연방향	439		536	9	25
		압연 직각방향	450		542	9	22
	HSB380W (12t)	압연방향	441		558	12	23
		압연 직각방향	482		575	12	19
		후판	422		567	12	17
			403		550	12	19
	HSB380W (14t)	압연방향	423		534	14	24
		압연 직각방향	443		536	14	22
		후판	416		567	16	17
			431		673	16	20

표 1.2b 기계적 성질 (인장시험 KS 규정)

종류	강재	항복강도 (MPa)		인장강도 (MPa)	연신율	
		두께 (mm)			강재두께 (mm)	%
		16 이하	16 초과 40 이하			
KS D 3515 : 2004	SM400A	245≤	235≤	400~510	5 이하 5 초과 15 이하 16 초과 50 이하	23≤ 18≤ 22≤
	SM400B					
	SM490A	325≤	315≤	490~610	5 이하 5 초과 15 이하 16 초과 50 이하	22≤ 17≤ 21≤
	SM490B					
KS D 3515 : 2016	SM275A	275≤	265≤	410~550	5 이하 5 초과 16 이하 16 초과 40 이하	23≤ 18≤ 22≤
	SM275B					
	SM355A	355≤	345≤	490~630	5 이하 5 초과 16 이하 16 초과 40 이하	22≤ 17≤ 21≤
	SM355B					
KS D 3868 : 2023	HSB380 HSB380W	380≤	380≤	500≤	16 이하 16 초과 40 이하	15≤ 19≤

표 1.3a 기계적 성질 (충격시험 결과)

종류	강재		시험온도 ℃	샤르피흡수에너지 J				시험편
				결과			평균	
시험 결과 (2006년)	SM400A	HR Plate	0	-			168	-
		후판	0	-			154	
	SM490B	HR Plate	0	-			128	
		후판	0	-			142	
	SM490B (16t)		-	147	166	160	158	
			-	174	183	167	175	
			-	218	229	227	225	
			-	190	215	227	211	
			-	207	227	232	222	
	SM490B (22t)		-	172	199	208	193	
시험 결과 (2019년)	SM355A (12t)	압연방향	20	191	208	210	203	노치모양 : 2V 나비치수: 10mm
		압연 직각방향		124	140	138	134	
	SM355A (12t)	압연방향		101	96	130	109	
		압연 직각방향		172	187	183	181	
시험 결과 (2024년)	HSB380W (9t)	압연방향	-5	339	296	348	328	9t : 10t기준 환산 값
		압연 직각방향	-5	170	182	189	180	
	HSB380W (12t)	압연방향	-5	390	392	386	389	
		압연 직각방향	-5	238	181	288	236	
		후판	-5	316	345	348	336	
	HSB380W (14t)	압연방향	-5	373	326	283	327	
		압연 직각방향	-5	308	282	343	311	
		후판(16t)	-5	241	223	233	232	

표 1.3b 기계적 성질 (충격시험 KS 규정)

종류	강재	시험온도 ℃	샤르피흡수에너지 J	시험편
KS D 3515 : 2004	SM400B	0	27 이상	4호 압연방향
	SM490B	0		
KS D 3515 : 2016	SM275A	20	27 이상	V노치 시험편 압연방향
	SM275B	0		
	SM355A	20		
	SM355B	0		
KS D 3868 : 2023	HSB380 HSB380W	-5	47 이상	V노치 시험편 압연방향

1.3.3 피로강도

HR 플레이트와 후판재 모재 시험편의 피로 강도를 비교하여 나타내면 그림 1.4와 같다. 피로강도는 인장강도기준 400MPa급의 경우는 후판재가, 490MPa급의 경우는 열연재가 약간 우수한 것으로 나타났다. 전체적으로 보았을 때 후판재와 열연재의 피로 특성에 공정 간의 차이는 없는 것으로 판단된다 (2006년 가이드 참조).

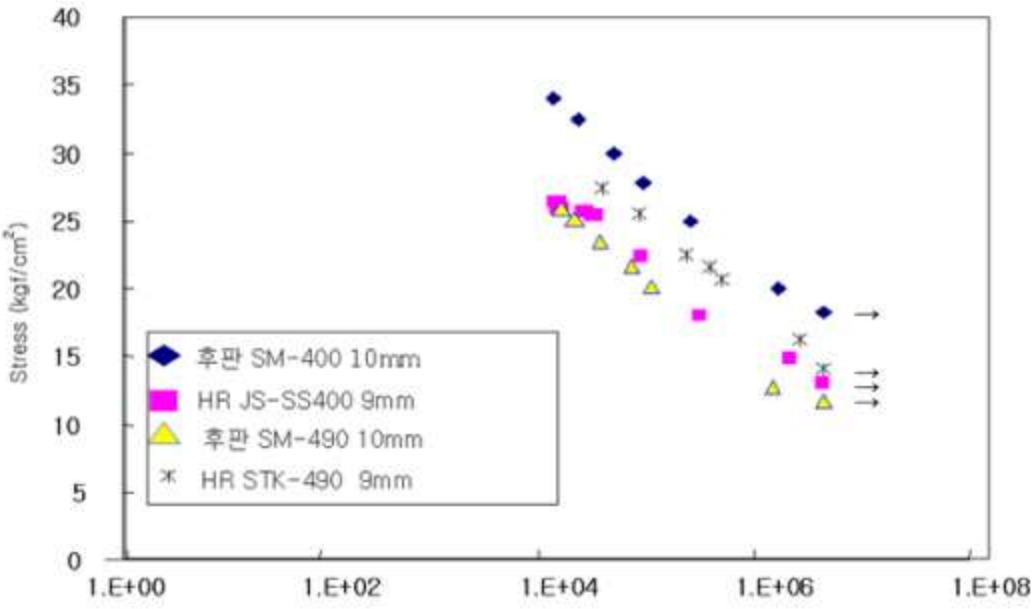


그림 1.4 HR 플레이트와 후판 모재시험편의 피로강도

1.3.4 표면 상태

사진 1.4는 HR 플레이트 제조 직후 전처리를 하지 않은 두께 22mm HR 플레이트의 절단면, 모서리, 그리고 면의 표면상태를 보여주고 있다. 절단면의 상태가 표면과 거의 직각이고 전체적으로 깨끗이 절단되어 양호하며, 특별히 전처리 과정에서 샌드블라스팅 등을 필요로 하는 흑피가 거의 없다. 이것은 열연코일이 Leveling 공정을 거치는 동안 표면에 붙어있던 흑피가 거의 제거되었기 때문으로 생각된다 (2006년 가이드 참조).



사진 1.4 HR 플레이트(22t) 제조 직후의 표면 상태

1.3.5 형상 및 치수

HR 플레이트의 형상과 치수는 열연코일의 최심부, 중간부 그리고 외측부에서 판형화한 HR 플레이트를 대상으로 조사하였다 (2006년 가이드 참조). 2차분 HR 플레이트의 경우 1차분 HR 플레이트에서 나타났던 폭 중간부에 나타났던 크라운 형태는 거의 없었다. 평면으로부터 면외 방향으로의 오차는 최대 1mm정도 수준으로 HR 플레이트의 사용성에는 전혀 영향을 미치지 않을 것으로 판단한다.

HR 플레이트를 바닥에 눕혀놓았을 경우 판의 종방향을 따라서 면외방향의 초기변형은 그 크기가 작아서 변형된 형상을 인지하기 어렵다. 판재의 두께가 다른 치수에 비해 매우 작으므로 초기변형 형상의 피치가 긴 경우 자중에 의한 탄성변형이 초기변형을 어느 정도 상쇄할 수 있을 것으로 추정된다. 판재를 세워서 중력으로 인한 영향을 제거한 경우에는 약간의 면외 변형이 일어났으나 판재의 절단 작업에는 전혀 영향을 미치지 않는다. 따라서 부재 제작을 위한 절단 작업이 이루어지기 전의 HR 플레이트의 면외 변형에 대해서는 다루지 않고, 대신 부재 제작을 위한 강판 절단 후의 각각의 재편에 대한 면외 변위 측정값과 재편을 사용한 부재 조립의 작업성에 대해서 제2장에서 다루었다.

HR 플레이트의 종방향 변형량을 파악하기 위해 종방향 연단의 양 끝을 잇는 직선으로부터 종방향 연단까지의 거리를 측정한 값은 다음 표 1.4 및 표 1.5와 같으며, 종방향 연단의 직선도가 양호한 것으로 나타났다.

표 1.4 HR 플레이트의 종방향 면내 변형량 (2006년 가이드 참조)

강종 판두께 (L×W)	측점 위치	면내 변형량[1] (mm)		
		코일최심부	코일중간부	코일외측부
SM490B 12T (11000×1555)	0	0	0	0
	L/4	1	1	2
	L/2	3	3	2
	3L/4	3	2	3
	L	0	0	0
SM400B 12T (11000×1555)	0	0	0	0
	L/4	8	1	1
	L/2	9	0	0
	3L/4	7	-2	2
	L	0	0	0
SM400B 10T (11000×1555)	0	0	0	0
	L/4	-1	2	8
	L/2	5	3	11
	3L/4	5	2	6
	L	0	0	0

주1) 「KS D 3500」에서는 "가로 굽음"으로 지칭한다

표 1.5 HR 플레이트의 종방향 면내 변형량 (HSB380W)

강종 판두께 (L×W)	측점 위치	면내 변형량[1] (mm)		
		코일최심부	코일중간부	코일외측부
HSB380W 9T (10000×1500)	0	0	0	0
	L/2	8	3	1
	L	0	0	0
HSB380W 12T (10000×1500)	0	0	0	0
	L/2	4	4	3
	L	0	0	0
HSB380W 14T (10000×1500)	0	0	0	0
	L/2	5	5	3
	L	0	0	0

주1) 「KS D 3500」에서는 "가로 굽음"으로 지칭한다

HR 플레이트의 두께에 대한 허용오차는 「KS D 3500」에 따른다. 다만, 판두께는 표 1.6을 따르도록 한다.

