

特輯 : 건축 및 교량 강구조물의 설계 및 용접시공

## 강구조물의 용접부 설계

차 재 은

Weld Connection Design for Steel Structures

J. E. Cha



차재은/현대중공업  
(주)/1959년생/철구조  
설부에 근무중이며 강  
교량등 강구조물 시공  
및 공사관리업무 수행

### 1. 서 론

용접 강구조물의 시공 정도는 용접 시공 과정에서 절대적으로 좌우되는 것 같이 보이지만, 용접부의 설계과정에서 정확한 설계의도와 시공성을 고려한 지침이 반영되지 않을 경우, 시공 과정에서 보다 더 큰 문제점이 초래될 수가 있으며 더 큰 파급 효과가 있다고 볼 수 있다. 용접이음에 대한 정확한 이해와 시공성을 고려한 설계도가 구조물의 초기 설계시 부터 충분히 검토되고 반영 되어야 한다.

또한, 소요강도를 고려한 정확한 이음의 선택과 용이한 시공을 고려한 용접형식의 선택은 경제성과 시공성을 고려할 때 중요한 문제라고 할 수 있다.

강구조물의 접합방법중 다양한 장점을 갖고있는 용접의 특성을 살리고 용접변형등 단점을 사전에 방지할 수 있는 방안이 설계시 부터 충분히 반영되어 구조물의 부실을 사전에 방지해야 하며, 이러한 문제점에 대한 이해와 사전 반영을 위한 내용들을 개략적으로 설명하고자 한다.

### 2. 용접설계 일반

#### 2.1 용접설계 개요

1) 용접에서 설계라 함은 용접구조물의 설계를 의미하며, 용접설계는 용접구조물의 강도에 대한 것과 이음효율에 대한 것으로 분류된다. 이것을 종합하여 용접에서의 허용응력 (ALLOWABLE STRESS OR WORKING STRESS)을 결정하게 된다.

2) 용접구조물의 설계강도는 항복점, 인장강도, 연신률, 단면 수축률등이 기본이 되고 있으나 최근 사용조건에 따라 온도의 영향 및 규칙적인 외력이 작용하든가 또는 충격적인 하중에 대한 문제가 많이 제거되기 때문에 충격시험 (IMPACT TEST)을 하여 용접구조물의 취성파괴 (BRITTLE FRACTURE)를 방지하기 위해 모재의 인성과 사용 온도에 대한 연구가 되고 있는 경향이 있다.

3) 용접이음은 취성파괴외에 응력집중 (STRESS CONCENTRATION)으로 인하여 피로강도 및 CREEP 강도의 감소를 일으킬 염려가 많다. 일반

적으로 올바른 용력계산과 재료 및 구조물의 허용 용력을 적절히 선정함으로써 연성파괴 및 피로파괴 등을 방지할 수 있으며 이와같은 문제를 시험하고 연구하기 위해 용력해석(STRESS ANALYSIS)이 널리 쓰인다.

**2.2 용접설계에서 취급되는 내용**

- 1) 용접구조로 할 것인가, 하지않을 것인가 하는 문제 결정
- 2) 구조계산과 설계도의 작성
- 3) 사용할 자재의 선정 및 원가계산
- 4) 설계, 제작, 검사, 설치, 성능시험 등의 사양 작성

**2.3 용접설계 규정**

- 1) 용접설계는 각종 구조물에 따라 적용이 다르며 일반적으로 각각의 구조물에 대하여 설계기준이 필요하다.
- 2) 각국에서 RULE 또는 표준규격, 협회규격 등이 규정되어 있으나 이들 규격은 용접구조물을 제작 하는데 필요한 최소한의 요구사항을 규정하고 있다.
- 3) 강구조물의 용접설계에 대한 전반적인 규정은 AWS D1.1을 근간으로 하여 AISC(AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION)시방서에 기술되어 있다.
- 4) 국내에서는 아직 AWS CODE와 같이 용접에 대해서 전반적으로 적용할 수 있는 규정이 없는 실정이며, 강구조물 설계시방서가 적용구조물(BUILDING류, 도로교류, 철도교류 등)종류에 따라 발행되고 있으나 아직 미흡한 실정이다.
- 5) 따라서, 국내 강구조물 설계의 참조 기준은 미국의 AWS 규정과 AISC 시방서를 중심으로 국내 설계기준을 참고로 하여 용접 설계시 필요한 사항들을 발췌 사용되는 실정이다.

