

## 熔接構造論 (II)

(용접이음의 용접결합과 등급에 대하여)

엄 기 원\*

### Welded Joint strength for Design and Performance(II)

K.W. Um\*

#### 4. 용접결합의 영향

용접이음의 피로강도에 중요한 영향을 미치는 첫째 요인은 용접결합이다. 용접이음내의 결합은, 그다지 중요하지 않다고 생각되는 정도의 결합에도, 쉽게 피로강도를 발생시켜, 전구조물의 강도를 잃게 한다.

이하 간단하게 각각의 용접결합에 대해서, 정적 및 피로강도의 저하에 미치는 영향을 서술한다.

용접이음의 시공등급은 용접이음의 중요한 제작조건을 주는 것이다. 여기에는 외부 용접결합(undercut를 정도에 의해 분류)외에 내부 용접결합(내부의 용접결합을 X선 등급에 의해 분류)도 고려하고 있다.

용접이음(맞대기, K이음 또는 fillet)이 시공등급의 어떤 class에 있는가에 의해서 내부결합을 판단할 수 있다.

3-3절에 이미 이음의 피로강도에 미치는 용접이음의 영향에 대해서 최초의 비교를 행했다. 거기서 서술한 시공등급은 전부 무결합의 용접이음을 기초로 한 것이다. 무결합용접 bead에서도 지단부를 가공하면, 피로강도가 다시금 높게 된다고 하는 예에서도 이하 서술하는 결합은 쉽게 이해되는 것이다.

#### 4.1. 내부용접결합

용접이음내부의 용접결합, 즉 내부의 notch는 주로 crack, 기공, 융합불량, root부의 용입부족, slag잠입 등에 의한 것이다.

정적하중을 받는 구조물에서는 상당히 큰 내부의 용접결합에서도 강도 또는 항복점을 그다지 저하시키지 않는다. 그러므로, 정적하중의 경우에는, 이와 같은 용접이음의 결합장소의 제거를 엄밀하게 구할 필요는 없다. 그림 16에, 시공등급 IIA, IIB 및 III의 맞대기 이음의 정적강도(항복점)를 표시하고 있다. 이러한 값은 극단적인 최저값으로, 각각의 시공등급의 경우 대개 이것보다 높은 값이 정적시험에서 얻어진다.

동적하중의 경우에는 그저 작은 slag잠입으로 맞대기 이음의 피로강도는 대단히 낮은 값으로 되어 끝난다. crack과 같은 결합, 융합불량 및 작은 slag잠입은 특히 좋지 않은 영향을 준다. 그러므로 동적하중이 주로 걸리는 구조물, 예를들면 교량, crane, 기계나 선박의 경우에는 결합을 제거하는 것에 특히 투과검사를 엄밀하게 하는 것이 당연히 필요하다.

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

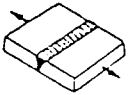
	시공 등급	내부용접결합 X선 투과 검사에 의한 등급	표면의 용접결합 Undercut	항복점응력 $\sigma$ [kg/mm <sup>2</sup> ]
	IB	2	허용되는 Undercut의 깊이: 판두께의 3% 0.5mm이하 이파용접	24.0
	IIA	3	상동: 5%이하 1.0mm이하 이파용접	19.0
	IIB	4	상동: 5%이하 1.0mm이하 이파용접 불필요	17.0
	III	4	상동: 7%이하 1.5mm이하 이파용접 불필요	13.0

그림 16 시공 등급별 St 38강 맞대기이음의 항복점 응력

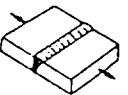
	시공 등급	내부용접결합 X선 투과 검사에 의한 등급	표면의 용접결합 Undercut와 이파용접	피로한도 [kg/mm <sup>2</sup> ]	
				양진 $\sigma_w$	편진 $\sigma_{wh}$
	IB	2 이상	Undercut는 허용치없음 0.5mm이하, 판 두께의 3%이하의 Undercut는 Grinder가공 이파용접있음	9.5	16.0
	IIA	3 이상	상 동 1.0mm, 판두께의 5%이하의 Undercut는 Grinder가공, 이파용접있음	7.0	12.0
	IIB	4 이상	상 동 1.0mm, 판두께의 5%이하의 Undercut는 Grinder가공, 이파용접없음	5.0	9.0
	III	4 이상	1.5mm이하, 판두께의 7%이하의 Undercut는 Grinder가공 이파용접없음	4.5	8.0

그림 17 시공등급별 St 38강맞대기 이음의 편진과 양진의 피로한도

2, 3개의 예로 맞대기 이음의 피로강도에 미치는 내부결합의 영향을 서술하자. 편진 피로한도는 나란히 늘어선 slag잡입에 의해 8-10kg/mm<sup>2</sup>으로 저하한다.