표 1.6 HR 플레이트 두께 허용차

(단위 : mm)

구 분	두 께	두께 허용차	
		하 한	상 한
교량용	t=6.0	-0.30	0.80
	t=7.0	-0.35	0.80
	t=8.0	-0.40	0.85
	8.0 < t < 15.0	-0.45	0.85
	15.0 ≤ t < 25.0	-0.50	1.00

표 1.7(a)와 (b)는 HR 플레이트의 두께 측정 결과로서 모두 KS 규격과 설계기준, 표준시방서 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 표 1.8은 HSB380W의 두께 측정값으로 역시 모든 기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 1.7(a) HR 플레이트 (1차분) 두께 측정값 (2006년 가이드 참조)

강종 판두께 (L×W)	두께 측정값 (mm)									
	측점	코일 최심부			코일 중간부			코일 외측부		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
SM490B 12T (11000×1555)	1	12.1	12.1	12.0	11.7	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
	2	12.0	12.1	12.0	11.7	11.8	11.8	11.8	11.8	11.7
	3	12.0	12.1	12.0	11.7	11.8	11.7	11.9	11.8	11.8
	4	12.0	12.0	12.0	11.8	11.8	11.8	11.7	11.8	11.7
	5	11.9	12.0	12.0	11.8	11.9	11.8	11.8	11.9	11.8
SM400B 12T (11000×1555)	1	12.1	12.1	12.0	11.9	12.0	11.9	12.1	12.2	12.2
	2	12.0	12.1	12.0	11.9	12.0	11.9	12.1	12.1	12.1
	3	12,0	12.1	12.0	11.9	12.0	12.0	12.1	12.2	12.1
	4	12.0	12.0	12.0	11.9	12.0	12.0	12.1	12.2	12.1
	5	11.9	12.0	12.0	11.9	12.0	11.9	12.1	12.2	12.2
SM400B 10T (11000×1555)	1	10.1	10.1	10.0	10.0	10.1	10.1	10.0	10.1	10.1
	2	10.0	10.1	10.0	10.0	10.1	10.1	10.0	10.1	10.0
	3	10.0	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0	9.9	10.0	10.0
	4	10.0	10.0	10.0	10.0	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0
	5	9.9	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.0	10.1	10.1

표 1.7(b) HR 플레이트 (2차분) 두께 측정값 (2006년 가이드 참조)

강종 판두께 (L×W)	두께 측정값 (mm)								
	측점	1	2	3	4	5	6	7	8
SM490B 16T-2 (9098×1065)	1	16.1	16.1	16.1	16.2	16.5	16.2	16.2	16.2
	2	16.1	16.1	16.1	16.2	16.3	16.2	16.2	16.2
	3	16.1	16.1	16.2	16.2	16.2	16.3	16.2	16.2
SM490B 16T-4 (10014×1647)	1	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
	2	16.0	16.0	16.1	16.0	16.1	16.0	16.0	16.1
	3	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	16.0	16.1	16.0
SM490B 22T (10013×1646)	1	22.0	22.0	22.0	22.0	22.1	22.1	22.1	22.1
	2	22.1	22.1	22.1	22.1	22.2	22.2	22.2	22.1
	3	22.0	22.0	22.0	22.0	22.1	22.1	22.2	22.1
SM490B 22T-1 (10030×1835)	1	22.1	22.2	22.1	22.2	22.1	22.2	22.2	22.1
	2	22.2	22.1	22.1	22.2	22.1	22.2	22.1	22.2
	`3	22.1	22.0	22.0	22.0	22.2	22.0	22.2	22.0

표 1.8 HR 플레이트의 두께 측정값 (HSB380W)

강종 판두께 (L×W)	두께 측정값 (mm)						
	측점	코일 최심부		코일 중간부		코일 외측부	
		판1	판2	판1	판2	판1	판2
HSB380W 9T (10000×1500)	1	8.9	9.0	8.9	8.9	9.0	8.9
	2	9.0	9.0	9.0	9.0	9.1	9.0
	3	8.9	8.9	8.9	8.9	9.0	8.9
HSB380W 12T (10000×1500)	1	11.9	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9
	2	12.0	12.0	12.0	12.0	12.1	12.0
	3	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	11.9
HSB380W 14T (10000×1500)	1	13.9	13.9	13.9	13.9	14.0	13.9
	2	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
	3	14.0	13.9	13.9	13.9	14.0	13.9

1.3.6 공급형태 및 품질보증

HR 플레이트는 후판과 같이 판재 형태로 공급되며, 현재 제조 가능한 두께와 폭은 다음과 같다. SM 강종은 판 두께 6~12mm의 경우에 최대 폭 1930mm, 판 두께 12mm 초과 22mm까지는 최대 폭 1830mm이다. HSB 강종은 판 두께 8~14mm, 최대폭 1600mm이다. 공급 가능한 최대 폭 이내에서는 주문에 따른 폭으로 공급 가능하게 함으로써 부재 제작시의 손실률을 가능한 낮출 수 있다.

생산 완료된 HR 플레이트에는 판마다 제품번호가 주어지며, 제철소에서 발행하는 Mill Test Certificate/검사증명서 정보가 연결되게 된다. Mill Test Certificate에는 계약번호, 주문번호, 주문자, 품명, 고객사, 규격, 치수, 제품번호, 수량 및 중량, 제강번호, 인장 및 충격시험 결과, 화학성분 등이 명기되어 있다. 아래의 사진 1.5는 공급된 HR 플레이트의 표면에 강종, 치수, 제품번호 등이 표시된 예를 보여주고 있다.



사진 1.5 공급되는 HR 플레이트의 제품번호 예시

1.3.7. 강재 인성요구조건 산정 방법

강재의 인성을 표현하는 방법으로는 CTOD(Crack Tip Opening Displacement), J-적분값, K_{IC} (평면 변형률 파괴인성) 등 여러 가지가 있으나 시험평가의 간편성, 소요시간 및 비용적 측면 등을 고려하여 시험온도와 샤르피 흡수에너지로 표현하는 것이 일반적이다. 교량용 강재의 인성 요구조건은 대상 부재에 작용하는 응력확대계수($K_{I,apply}$)보다 사용 강재의 파괴인성(K_{mat})이 더 크도록 설정된 조건으로 정의될 수 있으며 다음 식에 의해 결정된다.

$$K_{I,applv} \le K_{mat} \quad (1)$$

위 식에서 응력확대계수($K_{I,apply}$)에 영향을 미치는 인자로는 사용 강재의 판두께, 항복강도, 균열의 기하적 형상(형상, 위치, 길이, 깊이), 작용응력의 크기 등이 있으며 판두께가 두꺼울수록, 항복강도가 높을수록, 균열이 깊을수록, 작용응력이 클수록 응력확대계수는 증가한다. 또한, 파괴인성(K_{mat})은 금속의 고유한 성질로서, 강재의 인성규격(시험온도와 샤르피 흡수에너지), 교량이 건설되는 지역의 최소 공용온도, 판두께 등으로 기술할 수 있고, 같은 샤르피 흡수에너지에대하여 시험온도가 낮은 금속일수록, 같은 시험온도에 대해 샤르피 흡수에너지가 큰 금속일수록, 최소 공용온도가 높을수록, 판두께가 얇을수록 파괴인성은 증가한다. 따라서, 사용 강재의 판두께가 두껍거나 고강도강일수록, 그리고 최소 공용온도가 낮을수록 이 강재에 요구되는 인성규격은 더욱 엄격해져야 하며, 특히 낮은 시험온도에서도 일정 수준 이상의 샤르피 흡수에너지를 보여줄 수 있는 저온인성이 확보되어야 한다.

국내 도로교 설계기준의 요구인성은 SINTAP(Structural INTegrity Assessment Procedure)에서 적용되었던 방법을 이용하고, 우리나라 지역별 사용온도 조건을 고려하여 산정하였다. SINTAP는 유럽 공동의 구조물 파괴안정성 평가 방법을 정립하기 위하여 EU 주도로 9개국 17개 기관 참여하여 1996년에 프로젝트(Brite-Euram Project)를 착수하여 1999년에 완료하였다. 개발된 SINTAP은 BS 7910(2005)과 EN 13445(2002)에 반영되었고, 유럽 16개국의 41개 기관이 참여하는 FITNET (European Fitness for Service Network)의 MK7 Fracture Module(2006)에도 반영되었다.

식 (1)의 작용 응력확대계수는 다음과 같이 산정한다.

$$K_{I,apply} = \frac{K_{IEd}}{k_{r6} - \rho} \quad (2)$$

여기서, K_{IEd}, k_{r6} 그리고 ρ는 각각 작용응력에 의한 설계 응력확대계수, CEGG R6의 FAD(Fracture Assessment Diagram) 함수값, 그리고 소성보정계수(plasticity correction factor)이다. 설계 응력확대계수는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$K_{IEd} = Y \cdot \sigma_{Ed} \sqrt{\frac{\pi \cdot a_d}{1000}} \quad (3)$$

여기서, Y, σ_{Ed}, 그리고 a_d는 각각 기하보정계수, 작용 응력, 그리고 설계 균열길이이다. 강재의 요구인성수준을 결정하기 위해 고려한 균열은 주거더 플랜지의 용접 토우부에 위치한 반타원형 표면균열(semi-elliptical surface crack) 이다. Eurocode등에서도 주거더 플랜지의 용접 토우부가 균열 발생확률이 가장 높은 것으로 추정하고, 반타원형 표면균열(Semi-elliptical Surface Crack)을 가정하였다.