**2.4 용접설계의 중요성, 설계시 주의사항 및 설계자세**

- 1) 용접구조물의 파손사고의 원인조사에 의하면 설계상의 책임이 50%, 제작상의 책임이 25%, 재

료불량 등에서 발생하는 원인인 25%였다는 보고를 볼 때 구조물의 설계와 제작과는 밀접한 관계에 있어, 설계자와 제작자가 서로 협조하여 공동책임으로 문제 해결에 힘써야 한다.

2) 설계자는 새로운 용접기술의 지식을 도입하고 활용하여 제품의 원가를 감소시키고 공정수를 적게 함으로써 용접의 장점을 살리고 결점을 보충해 나가야 한다.

3) 용접설계는 용접의 이점을 유효하게 활용하고 또한 그 결점을 제거하여 좋은 결과를 얻을 수 있는 용접설계를 하여야 하므로 용접설계에서는 특히 용접이음의 특성을 잘 인식하여야 한다. 용접부 부근은 균일하지 못하므로 국부가열에 의해서 발생하는 용접변형 및 잔류응력의 영향, 야금학적 변질 등 고려해야 할 점이 많으며 공작결과에 미치는 여러조건과 여러효과를 감안하여 용접 공작시 충분히 주의하여 설계하여야 한다.

4) 용접이음은 연결시킬 두 재료를 녹여 붙이는 용접형식이므로 접합의 확실성이 보장 되어야 하고 경제성이 있어야 한다. 아무리 확실성이 있는 용접이라 하더라도 경제성이 없으면 효용가치가 없어지며 용접이음의 확실성과 경제성을 확보하기 위하여 또한 용접작업을 용이하고 능률적으로 시행하기 위해서 적합한 용접설계가 되어야 한다.

**2.5 강구조물 용접(설계)에 사용되는 강재**

**1) 일반 구조용 압연강재(KSD 3503)**

종류의 기호		적 요	강교량 적용두께(mm) (도로교표준시방서)
SI단위	종래단위(참고)		
SS 330	SS 34	강판, 강대, 평강 및 봉강	
SS 400	SS 41	강판, 강대, 평강 및 봉강 및 형강	8~22
SS 490	SS 50		
SS 540	SS 55	두께 40mm이하의 강판, 강대, 평강, 형강 및 지름, 변 또는 맞변거리 40mm이하의 봉강	

비고 : 봉강에는 코일봉강을 포함한다.

2) 용접구조물 압연강재 (KSD 3515)

종류의 기호	종래단위 (참고)	적용두께 (mm)	강교량 적용두께 (mm) (도로교표준시방서)
SWS 400A	SWS 41A	강판, 강대, 형강 및 평강 200이하	8~32
SWS 400B	SWS 41A		8~38
SWS 400C	SWS 41C	강판, 강대 및 형강 100이하	8~50
SWS 490A	SWS 50A	강판, 강대, 형강 및 평강 200이하	8~25
SWS 490B	SWS 50B		8~38
SWS 490C	SWS 50C	강판, 강대 및 형강 100이하	8~50
SWS 490YA	SWS 50YA	강판, 강대, 형강 및 평강 100이하	8~16
SWS 490YB	SWS 50YB		8~32
SWS 520B	SWS 53B	강판, 강대 및 형강 100이하	8~38
SWS 520C	SWS 53C	강판, 강대 및 형강 100이하	8~50
SWS 570	SWS 58	강판, 강대 및 형강 100이하	8~50

비고 : 1. SWS 520B, SWS 520C 및 SWS 570은 인수·인도 당사자 사이의 협정에 따라 두께 150mm까지의 강판을 제조할 수 있다.