더구나 큰 결함인 경우에는 편진 피로한도가 6-7 kg/mm<sup>2</sup>으로 된다. 정적하중의 구조물에서는 거의 영향을 주지 않는 상당히 작은 결함도 피로의 경우에는 대단히 위험하다. 이에 반해, 재료나 용접이음의 정적강도는 용접결합에 의해 단면적이 상당히 감소하여 비로소 저하가 인지되는 것으로 된다. 피로강도의

경우에는 용접이음, 나아가서는 구조물전체를 위험으로 하는 극히 작은 결함이다. 이 경우에는 용접작업자 및 감독자의 책임이 중대하게 된다.

그림 17에 여러가지 시공등급의 제작 및 검사조건으로 인지되는 내부결합이 편진 및 양진 피로한도에 미치는 영향을 표시한다.

시공등급 IB는 100% 투과 검사를 행한 것이다. 표 7은 X선 사진 판정기준과 등급인데 위험한 내부

결합이 아닌 용접이음으로서 X선 등급으로 최저 2급으로 요구된다.

시공등급 IIA 및 IIB는 발취검사만을 행한 것으로 X선검사로 3급 또는 4급 정도의 내부결합이 존재하는 것으로 고려하지 않으면 안된다.

그림 17에 있어서 시공등급 IIA와 IIB와의 피로한도 차이는, IIA는 이파용접, IIB는 이파용접이 없는 것이다.

시공등급 III는 X선 검사를 하지 않은 맞대기 이음으로서, X선 등급의 5급에 해당하는 결합이 분산하여 존재한다고 고려되어진다.

Fillet용접이음의 경우에는 내부에 용접결합이 없어도 피로한도는 낮고, 내부결합의 영향은, fillet용접부의 큰 notch작용을 고려하면 2차적인 것에 불과하다.

### 4.2. KS방사선 투과시험 등급과 분류 (KSB 0845)

표 2 결합의 분류

종류	결 합 종 류
1 종	기공 및 이와 유사한 둥근 결합
2 종	가늘고 긴 슬래그잡입 및 이와 유사한 결합
3 종	균열 및 이와 유사한 결합

표 3 제1종 결합의 결합 점수 (mm)

모재의 두께	25 이하	25-100이하	100이상
시험시야의 크기	10×10	10×20	10×30

표 4 결합이 1개 일때의 결합 점수

결합의 장경	1.0 이하	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~6.0	6.0~8.0	8.0 이상
점 수	1	2	3	6	10	15	25

결합이 2개 이상일때는 시험시야내에 존재하는 결합의 총화로 한다. 결합이 시험시야의 경계선에 있을때에는 시야외의 부분도 포함하여 측정한다.

표 7 등급분류

등급	시험시야	10×10(mm)		10×20(mm)		10×30(mm)
		10이하	10-25	25-50	50-100	100이상
1 급		1	2	4	5	6
2 급		3	6	12	15	18
3 급		6	12	24	30	36
4 급		결합의 수가 3급보다 많은 것				

방사선 사진의 품질은 다음 4가지 요소에 의하여 결정된다.

1. Distortion(휨)
2. Definition(선명도)
3. Contrast(명암도)
4. Density(농도)

표 5 모재 두께에 따른 결합의 지름

모재의 두께	결합의 지름
25 이하	0.5
25-50	0.7
50 초과	모재 두께의 1.4%

2종의 결합의 결합깊이: 제2종의 결합은 결합의 종류에 따라 다음 표에서 표시된 계수를 곱해서 결합의 길이로 한다.