식 (1)의 강재의 파괴인성은 유효 판두께와 파괴확률이 고려된 Wallin의 Master Curve로 기술할 수 있다.

$$K_{mat} = 20 + \left(77\left[\exp\left\{ \frac{T_{\min} - T_{100} - T_k}{52} \right\} \right] + 11 \right) \left(\frac{25}{b_{eff}} \right)^{0.25} \left(\ln\left(\frac{1}{1-P_f} \right) \right)^{0.25} \quad (4)$$

여기서, T_{min} , T_{100}, T_k, b_{eff}, 그리고 P_f는 각각 재현주기 100년에 대한 최소 공용온도(℃), Wallin의 Master curve에서 K_{mat}= 100MPa√m 에 상응하는 온도(℃), 파괴확률이 고려된 안전치(℃), 유효 판두께, 그리고 파괴확률이다.

우리나라 전국 73개 관측소의 1904년 기상관측 이후의 최저기온에 대한 기상청 자료를 활용하여 전국을 세 온도구역으로 구분하였다. 이때 적용한 온도구역별 최소 공용온도 T_{min}는 다음과 같다.

$$T_{\min} = \begin{cases} -15\,^{\circ}\mathrm{C} & (\mathrm{Zone\ I}) \\ -25\,^{\circ}\mathrm{C} & (\mathrm{Zone\ II}) \\ -35\,^{\circ}\mathrm{C} & (\mathrm{Zone\ III}) \end{cases} \quad (5)$$

표 1.9는 위와 같은 절차를 적용하여 산정한 강종별 인성요구조건을 보여준다 (작용응력 수준은 항복응력의 50%로 가정함). 기존 설계기준에서는 A재 강종에 대한 인성요구조건이 없어서 HR 플레이트 A재의 적용성 확대를 위해 동일한 SINTAP 방법을 적용하여 A재에 대한 기준을 산정하여 표 1.9에 나타내었다. 여기서, 작용응력 수준은 항복응력의 55%로 가정하였다.

표 1.9 인장 또는 교번응력을 받는 주부재의 강종별 인성규격과 온도구역 별 최대 허용판두께 (KDS 14 31 20 : 강구조 피로 및 파단 설계기준(하중저항계수설계법))

온도구역 및 강종				온도구역 Ⅰ (-15℃)[1]	온도구역 Ⅱ (-25℃)[1]	온도구역 Ⅲ (-35℃)[1]
구분	기호	충격시험[3]		최대 허용판두께[2] (mm)		
		시험온도	샤르피 흡수에너지			
용접구조용 압연강재	SM275A	20℃	27J 이상	40	40	40
	SM275B	0℃	27J 이상	40	40	40
	SM275C	-20℃	27J 이상	100	100	90
	SM275D	-40℃	27J 이상	100	100	100
	SM355A	20℃	27J 이상	40	40	35
	SM355B	0℃	27J 이상	40	40	40
	SM355C	-20℃	27J 이상	100	80	70
	SM355D	-40℃	27J 이상	100	100	100
	SM420A	20℃	27J 이상	40	35	30
	SM420B	0℃	27J 이상	40	40	40
	SM420C	-20℃	27J 이상	80	65	55
	SM420D	-40℃	27J 이상	100	100	80
	SM460B	0℃	47J 이상	65	55	45
	SM460C	-20℃	27J 이상	75	60	50
용접구조용 내후성 열간 압연강재	SMA275B	0℃	27J 이상	40	40	40
	SMA275C	-20℃	27J 이상	100	100	90
	SMA355B	0℃	27J 이상	40	40	40
	SMA355C	-20℃	27J 이상	100	80	70
	SMA460	0℃	47J 이상	65	55	45
교량구조용 압연강재	HSB380	-5℃	47J 이상	85	70	60
	HSB380L	-20℃	47J 이상	100	95	80
	HSB380W	-5℃	47J 이상	85	70	60
	HSB460	-5℃	47J 이상	70	60	50
	HSB460L	-20℃	47J 이상	95	80	65
	HSB460W	-5℃	47J 이상	70	60	50
	HSB690	-20℃	47J 이상	55	45	40
	HSB690L	-40℃	47J 이상	80	70	60
	HSB690W	-20℃	47J 이상	55	45	40

주1) 선형보간법에 따라 최대 허용판두께를 산정할 때 사용되는 각 구역별 기준 공용온도.
주2) 교량이 건설되는 지역의 최근 30년 내 최저기온(T)를 알고 있는 경우, 주 1의 기준 공용온도에 따른 선형보간법을 적용하여 최대 허용판두께를 산정해도 좋다. 예를 들어 SM355C의 경우, 어느 지역의 최저기온(T)이 -20℃라면 구역 Ⅰ의 -15℃와 구역 Ⅱ의 -25℃를 기준으로 하여 최대 허용판두께는 90mm로 된다. 단, 최저기온의 범위가 -35℃≤T＜-15℃일 때만 선형 보간을 적용할 수 있다.
주3) KS B 0810 "금속 재료 충격 시험 방법"에 따라 측정하며 강재의 인성을 충격에 대한 에너지흡수능력으로 표현하는 값임.

2. 부재 제작성 검토 및 평가

2.1 개요

HR 플레이트는 교량용 후판으로 사용하기 위해 생산단계에서 특별히 개선된 재료의 화학조성 및 제어공정을 거쳐 생산된 열연코일을 이용하고 있다. 따라서 현재 생산되어 출하되고 있는 HR 플레이트는 국내 KS 규격의 SM 강재 또는 HSB 강재에 대한 요구조건을 만족하고 있고, 현재 시판되고 있는 일반 후판의 품질과 거의 유사하므로 교량용 강재로서 사용상의 문제가 거의 없다. 다만, 제품 자체가 원래 코일 형태로 이루어진 것을 판재화 한 것이므로 교량 부재를 제작하기 위해 HR 플레이트를 절단하여 재편을 만드는 과정과 만들어진 재편을 부재 블록으로 구성하기 위한 취부와 가용접, 그리고 본용접 과정에서 후판의 경우와 어떤 차이점이 있는지, 또 차이점이 있다면 부재의 제작성에 어떤 영향을 미치는지를 검토할 필요가 있다.

따라서 실제 공장에서 HR 플레이트를 절단하여 재편을 만들고, 이들을 부재로 제작하는 시험제작을 수행하였다. 절단된 재편의 변형량, 재편을 부재로 조립하기 위한 취부 작업의 난이도 등을 관찰, 측정하고 수집한 자료를 분석, 검토하여 HR 플레이트를 사용한 강교량 부재의 제작 적합성과 작업성을 평가하였다.

2.2.1과 2.3.1에서는 SM 강종의 HR 플레이트를 적용한 교량 제작성 검토 결과를 제시하였다. 사용한 강교량 부재의 시험 제작은 두께 14mm와 16mm의 HR 플레이트를 대상으로 판의 두께와 폭의 크기를 고려할 때 효과적으로 적용이 가능한 종리브, 횡리브, 그리고 보강재 등을 시험제작하였다. 또한 두께가 더 큰 16mm와 22mm HR 플레이트를 사용하여 가로보 등으로 사용할 수 있는 플레이트거더를 시험 제작하였다. SM 강재 HR 플레이트의 제작성 문제는 그동안 제작사가 HR 플레이트를 사용한 경험이 있고, 2006년 가이드 작성 당시 충분한 검토 과정을 거쳤으므로 2.2.1에서는 2006년 가이드 작성 시 수행되었던 연구결과를 그대로 인용하였다.

2.2.2와 2.3.2에서는 HSB380W 강종의 HR 플레이트를 적용한 교량 제작성 검토 결과를 제시하였다. 강종 HSB380W는 HSB380과 비교하여 기계적 성질은 동일하지만 내후성 확보를 위해 화학성분을 달리하고 있다. 이에 따라 용접 등 작업의 난이도가 더 클 것이 예상되므로 이번 HSB강종 HR 플레이트 적용성 시험에는 HSB380W를 선정한 것이다.

표 2.1은 HSB380W HR 플레이트를 적용한 교량 제작성 평가의 부재별 제원을 나타낸다. 여기서, 압연 진행방향 기준으로 “H”는 Head 부분(코일의 최심부), “M”은 Middle 부분(코일의 중간부), “T”는 Tail 부분(코일의 외측부)을 나타낸다. 번호 1, 2 중 1은 코일 내측 2는 코일 외측으로 구분하였다.

표 2.1 HSB 강종 HR 플레이트의 교량 제작성 평가 대상

평가 항목	부재 구분	판재수	대상 HR플레이트	치수(폭x길이x두께)	비고
교량 제작성 평가 – 소형부재 –	강판 (종리브/횡리브 접합용)	1	W14-M3	1,500x10,000x14	
	종리브	3	W14-H2/M1/T2	150x10,000x14	판재당 3장 절단
	횡리브	3	W12-H2/M1/T2	400x1,200x12	판재당 3장 절단
교량 제작성 평가 – 대형부재 –	웨브	1	W12-M2	1,400x10,000x12	1장 절단
	플랜지	1	W14-M2	500x10,000x14	2장 절단
	수직보강재	3	W12-H2/M1/T2	150x1,400x12	판재당 3장 절단
	수평보강재	1	W14-M1	150x10,000x14	4장 절단/가공 (약 1m길이)

2.2 재편 절단 및 변형량 측정

2.2.1 SM 강재

(1) 종리브

일반적으로 국내의 박스거더에는 주로 두께 14mm, 폭 150mm의 종리브를 사용하고 있다. 본 연구에서는 두께 14mm와 16mm의 HR 플레이트를 폭 150mm, 길이 10m, 직선으로 시험 절단하여 제작한 종리브의 면내와 면외 변형량을 측정하였다.