2. 두께 100mm를 초과하는 강재는 원칙적으로 건축용의 구조 부재는 적용하지 않는다.

3. 용접이음의 형상 및 설계적용

상세 및 용접자세를 결정하게 된다.

기본적으로 적용되는 용접 기본형식은 그림 3-1과 같다.

3.1 용접이음의 형식

(WELDING TYPE) 분류

1) 강구조물의 연결에 쓰이는 이음형식은 주로 FILLET WELD와 GROOVE WELD(홈용접)의 두 종류가 있으며 그중 약 70~80%는 FILLET 용접이다.

2) PLUG 용접, SOLT 용접, FLARE GROOVE 용접도 있으나 강구조물에 크게 활용되지는 않는다.

3) FILLET 용접은 용접하기 위해 교차되는 부재 표면에 용착 금속을 녹여 붙여 두 금속을 연결시키는 형식이다.

4) GROOVE 용접은 용접될 두 부재 사이에 GROOVE(홈)을 만들고 용착금속을 용입시켜 두 금속을 연결시키는 형식이며 홈의 크기 및 형상에 따라 분류된다.

5) 전반적인 용접공정에서 설계자는 용접형식 및 치수를 결정하며 제작자는 용접방법, 이음매

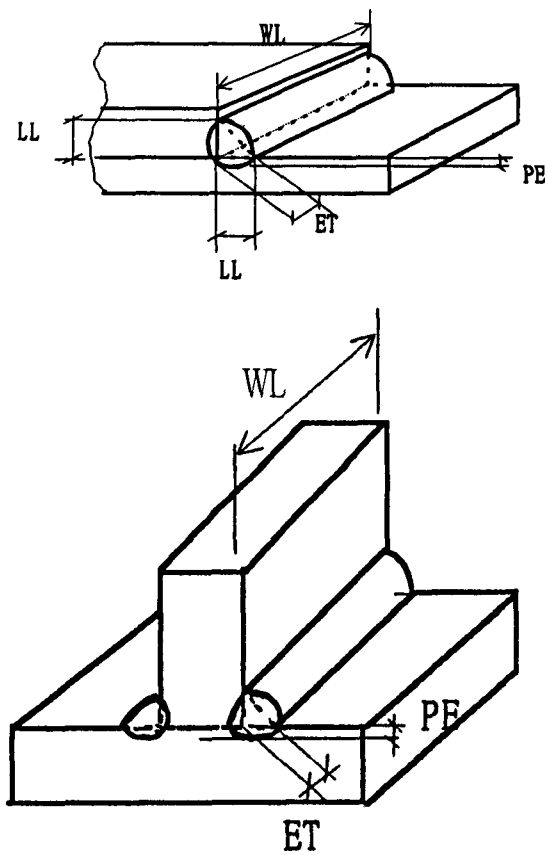
	SINGLE	DOUBLE
FILLET		
SQUARE GROOVE		
BEVEL GROOVE		
VEE GROOVE		
J GROOVE		
U GROOVE		

그림 3-1 용접기본형식 (AWS PREQUALIFIED JOINTS)

3.2 용접형식(WELDING TYPE)별 설계적용

1) FILLET WELD

a) FILLET WELD는 삼각단면을 이루는 형상이며 이상적인 형상단면은 양쪽 LEG LENGTH가 동일한 직각 이등변을 이루는 것이며, 각부 명칭은 그림3-2-1-a와 같다.