표 6 결합계수

결합의 종류	계 수	결합과 결합의 간격
슬래그 잡입	1	큰 쪽의 결합의 수
용입부족 융합부족	2	큰 쪽의 결합의 수의 2배

### 4.3 표면의 용접결합

주로 정적하중이 걸리는 구조물에서는, 용접 bead지단부의 undercut는 비교적 작은 영향밖에 없다. 이와같은 용접이음에서는 극히 얼마안되는 강도의 감소도 또한 인지되지 않는다. 그러므로, 정적하중의 구조물에서는 용접이음을 보수하는 것은 필요하지 않는 경우가 많다. 따라서, 각각의 시공등급에서 일정한 크기의 undercut는 보다 깊게되면, 물론 그 만큼 불완전한 용입으로 고려해야 하고, 정적하중의 용접이음에서도 이것을 깎아서 재용접하지 않으면 안된다.

이에 반해, 동적하중의 구조물에서는 극히 얼마

안되는 undercut에서 피로강도는 현저하게 저하한다. 용접이음에서 정적하중의 경우에는 허용될 것 같은 notch에도, 맞대기 이음의 편진피로한도를 절반( $\sigma_{ach} = 9-10\text{kg/mm}^2$ )으로 저하시킨다.

용접 지단부의 결함(undercut)을 grinder로 없애면, 시공 등급 IB의 맞대기 이음의 편진 피로한도는 용이하게  $\sigma_{ach} = 16-18\text{kg/mm}^2$  된다.

이의 한에는 3-5% 정도의 얼마 안되는 단면감소의 undercut는 맞대기 용접이음의 정적강도에는 영향을 주지 않아도, 피로강도에는 위험한 영향을 갖는 것을 표시하고 있다. 이와같이 피로한도가 절반으로 저하한다고 하는 것은, 이값이 허용용력 이하라도, 구조물은 피로한도에 대하여, 이미 안정성을 갖지 않고, 직접 파괴의 위험으로 가고있는 것을 의미하고 있다. 그러므로, 시공등급 IB, IIA 및 IIB의 제작조건에서는 동적하중의 구조물에 대해서, undercut를 완전히 제거하는 것을 정하고 있다. 만일 undercut가 생기면, 위의 허용크기 즉 판두께 3-5% 내의 것은 grinder 가공을 한다. undercut가 허용크기 이상의 것은 주의 깊게 보수용접 하고 grinder로 마무리하여, 필요한 피로한도가 얻어지도록 하여야한다(그림17).

이과용접을 하지 않는 경우의 root의 불완전 용접의 영향은 이미 서술한 대로이다.(그림17 참조). Fillet 용접의 경우에는 용접 지단부의 undercut도 피로강도의 저하에 영향을 준다. 그렇지만 fillet용접의 경우에는 undercut의 유무에 관계없이 대단히 낮은 피로강도를 조건으로하여, 그 저하의 평가는 비교적 작다고 생각된다. 용접 spatter나 bead의 불균일성도 피로균열의 발생점으로 되고, 피로강도를 저하시킨

다.

맞대기 용접이음의 bead의 높이가 지나치면, 이것도 하나의 결함으로서 피로강도에 어떤 영향을 미친다. 이 경우에도 동적하중을 받는 구조물에 대해서는 필요한 피로강도를 저하시키지 않도록 bead높이의 한도를 지키는 것이 필요하다.

#### 4.4. 결 론(결함의 영향)

내부 및 표면결함은, 예를들어 설명했듯이, 정적강도 및 피로강도에 큰 영향을 준다. 그림18에 각각의 시공등급의 제작조건이 편진 피로강도에 미치는 영향을 총괄하여 표시했다. 모재, 원형구멍 부재를 rivet이음과 비교하여 용접이음의 값을 표시하고 있다.

이 data는 용접시공등급을 정확하게 선정하는 것이, 설계자의 책임으로서 얼마나 중요한가를 나타내고 있다. 제작조건을 결정함에는 경제성외에 용접이음에 걸리는 하중의 종류 및 크기가 중요하다.