사진 2.1은 2005년 11월 공장에 입하된 두께 14mm의 HR 플레이트를 국내 교량제작공장에서 일반적으로 시행하고 있는 가스절단 방법으로 단순 절단하여 최종 완료된 후 1시간 이후에 변형 측정 장소로 이동시키기 전 인근 장소로 옮겨 그 상태를 육안 검사한 종리브의 모습이다.

변형량은 절단으로 가열된 재편이 상온으로 냉각된 후, 재편의 양 끝에서 실을 팽팽하게 잡아당겨 기준선으로 삼고 이로부터 재편의 모서리까지 떨어진 거리를 측정하여 구했다(사진 2.2참조). 면외 변형량은 종리브의 면이 연직이 되도록 하여 자중으로 인해 면외 방향의 변형이 발생하지 않은 상태에서 측정하였다. 표 2.2는 각각의 시험 제작한 종리브에 대해 면내와 면외 방향의 최대 변형량을 나타낸 것이다.



사진 2.1 HR 플레이트를 절단하여 제작한 종리브





사진 2.2 HR 플레이트를 절단하여 제작한 종리브의 변형 측정모습

표 2.2 종리브 절단 후 면내 및 면외 변형량 최댓값 (2006년 가이드 참조)

강 종 판 두께 (L×W)	시험체 번호	면내 변형량 최댓값 (mm)			면외 변형량 최댓값 (mm)		
		코일 외측부	코일 중간부	코일 최심부	코일 외측부	코일 중간부	코일 최심부
SM400B 14T (10000×150)	1	7	-9	4	139	99	180
	2	-4	3	3	65	165	190
	3	-9	-7	2	129	79	160
	4	-4	-11	10	106	100	150
SM400B 16T (10000×150)	1	-6	7	1	174	226	283
	2	-14	-11	5	210	211	205
	3	-3	5	-9	144	205	242
	4	-4	-5	11	62	182	174
SM490B 14T (10000×150)	1	1	1	8	282	200	179
	2	14	-9	1	116	222	142
	3	13	1	-4	26	87	172
	4	-15	-2	-9	190	305	161
SM490B 16T (10000×150)	1	-2	1	-3	314	255	270
	2	-6	-3	-8	324	218	273
	3	-1	7	11	250	250	235

측정 결과를 HR 플레이트의 열연코일 내의 위치, 판의 두께, 강종 등을 구분하여 비교하였다. 두께 14mm와 16mm는 두께의 차이가 거의 없어서 면내 및 면외 방향의 변형량은 두께에 따른 차이를 거의 보이지 않았다.

강종에 따른 차이는 그림 2.1과 2.2에서와 같이 면내와 면외 변형량이 SM400보다는 SM490의 경우에 약간 더 커지는 경향을 보이고 있다. 코일 내의 위치에 따른 영향은 면외 변형에 대해서 SM400 강재의 경우는 코일의 외측부 보다는 최심부를 절단하여 만든 HR 플레이트가 더 큰 값을 보이고 있으나, SM490의 경우에는 일정한 경향을 찾아보기 힘들다.

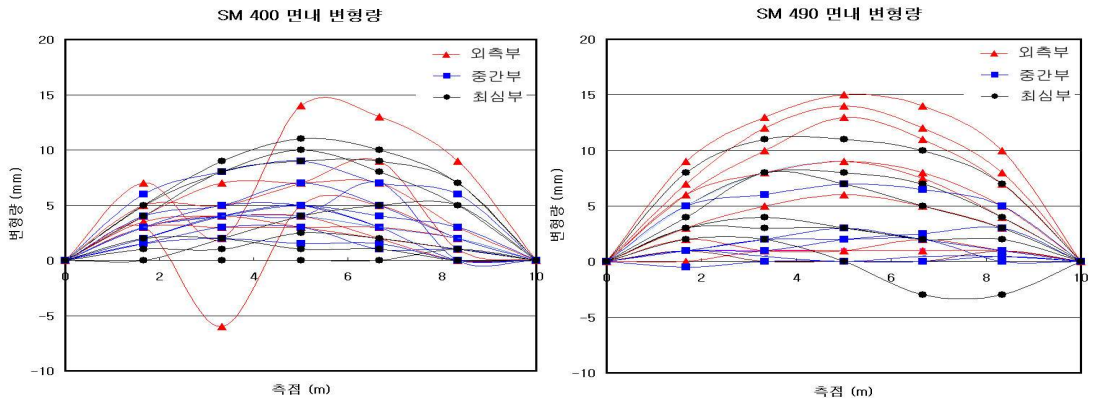


그림 2.1 종리브의 면내 변형

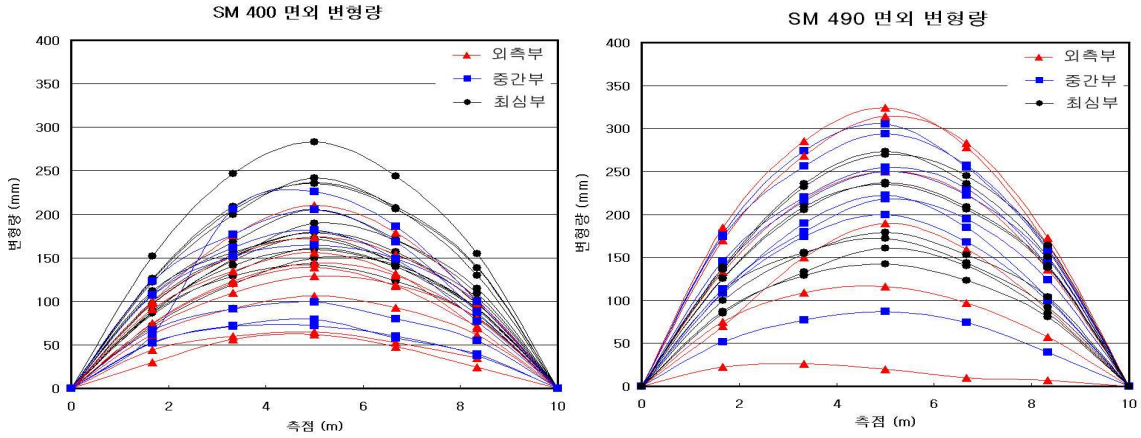


그림 2.2 종리브의 면외 변형

표 2.3 후판을 절단한 종리브의 면내 변형량 (2006년 가이드 참조)

제작 공장	강종 판 두께	L×W (mm×mm)	시험체 번호	면내 변위량 최댓값 (mm)
K	SM490B 후판 14T	9180×150	1	7
		11445×150	2	17
			3	20
		11824×150	4	19
		12860×150	5	15
		12984×150	6	8
H	SM490B 후판 14T	12380×150	7	11
			8	11
			9	9
			10	13

기존의 후판을 절단하여 만든 종리브의 경우와 비교하기 위해 강교량을 제작 중인 공장을 방문하여 후판을 절단하여 제작한 종리브의 면내와 면외 변형량을 측정하였으며 그 결과는 앞의 표 2.3과 같다. 각 종리브의 면내 변형량 최댓값이 7mm～20mm로써, HR 플레이트를 절단하여 시험 제작한 모든 종리브의 면내 변형량은 기존에 사용하고 있는 후판을 절단하여 제작한 경우와 거의 같은 수준임을 알 수 있다. (2006년 가이드 참조).

한편, 면외 방향의 변형량은 후판을 사용한 경우에는 길이 약 10m～12m의 종리브에서 10mm 정도 발생하는 반면, HR 플레이트로 제작한 종리브는 최대 300mm 정도까지 면외 변형이 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

(2) 횡리브

종리브가 관통할 수 있는 형상으로 사진 2.3과 같이 절단한 횡리브에 대해 면내와 면외 방향의 변형량을 측정하여 각각 표 2.4에 나타내었다. 측정된 최대 변형량은 면내 3mm, 면외 40mm로 부재 조립의 작업에 거의 영향을 주지 않을 정도이다.



사진 2.3 HR 플레이트를 절단하여 제작한 횡리브

표 2.4 횡리브 절단 후 면내 및 면외 변형량 (2006년 가이드 참조)

강종 판 두께 (L×W)	시험체 번호	면내 변위량 최댓값 (mm)	면외 변위량 최댓값 (mm)
SM490B 12T (2500×400)	1	-2	40
	2	-1	38
	3	1	38
SM400B 12T (2500×400)	4	1	5
	5	2	5
	6	1	14
	7	3	14
SM400B 10T (2500×400)	8	2	17
	9	1	15
	10	1	12

(3) 보강재

두께 14mm와 16mm의 HR 플레이트를 절단하여 폭 150mm, 길이 3m의 플레이트거더의 복부에 부착될 보강재를 만들었다. 절단한 후 절단으로 인한 면내 변형량을 측정하였다. 측정 결과는 표 2.5와 같다. 측정한 모든 경우의 최대 변형량은 5mm 이내로 나타나 조립 작업의 난이도는 후판의 경우와 거의 동일한 것으로 판단된다.