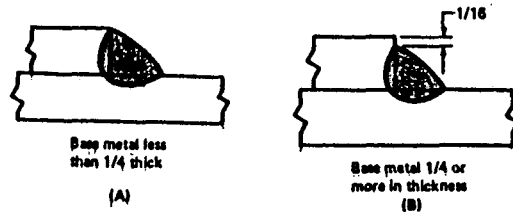


LL : LEG LENGTH (다리길이)  
 PE : PENETRATION  
 ET : EFFECTIVE THROAT (유효목두께)  
 WL : WELD LENGTH (용접길이)

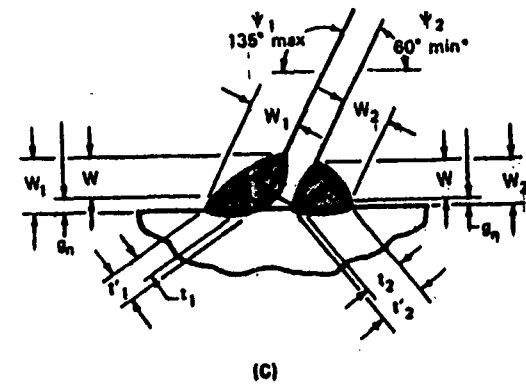
그림 3-2-1-a FILLET 용접의 구조

b) 실질적인 FILLET WELD의 단면형상은 도면에 표기된 것과는 차이가 있고 용착물(WELD

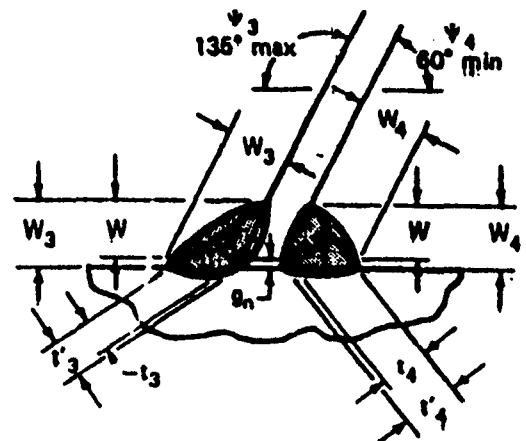
DEPOSIT)이 이루는 각도는 다양하며 AWS과 AISC에서 규정하고 있는 각도는 60°에서 135° (SKEWED T-JOINTS) 까지이다. LAP JOINT에 있어서 FILLET WELD의 MAXIMUM SIZE와 SKEWED T-JOINTS 형상은 그림 3-2-1-b와 같다.



Maximum size of fillet weld along edges



(C)



(D)

Skewed T-joints

그림 3-2-1-b MAXIMUM SIZE OF FILLET WELD ALONG EDGES, SKEWED T JOINT

c) FILLET WELD의 형태에 따른 종류는 T-JOINT, LAP JOINT, CORNER JOINT 등이며 용접선의 방향과 힘의 방향이 이루는 각도에 의한 FILLET WELD, 용접선의 방향과 힘의 방향이 경사진 경사 FILLET WELD가 있다.

FILLET WELD의 종류는 그림 3-2-1-c (1) & (2)와 같다.

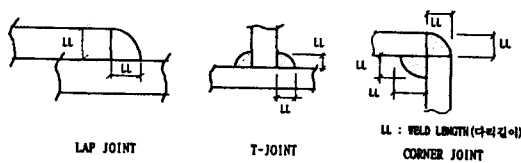


그림 3-2-1-c(1) FILLET WELD의 종류(형태)

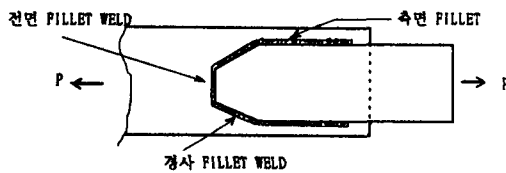


그림 3-2-1-c(2) FILLET WELD의 종류(용접선과 힘방향)

d) FILLET WELD의 설계시 다음의 사항이 고려되어야 한다.