### 5. 용접이음의 품질(시공등급)

#### 5.1. 서 론

용접 구조물에 한정하지 않고, 구조물을 제작하는 경우에는, 그 상세한 제작기준을 작성하여 필요한 품질을 확보하는 것이 생산관리 상의 기준원칙이다. 용접이음의 강도는 용접 작업자에 의해서 얻어지는 용접부의 품질 또는 적용하는 용접조건에 의해서 영

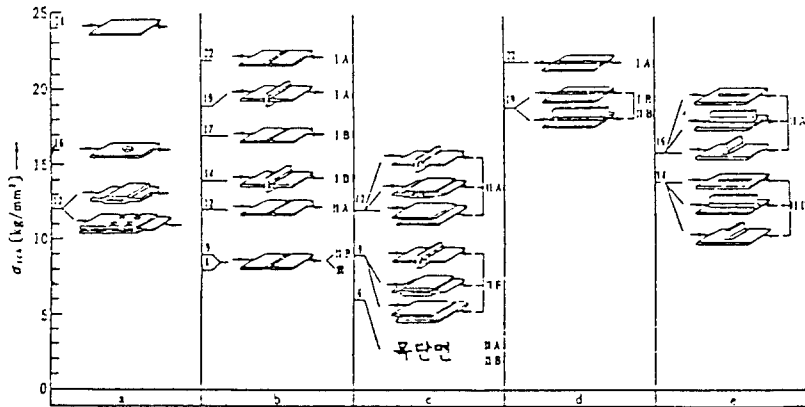


그림 18. 시공등급법 St38 용접이음의 편진 피로 강도

표 8, 철구조 및 기계제작을 위한 독일(TGL 11776) 규격 용접이음 시공등급의 요점

요 목	시공등급				
	IA	IB	IIA	IIB	III
용접작업자의 자격	추 가 시 험		추 가 시 험		기초시험
시공: 어떤갓개 및 이과용접	필 요		필 요	불 필요	불 필요
모재의 두께까지 bead삭제	필 요	불 필요	불 필요	불 필요	불 필요
비 파 괴 시험	필 요		필 요		불 필요

	IA	IB	IIA	IIB	III
Undercut	<5% 또는 1.0mm		<5% 또는 1.0mm		<7% 또는 1.5mm
(a) 정적하중에 대한 끝내기 허용깊이	-		-		<7% 또는 1.5mm
(b) 변동하중에 대한 끝내기 허용깊이	<3% 또는 0.5mm		<5% 또는 1.0mm		-
	상기의 값을 넘으면 notch는 보수용접을 한다. 시공등급 I 과 II, 동적하중일때는 보수용접을한다.				

향을 받으므로 용접 시공조건에 의해 용접이음의 품질을 분류하고 기술적, 경제적 요구를 고려하여 구조물에 적당한 용접이음의 품질을 선정하는 것이 좋다.

표 8은 노이만(Neumann)에 의해서 제안되어 독일(TGL 11776)규격으로 된 시공등급의 요점이다. 이 시공등급에는 다음과 같은 점이 포함되어 있다. 용접작업자의 질(기량점검), 이과용접 및 다중용접의 시공법 및 비파괴 검사와 판정법, 이러한 점에서 평가하여 용접이음의 품질이 평가된다. 용접으로 제작한 물질의 목적에 적당한 시공등급을 선택함에 있어서는 기술적 관점과 경제적 관점에서 검토가 필요하다.

예로서, 어떤 부재의 요구하는 시공등급이 낮은 것에 있어서도 용접작업자는 그 자격의 최선을 다해야만 한다. 그렇게 하면 용접작업후의 후처리에 필요한 시간적, 경제적 낭비가 확실하게 없어진다.

## 5.2 강 구조물 및 기계의 시공등급

강 구조물 및 기계제작의 분류에서, 독일의 시공등급은 다음 3가지로 분류된다(I, II 및 III). 시공등급 I 및 II는 다시 A 및 B로 분류된다. 따라서 설계자는 다섯가지 시공등급 중에서 적당한 것을 선택하지 않으면 안된다. 시공등급 IA는 최고 품질의 것으로서, 비파괴 검사를 필요로한다. 이에 대하여 시공등급 III은 어떠한 하중도 지지하지 않는 용접이음으로 생각하는 것이 좋다.

강구조물 및 기계시공등급의 요점을 모아서 표 8에 표시한다. 이표에서는 다시 각 시공등급에서 허용되는 undercut조건, 가접용접의 종류 및 crater, tap판의 사용 등이 규정되고 있다.

시공등급의 선택에 있어서는, 재료의 절약(시공등급 IA, IB)와 제조 비용절감(시공등급(IIB)과 어느 쪽을 주로 하는가 잘 검토하지 않으면 안된다.