표. 2.5 보강재 면내 변형량 (2006년 가이드 참조)

강 종 판 두께 (L×W)	면내 변형량 최댓값 (mm)		
	코일 외측부	코일 중간부	코일 최심부
SM400B 14T (3000×150)	3	-2	-2
	5	1	-3
	4	1	-3
	4	-1	-2
	5	0	2
SM400B 16T (3000×150)	1	5	3
	2	4	5
	1	4	4
	2	4	4
	0	5	4
SM490B 14T (3000×150)	1	2	3
	0	0	5
	-1	1	4
	-2	2	4
	0	1	4
SM490B 16T (3000×150)	-1	0	0
	0	0	-1
	-2	-1	0
	-2	1	-1
	0	1	0

(4) 플레이트거더 상·하 플랜지

사진 2.4는 2006년 가이드 발간 시 수행된 두께 22mm의 HR 플레이트 절단 및 플레이트거더 시험제작 시연회를 보여준다.



사진 2.4 절단 및 플레이트거더 제작 시연회

두께 22mm의 HR 플레이트를 절단하여 플레이트거더의 상·하플랜지로 사용될 폭 0.8m, 길이 10m의 판을 만들었다. 사진 2.5는 두께 22mm 판의 절단 작업을 보여준다.



사진 2.5 플레이트거더의 플랜지 절단 작업

절단으로 인한 면내 변형은 거의 발생하지 않아서 육안으로 식별하기 어려운 정도이며, 수치적인 측정은 수행하지 않았다.

절단된 판의 변외 변형은 표 2.6과 같다. 중력의 영향이 작용하지 않도록 세운 상태에서 측정한 값이다. 길이 10m인 판에서 중간부에서의 최대 변형량 58mm로 측정되어 그 크기가 매우 작은 것으로 나타났다. 이와 같이 작은 변형량은 후판의 경우와 같은 수준이며, 플레이트거더 조립 작업에 있어서 이 정도의 면외 변형은 작업성과 완성품의 품질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

표 2.6 절단 후 플랜지 판의 면외 변형량 (2006년 가이드 참조)

강 종 판 두께 (L×W)	측점 위치 (m)				
	0	2.5	5.0	7.5	10
	면외 변형량 (mm)				
SM490B 22T (10000×800)	0	35	58	41	0

(5) 플레이트거더 웨브

제 2단계에 공급된 두께 16mm의 HR 플레이트의 가장자리를 절단하여 플레이트거더의 웨브로 사용될 폭 1.6m, 길이 10m의 판을 만들었다. 사진 2.6은 두께 16mm HR 플레이트를 웨브의 크기로 절단한 후 면외 변형을 조사하기 위해 판을 세운 상태를 보여준다.

절단으로 인한 면내 변형은 거의 발생하지 않았고, 변외 변형은 다음 표 2.7과 같다. 길이 10m의 판에서 중간부의 최대 변형량 242mm로 최근에 제작 공급된 두께 22mm HR 플레이트보다는 큰 값이나 플레이트거더 조립 작업의 난이도에 있어서 후판의 경우와 거의 차이가 없었다.



사진 2.6 플레이트거더의 웨브 절단 후의 상태

표 2.7 절단으로 인한 웨브의 면외 변형량 (2006년 가이드 참조)

강 종 판 두께 (L×W)	측점 위치 (m)				
	0	2.5	5.0	7.5	10
	면외 변형량 (mm)				
SM490B 16T (10000×1600)	0	184	242	181	0

2.2.2 HSB 강재

(1) 종리브

두께 14mm, 길이 10m의 각 강판(Head, Middle, Tail)에서 종리브를 3개씩 절단하였다. 사진 2.7은 절단 위치를 보여준다. 편의상 절단 위치에 따라 종리브를 “A”, “B”, “C”로 구분하였다. 사진 2.8은 종리브 절단 후의 변형 형상을 보여준다. 종리브의 면내와 면외 방향의 변형량을 측정하기 위하여 사진 2.9와 같이 종리브를 평면에 눕혀놓은 상태에서 종리브의 양 끝에서 실을 팽팽하게 잡아당겨 기준선으로 삼고, 이로부터 면내와 면외 방향의 모서리까지 떨어진 거리를 각각 측정하였다.

종리브를 눕혀놓은 상태에서 측정한 변형량은 이전에 세워놓고 측정한 SM강종의 경우와 다르다. 이번 작업성 평가에서 면외 변형량을 눕혀놓은 상태에서 측정한 것은 측정작업의 편리성을 고려하고, 눕혀놓았을 때 자중의 영향으로 쉽게 발생할 수 있는 정도의 변형은 강교 부재 제작의 작업성에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단했기 때문이다.

표 2.8 및 2.9는 종리브 부재길이 방향으로 7등분한 위치에서 측정한 면내와 면외 변형량을 각각 보여주고, 그림 2.3은 이를 그래프로 보여준다. 상대적으로 면외변형량(최대 135mm)이 면내 변형량(최대 26mm)보다 크게 발생하였다. 면외변형량의 경우 절단 시 강판 가장자리(절단위치 “A”)에서 가장 크게 발생했으면 다음은 “B”, “C” 순이었다. 또한, Head쪽 절단 강판(W14-H2)이 Tail쪽 절단 강판(W14-T2)보다 변형량이 상대적으로 크게 발생하였다.



사진 2.7 종리브 절단 위치



사진 2.8 종리브 변형형상





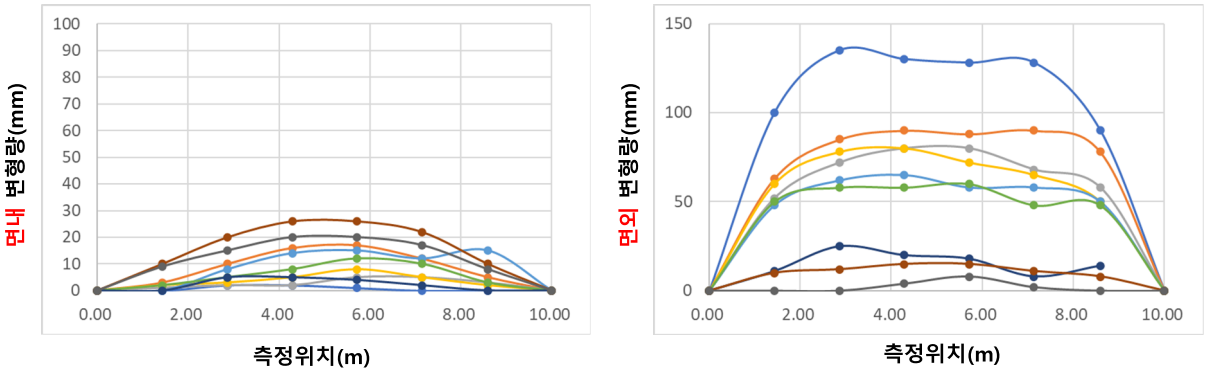
사진 2.9 종리브 면내/면외 변형량 측정

표 2.8 종리브 절단 후 면내 변형량

강판	절단 위치	측점 번호							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		면내 변형량 (mm)							
W14-H2	A	0	0	2	2	1	0	0	0
	B	0	3	10	16	17	12	5	0
	C	0	1	2	2	5	5	3	0
W14-M1	A	0	2	3	5	8	5	2	0
	B	0	0	8	14	15	12	15	0
	C	0	2	5	8	12	10	3	0
W14-T2	A	0	0	5	5	4	2	0	0
	B	0	10	20	26	26	22	10	0
	C	0	9	15	20	20	17	8	0

표 2.9 종리브 절단 후 면외 변형량

강판	절단 위치	측점 번호							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		면외 변형량(mm)							
W14-H2	A	0	100	135	130	128	128	90	0
	B	0	60	78	80	72	65	50	0
	C	0	11	25	20	18	8	14	0
W14-M1	A	0	63	85	90	88	90	78	0
	B	0	48	62	65	58	58	50	0
	C	0	10	12	15	15	11	8	0
W14-T2	A	0	52	72	80	80	68	58	0
	B	0	50	58	58	60	48	48	0
	C	0	0	0	4	8	2	0	0



(a) 면내 변형량 (b) 면외 변형량

그림 2.3 종리브의 변형량

(2) 횡리브

사진 2.10은 횡리브의 절단 사진을 보여준다. 종리브가 관통할 수 있는 형상으로 절단한 횡리브에 대해 면내와 면외 방향의 변형량을 사진 2.11에서와 같이 측정하였다. 표 2.10 및 그림 2.4는 횡리브 길이방향으로 4등분한 위치에서 측정한 결과를 나타낸다. 측정결과에서 보이듯 횡리브는 부재 크기가 크지 않아 변형량이 적게 측정되었으며, 작업성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