① 용접설계의 기본이 되는 FILLET WELD의 유효 단면적은 유효 용접길이에 유효 목두께 (EFFECTIVE THROAT)를 곱한 것이며, 용접의 응력은 작용하는 하중의 방향이 어느 방향이던지 유효단면에 작용됨을 고려해야 한다.

② 곡선형태에 대한 FILLET WELD의 유효 길이는 용접 유효목의 중심선을 따라 계산되어야 한다.

③ FILLET WELD의 유효길이는 끝돌림 길

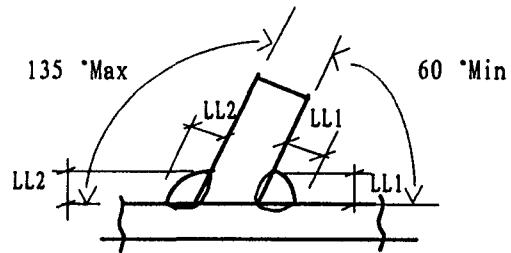
이를 제외한 치수로 한다.

④ 용접의 유효 목두께는 이음부의 ROOT로부터 용접된 삼각형 사면까지의 최단거리가 되어야 하며, 용입이 깊은 SAW(SUBMERGED ARC WELDING)나 CO<sub>2</sub>용접에 대해서는 이론적 목두께에 일정한 용입깊이(용접치수가 3/8"이상일 경우 0.11"추가)를 추가하나 이 경우는 용접작업 결과 검사시에만 검토(설계시 반영 안함) 한다.

e) SKEWED T-JOINT의 용접설계

① SKEWED T-JOINT에 대한 FILLET WELD의 경사 한계는 60°에서 135°까지이다. (AWS, AISC)

② SKEWED T-JOINT에 대한 FILLET WELD의 LEG LENGTH는 직각인 경우에 비하여 일정한 FACTOR를 적용하여 설계에 반영해야 한다. (그림 3-2-1-e)



60° 일 경우  $LL2 = 0.71 \times LL1 = 0.71LL1$

120° 일 경우  $LL2 = 1.23 \times LL1 = 1.23LL1$

③ SKEWED T-JOINT의 각도가 60° 이내 일 때 용접은 허용되나 FILLET WELD 대신 COMPLETE JOINT PENETRATION GROOVE WELD(전면용입 홈 용접)를 적용하는 것이 바람직 하다.

각도	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°
FACTOR	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03
FACTOR	각도	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°
135°	1.08	1.12	1.16	1.23	1.25	1.28	1.31	

그림 3-2-1-e SKEWED T-JOINT LEG LENGTH 계산 (AWS)

2) 완전용입 홈용접 (COMPLETE PENETRATION GROOVE WELD)

a) 홈 (GROOVE) 용접은 맞대기 이음부 모재의 끝단에 홈을 만들고 용착 금속으로 채우는 용접이며 용접의 예는 그림 3-2-2-a와 같다.

b) 홈용접은 모두 연속용접이며 단속용접은 적용되지 않는다.

c) 홈용접의 형상은 다음과 같다.

- ① I형 (SQUARE GROOVE)
- ② V형 (SINGLE VEE GROOVE)
- ③ V형 (SINGLE BEVEL GROOVE)
- ④ U형 (SINGLE U GROOVE)
- ⑤ J형 (SINGLE J GROOVE)
- ⑥ X형 (DOUBLE VEE GROOVE)
- ⑦ K형 (DOUBLE BEVEL GROOVE)
- ⑧ H형 (DOUBLE U GROOVE)
- ⑨ 양면 J형 (DOUBLE J GROOVE)

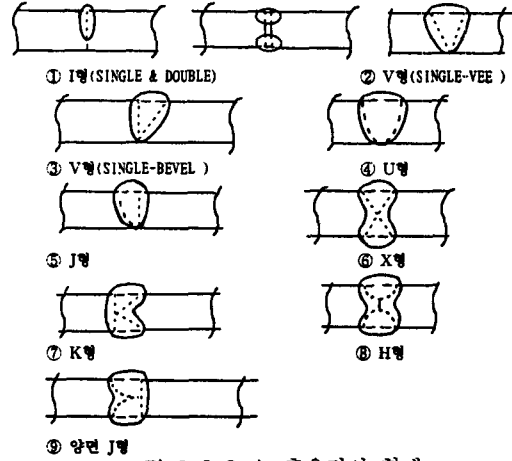


그림 3-2-2-d 홈용접의 형태

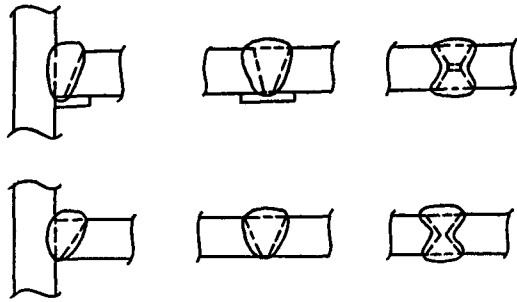


그림 3-2-2-a 완전용입 홈용접 예

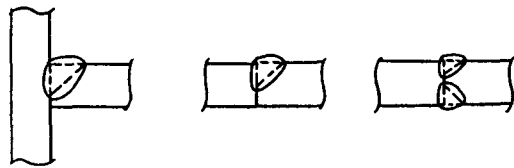


그림 3-2-3-b 부분용입 홈용접 예

d) 각종 홈의 형태는 아래 그림 3-2-2-d와 같다.

e) 홈용접의 형태별 특성은 다음과 같다.

① I형 용접

특별한 홈가공의 필요성이 없으며 강판 두께의 제약을 받게 된다.

② V형 용접

비교적 홈의 가공이 용이하며 일반적인 용접이나 두께가 두꺼운 경우 각 변형의 우려가 있어서 두꺼운 강판에 대한 설계시에는 변형에 대한 검토가 필요하다.

③ U형 용접

후판 용접시 주로 사용되며 한면 용접으로는 홈의 가공은 어려운 편이지만 BEAD폭이 작고 용착 금속량도 적다.

④ X형, K형 용접

V형 용접의 양면 홈 방법으로 후판에 사용되며 V형 용접의 각 변형을 보완할 수 있다.

⑤ H형 용접

후판 용접시 양면 홈을 만드는 방법으로 아주 두꺼운 강판에 사용된다.

3) 부분용입 홈용접 (PARTIAL PENETRATION GROOVE WELD)

a) 부분 홈용접은 두꺼운 강판이나 BOX COLUMN 등에 적용되며 이음부의 응력 전달이 완전용입을 필요로 하지 않는 경우와 뒷면 용접에 대한 BACK GOUGING이나 BACKING BAR의 부착이 불가할 경우 적용된다.

(용접의 예는 그림 3-2-3-b와 같다.)

b) 부분용입 홈용접은 용접의 유효두께 또는 적용부재의 두께를 도면상이나 시방서에 정하여 적용하며 강제두께의 내력을 발휘할 수 없기 때문에 연성거동이 일어나는 곳에서 사용되는 것은 곤

란하다.

c) 부분용입 홈용접의 모재가공은 완전용입의 홈용접과 비슷하며, 유효목 두께는 이음부 모재보다 적게 적용된다.

d) U형, H형(DOUBLE U형), J형, 양면J형 등의 홈용접을 제외한 V형, X형, K형 등의 용접부 유효목 두께는 그림 3-2-3-d와 같이 한면 V, K 용접의 개선부에서 3mm 제외한 치수로 설계(계산)하는 것이 일반적이다.