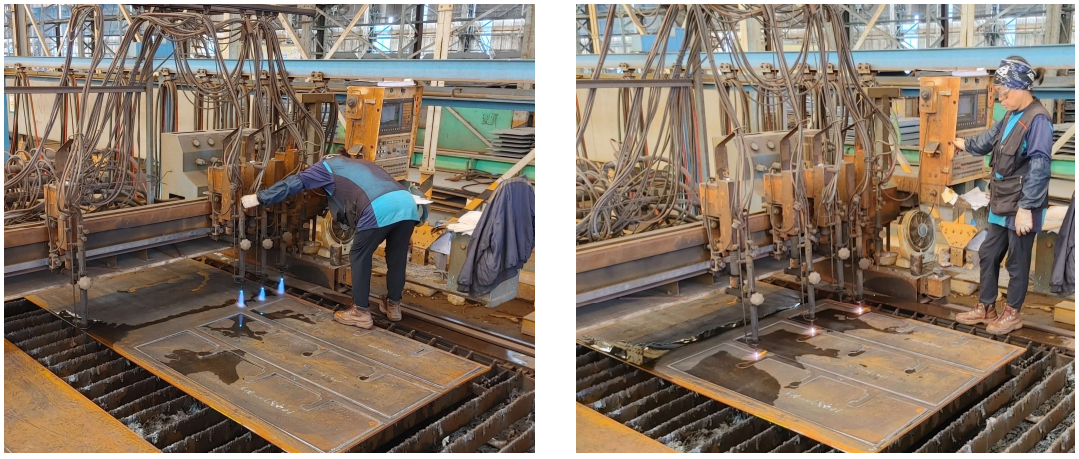


사진 2.10 횡리브 절단 사진



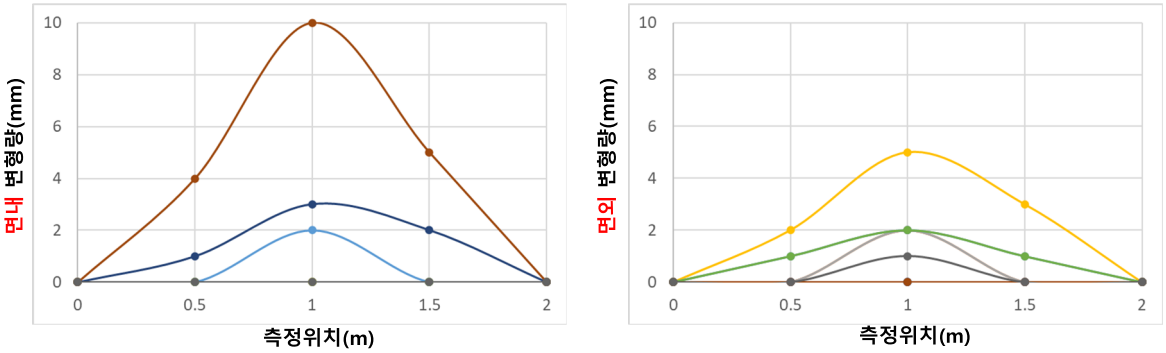
사진 2.11 횡리브 면내/면외 변형량 측정

표 2.10a 횡리브 절단 후 면내 변형량

강판	시험체 번호	측점 번호				
		1	2	3	4	5
		면내 변형량(mm)				
W12-H2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-M1	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	2	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-T2	1	0	1	3	2	0
	2	0	4	10	5	0
	3	0	0	0	0	0

표 2.10b 횡리브 절단 후 면외 변형량

강판	시험체 번호	측점 번호				
		1	2	3	4	5
		면외 변형량(mm)				
W12-H2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	2	0	0
	3	0	0	2	0	0
W12-M1	1	0	2	5	3	0
	2	0	1	2	1	0
	3	0	1	2	1	0
W12-T2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0



(a) 면내 변형량 (b) 면외 변형량

그림 2.4 횡리브의 변형량

(3) 수평보강재

사진 2.12는 수평보강재 절단 후 변형 형상을 보여준다. 수평보강재 길이방향으로 4등분한 위치에서 면외와 면내 변형을 측정하였다. 표 2.11(b)의 면외 변형량에서 (+), (-)값은 면외 변형 방향 상, 하로 구분된다. 면내/면외 변형량 측정결과는 표 2.11 및 그림 2.5에 나타내었다. 면외 변형량이 상대적으로 크게 발생한 것을 알 수 있다. 이번 제작성 평가에 사용된 수평보강재는 부재의 길이가 2.9m로 일반적인 공사에 사용되는 수평보강재보다 커서 변형량이 다소 크게 발생한 것으로 판단된다.



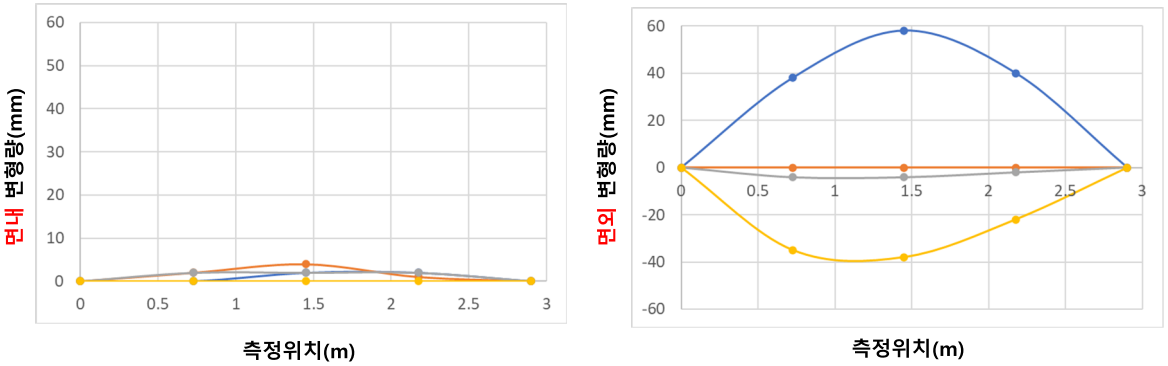
사진 2.12 수평보강재 변형 형상

표 2.11a 수평보강재 절단 후 면내 변형량

강판	시험체 번호	측정 번호				
		1	2	3	4	5
		면내 변형량(mm)				
W14-M1	1	0	0	2	2	0
	2	0	2	4	1	0
	3	0	2	2	2	0
	4	0	0	0	0	0

표 2.11b 수평보강재 절단 후 면외 변형량

강판	시험체 번호	측정 번호				
		1	2	3	4	5
		면외 변형량(mm)				
W14-M1	1	0	38	58	40	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	-4	-4	-2	0
	4	0	-35	-38	-22	0



(a) 면내 변형량 (b) 면외 변형량

그림 2.5 수평보강재의 변형량

(4) 수직보강재

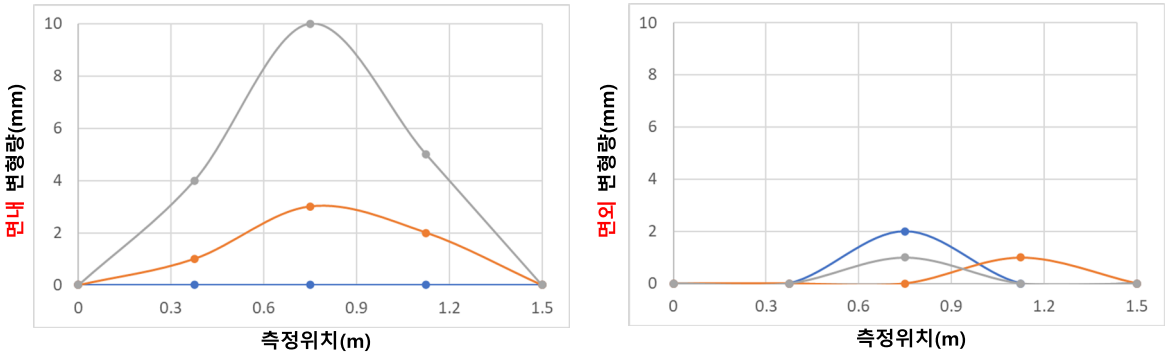
표 2.12 및 그림 2.6은 수직보강재 절단 후 길이방향으로 4등분한 위치에서 측정한 변형량을 나타낸다. 측정 결과, 횡리브에서와 유사하게 최대변형량은 10mm 이하로 매우 작아서 작업성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 2.12a 수직보강재 절단 후 면내 변형량

강판	시험체 번호	측점 번호				
		1	2	3	4	5
		면내 변형량(mm)				
W12-H2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-M1	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-T2	1	0	1	3	2	0
	2	0	4	10	5	0
	3	0	0	0	0	0

표 2.12b 수직보강재 절단 후 면외 변형량

강판	시험체 번호	측점 번호				
		1	2	3	4	5
		면외 변형량(mm)				
W12-H2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-M1	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
W12-T2	1	0	1	3	2	0
	2	0	4	10	5	0
	3	0	0	0	0	0

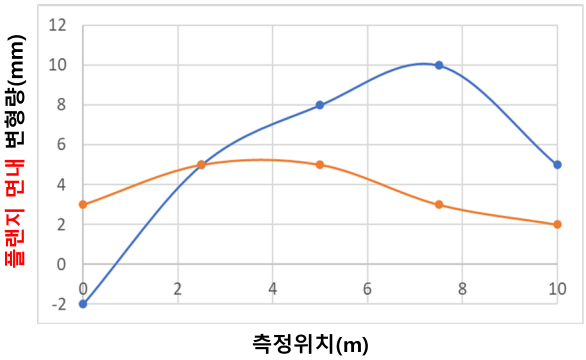


(a) 면내 변형량 (b) 면외 변형량

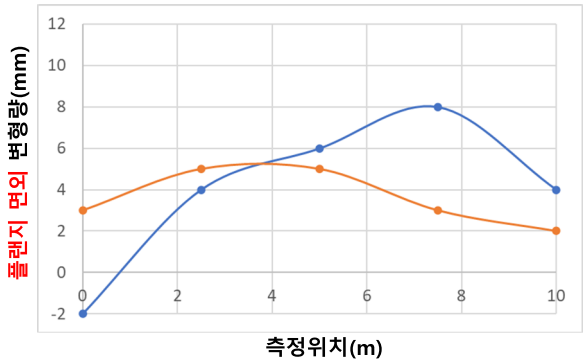
그림 2.6 수직보강재의 변형량

(5) 플레이트거더 플랜지 및 웨브

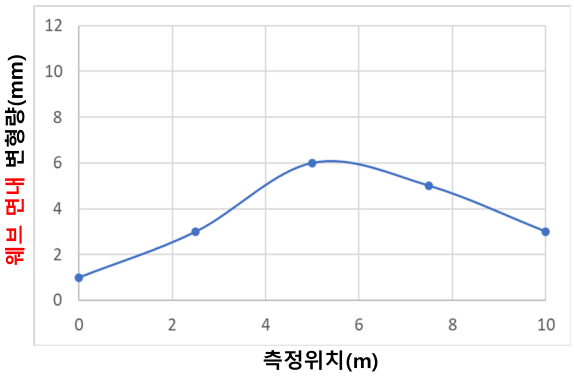
플레이트거더 조립 전, 아래 그림 2.7은 플랜지 및 웨브 절단 시 발생한 변형량 측정결과이다. 플랜지 및 웨브는 변형량이 크게 발생하지 않아 작업성에 문제가 없을 것으로 판단된다.



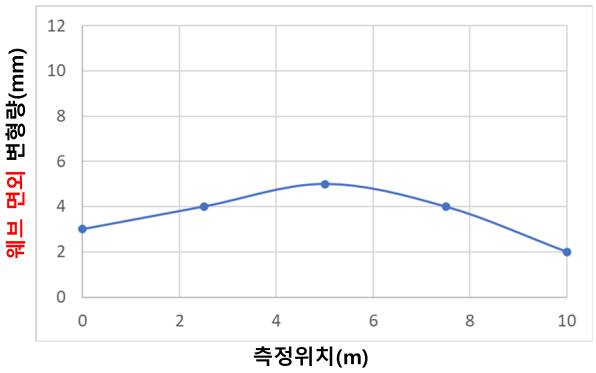
(a) 플랜지 면내 변형량



(b) 플랜지 면외 변형량



(c) 웨브 면내 변형량



(c) 웨브 면외 변형량

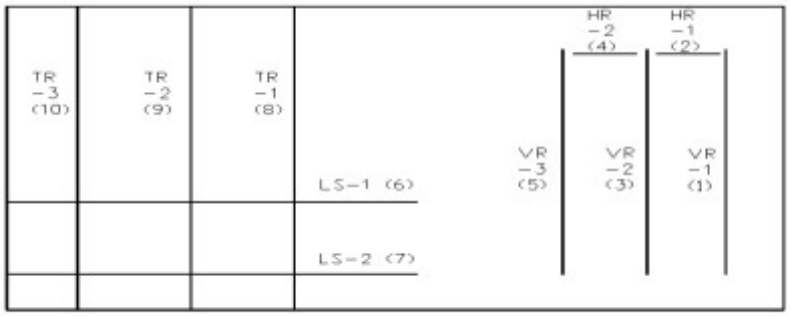
그림 2.7 플레이트거더 플랜지 및 웨브의 변형량

2.3 부재 조립 작업성 조사

2.3.1 SM 강재

(1) 리브 및 보강재 조립

그림 2.8은 이들 부재편을 두께 14mm의 플랜지에 가용접을 통하여 최종적으로 본용접하기 위한 작업지시 도면이다.



(TR 부재는 LS부재를 자동용접한 후에 가조립함)

그림 2.8 HR 플레이트 부재편 용접 배치도

사진 2.13은 가용접 직전의 면외 변형이 큰 종리브 배치 상태를 나타낸다. 종리브를 가용접하기 위해서는 종리브의 면외변형을 제어하여야 한다. 그러나 종리브는 길이가 길고, 면외 방향의 변형에 대한 단면2차모멘트가 작아서 어느 정도의 변형량은 종리브 가용접 작업에 큰 영향을 주지 않는다. 변형이 심한 경우에도 교정, 가조립용 지그 사용, 반복 작업을 통한 작업의 합리화, 등을 통하여 작업 능률을 충분히 개선할 수 있다(사진 2.14 참조). 또한 HR 플레이트의 제조 기술과 설비의 개선으로 절단으로 인한 변형량이 대폭 감소하고 있어 작업성은 후판의 경우와 거의 동일할 것으로 예상된다.



사진 2.13 종리브의 가용접



사진 2.14 종리브 가조립용 유압장치

횡리브의 경우 종리브에 비해서 길이가 짧고, 최대 변형량도 면내 3mm, 면외 40mm 정도이다. 이러한 정도의 변형량에 대하여는 공장에서 작업자들이 단순한 수동 지그를 이용하여 손쉽게 가용접 할 수 있다.

사진 2.15는 횡리브에 플랜지를 붙이는 작업이며, 이와 같이 플랜지가 붙여진 횡리브는 기존의 방식대로 본용접이 쉽게 이루어질 수 있다. 후판을 사용한 경우와 비교하여 별다른 차이점이 발견되지 않았다. 이외 수직·수평보강재의 가용접 작업도 전혀 문제가 없이 후판의 경우와 같은 방법을 적용하여 손쉽게 작업을 수행할 수 있다. 사진 2.16은 그림 2.8에 대한 실제 작업 완료된 모습을 보여준다.



사진 2.15 횡리브의 플랜지 가조립용 지그 및 횡리브 가용접 완료 상태



사진 2.16 가용접 완료 상태

(2) 플레이트거더 시험 제작

플레이트거더를 시험 제작하였다. 상, 하 플랜지는 두께 22mm, 복부는 두께 16mm의 HR 플레이트를 사용하였으며, 거더의 높이는 1.6m, 플랜지의 폭은 0.8m, 거더의 길이는 10m이다. 제작도는 그림 2.9와 같다 (2006년 가이드 참조).

조립작업의 전 과정에서 작업 난이도와 조립품의 제작오차 등이 후판을 사용한 경우와 동일하였으며, 사진 2.17은 플레이트거더의 조립작업 및 가용접이 끝난 상태를 보여준다.

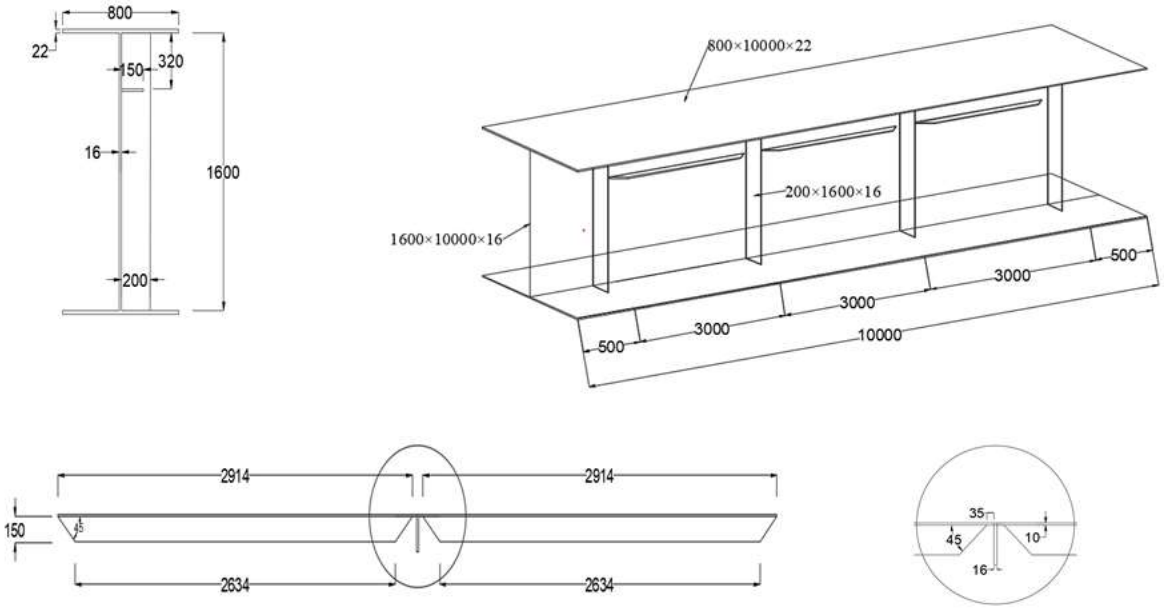


그림 2.9 플레이트거더 제작도



사진 2.17 플레이트거더 조립작업

(3) 본용접 작업성

일단 가용접이 된 상태에서 후속 작업은 어느 경우, 어느 부재에 있어서도 기존의 후판재를 이용하는 경우와 같았다. 이것은 이미 앞의 1.3.1에서 검토한 바와 같이 HR 플레이트의 화학적 성분 조성이 용접성을 고려할 때, 후판 SM 강재와 동등 이상이므로, 후판에 적용한 용접재료와 용접방법에 따를 경우 용접 결과도 거의 동일하게 나타날 것으로 판단된다.

2.3.2 HSB 강재

(1) 종리브 및 횡리브 조립

사진 2.18은 강판에 종리브 설치 사진을 보여준다. 종리브의 면외 변형이 크게 발생했어도 교정, 가조립용 지그 사용, 반복 작업 등을 통해 종리브의 면외변형을 제어하는데는 후판의 경우처럼 큰 문제는 없었으나 작업능률은 약간 떨어지는 것으로 나타났다.

종리브를 강판에 용접후 일반적인 강재의 경우와 유사하게 열변형이 발생하였다 따라서 사진 2.19에서와 같이 열교정을 수행하였고, 그 후 횡리브를 설치하였다. 사진 2.20은 강판에 종리브와 횡리브를 조립이 완료된 후 형상을 보여준다.

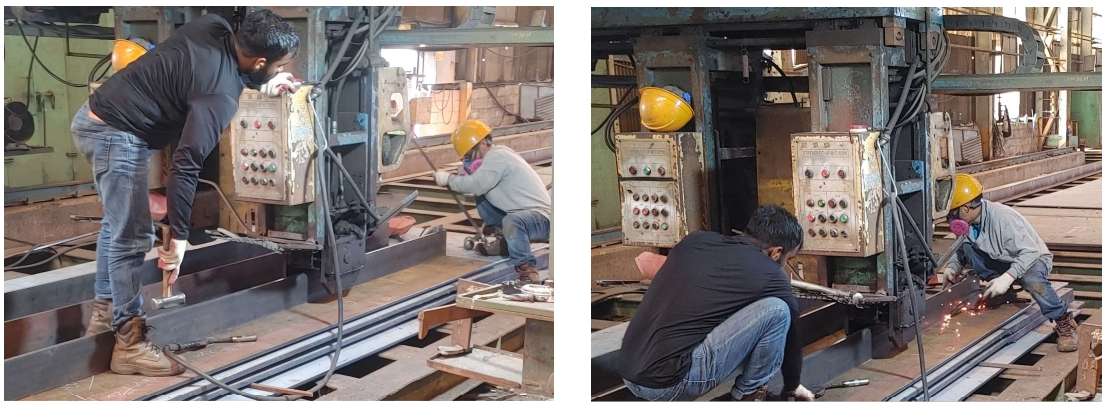


사진 2.18 종리브 취부

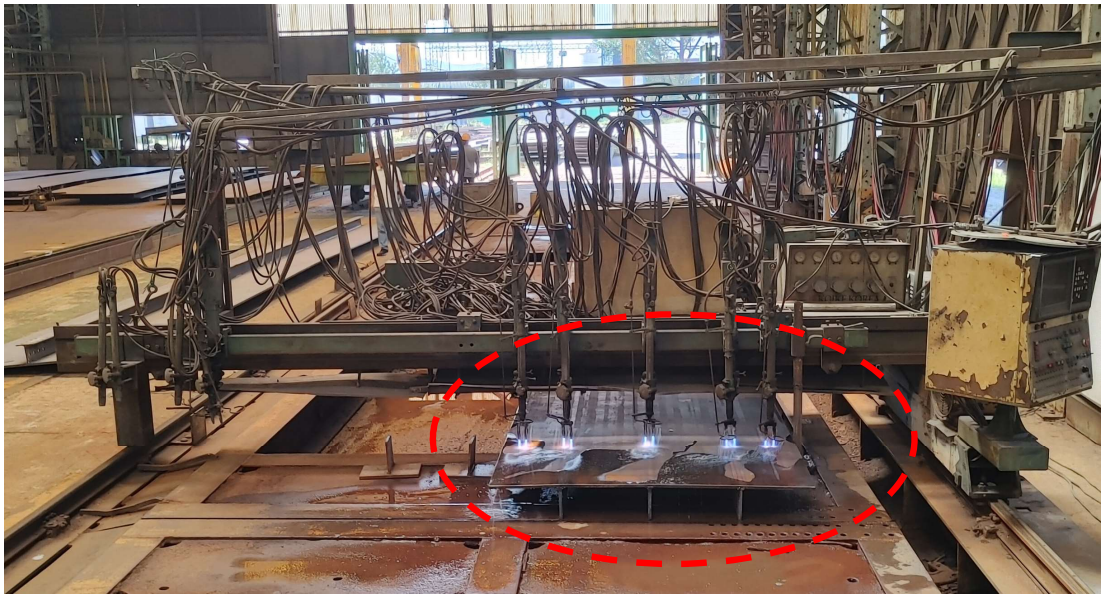


사진 2.19 열교정



사진 2.20 종리브 및 횡리브 조립 완성 상태

(2) 플레이트거더 시험 제작

사진 2.21은 플레이트거더 제작을 위해 플랜지와 웨브의 가용접 완료 상태를 보여준다. 플랜지와 웨브의 본용접 후 사진 2.22에서와 같이 롤러 교정을 수행하였다. 사진 2.23 및 2.24는 수직보강재 및 수평보강재의 설치 사진을 보여준다. 본 연구는 교량 제작성 평가 목적이므로 종리브와 횡리브의 강판 부착성 제작 평가결과는 2.3.2(1)에서 제시하였고 이 플레이트거더에는 수평보강재(1단), 수직보강재(1쪽면)를 적용한 보강재의 조립성 평가를 수행하였다. 수직보강재는 변형량이 크지 않아 작업성에 별 문제가 없는 것으로 나타났다. 수평보강재는 길이가 2.9m로 일반적인 수평보강재보다 커서 변형량이 다소 크게 발생하였고, 이러한 경우 수작업에 따른 취부 시 작업능률은 약간 떨어지는 것으로 추정되었다.



사진 2.21 플랜지와 웨브 가용접 완료 상태




사진 2.22 플랜지와 웨브 용접 후 롤러 교정




사진 2.23 수직보강재 설치




사진 2.24 수평보강재 설치




사진 2.25 플레이트거더 조립 후 형상

3) 본용접 작업성

일단 가용접이 된 상태에서 후속 작업은 기존의 후판재를 이용하는 경우와 동일하였다. 이것은 이미 앞의 1.3.1에서 검토한 바와 같이 HR 플레이트의 화학적 성분 조성이 용접성을 고려할 때, 후판 HSB380W 강재와 동등 이상이므로, 후판에 적용한 용접재료와 용접방법에 따를 경우 용접 결과도 거의 동일하게 나타날 것으로 판단된다.

2.4 HR 플레이트의 강교량 부재 적용성 평가 종합

2.4.1 설계기준 및 시방서

국내 도로교/철도교 설계기준이나 표준시방서는 강교량 제작용 강판으로 「KS D 3515 용접구조용 압연강재」 또는 「KS D 3868 교량구조용 압연강재」에 따른 강재를 사용하도록 되어 있으며, 강판의 제작 방법 등에 대해서는 규정된 것이 없다. 따라서 HR 플레이트도 후판과 같이 「KS D 3515」 또는 「KS D 3868」의 규정을 만족하는 경우 HR 플레이트의 사용이 현행 설계기준 및 시방서 등에 저촉되지 않는다.

2.4.2 재료강도

HR 플레이트의 경우 재료강도는 현재 일반적으로 사용되고 있는 SM 또는 HSB 강종의 해당 등급에 대한 재료강도 값을 그대로 사용하여도 문제가 없다.

2.4.3 피로강도

HR 플레이트의 충격흡수에너지가 충분히 크고, 강종이 SM 및 HSB에 대한 것이므로 일반적인 구조상세에 대하여 후판의 경우와 동일한 상세범주 및 피로강도를 적용할 수 있다.

2.4.4 부재 제작 작업

가스 절단의 경우 후판과 차이점이 거의 없다. 길이가 긴 종리브의 경우 절단 후 면외 변형이 다소 크게 발생한다. 단순 수작업만으로 취부 및 가용접을 하는 경우 작업시간이 증가할 수 있으나 제작공장에서 일반적으로 사용하는 전용 설비와 지그를 사용하면 후판의 경우와 거의 같은 작업능률을 얻을 수 있다.

횡리브와 거더의 수평보강재 경우에는 그 길이가 짧아서 면외 변형량은 작지만 변형을 수정할 수 있는 전용 설비가 없다. 변형을 수정하기 위해 각 경우에 적합한 방법으로 지그를 이용한 수작업이 이루어져야 하므로 작업능률은 조금 떨어질 수 있다.

본용접은 용접재료, 용접방법, 용접 결과 등 모든 면에 있어서 후판의 경우와 동일하게 적용할 수 있다.

2006년 연구에서는 SM재를 사용하여 상, 하 플랜지는 두께 22mm, 복부는 두께 16mm의 HR 플레이트를 사용하여 거더 높이 1.6m, 플랜지 폭 0.8m, 길이 10m의 거더를 제작하였다. 이번 연구에서는 HSB380W재를 사용하여 상, 하 플랜지는 두께 14mm, 복부는 두께 12mm의 HR 플레이트를 사용하여 거더 높이 1.4m, 플랜지 폭 0.5m, 길이 10m의 거더를 제작하였다. 두 경우 모두 절단 및 조립작업의 전 과정에서 작업 난이도와 완성품의 품질 등이 후판을 사용한 경우와 유사한 것으로 나타났다.

2.4.5 절단 변형량 관리기준

HR 플레이트의 절단에 대한 시험결과와 실제 강교 제작에 적용한 경험에 의하면 절단 작업 과정, 절단 속도, 절단면의 상태, 면내 변형 등은 후판의 경우와 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 절단 후 면외 변형은 후판의 경우보다 다소 크게 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서, 기존 및 이번 연구에서 제작성 평가에 사용한 부재 치수를 토대로 HR 플레이트의 작업성을 확보하기 위하여 절단으로 인한 변형량의 관리기준을 다음과 같이 관리할 것을 추천한다.

(1) 면내 변형량 :
- 후판의 경우와 유사한 수준
- 종리브 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 10m 기준) : 최대 20mm

(2) 면외 변형량 :
- 종리브 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 10m 기준) : 최대 300mm
- 수평보강재 (두께 16mm이하, 폭 150mm, 길이 2.9m 기준) : 최대 60mm
- 웨브, 플랜지 (두께 22mm이하, 폭 1,400mm, 길이 10m 기준) : 최대 20mm

KSSC

Korean Society of Steel Construction

2차 개정판 2024년 11월



HR 플레이트의 교량 적용 가이드