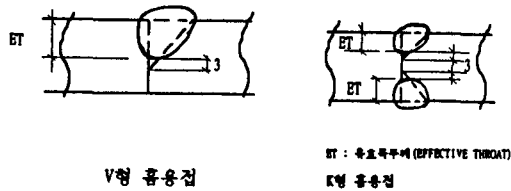


그림 3-2-3-d 부분 홈용접의 유효목 두께

4) 플러그 및 스톱트용접 (PLUG AND SLOT WELD)

a) 겹쳐진 두 강판중 한쪽 강판에 구멍을 뚫은 뒤 그 구멍에 용착금속을 채워 넣는 형식의 용접을 PLUG 용접이라 하며, SLOT HOLE 형상의 구멍에 채워넣는 경우 SLOT 용접이라 한다. (그림 3-2-4-a)

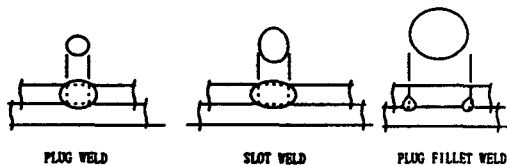


그림 3-2-4-a PLUG 및 SLOT 용접의 형태

b) PLUG 및 SLOT 용접은 좌굴하중 방지용이나 형강 제작시 덧댐판의 부착을 돕는 경우에 적용되며 인장하중 받는 곳 등 중요 용접부에는 사용되지 않는다.

5) 플레어 홈용접 (FLARE GROOVE WELD)

a) 플레어 홈용접은 이음부의 한쪽 또는 양쪽 부재에 홈표면이 오목한 경우에 적용되며 홈용접의 일종이다. (그림 3-2-5-a)

b) 홈의 형상은 대부분 원봉강, 원형 모서리 및 부재의 굽힘에 의한 형상에 의해 형성된다. 일반적으로 완전용입은 어렵다.

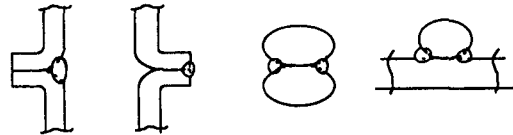


그림 3-2-5-a FLARE 용접형태

6) 가용접 (TACK WELD)

a) 가용접은 용접 이음부에 대한 본용접 실시 전까지 부재를 필요위치에 고정시켜 주는 역할을 하며 구조물의 응력에 구애받지 않고 고정시킬 수 있는 정도의 크기이면 되나 시방에 따라 최소한의 치수는 정해진다.

b) 가붙임 용접은 그 목적이 완료된 후 GOUGING 등으로 제거할 경우도 있으나 본용접에 따라 전부 녹아버릴 경우도 있는데 본용접의 품질에 미치는 영향을 고려하여 본용접과 같이 양호한 품질의 용접이 필요하다.

c) 가용접 길이는 80mm 이상을 규정(도로교 표준시방서)하며 가용접의 LEG LENGTH는 4mm 이상, 가용접 길이를 80mm 이상으로 하는 것은 용접부의 ROOT 균열 방지에 목적이 있다.

7) 용접형식 (WELDING TYPE) 결정시 고려사항은 아래와 같다.

a) 용접은 용이한 자세에서 시공할 수 있도록 형식이 결정 되어야 하며, 경제성을 고려하여 최소량의 용착금속을 최소 시간내에 용접이 수행될 수 있도록 하여야 한다.

b) 모서리 (CORNER) 또는 T-이음의 경우 홈용접이나 FILLET 용접 시공시 발생될 수 있는 LAMELLAR TEARING (다층균열) 방지를 위한 이음매가 선정 되어야 한다.

c) 양면 용접인 K형 홈용접, X형 홈용접이나 H형 홈용접은 같은 형태의 V형 또는 J형 홈용접에 비해 용착량이 적어 경제적이며, VEE나 BEVEL 홈의 형상은 FLAME CUT가 가능하므로 ARC-AIR GOUGING 가공이 필요한 J형 또는 U형 용접보다 경제적이다.

d) FILLET 용접의 경우 용접부의 내력은 용접 SIZE에 비례하고 용착금속의 양은 면적(용접 SIZE의 자승)에 비례하여 증가하므로 경제적인 용접 시공을 위해 용착량이 최소화될 수 있는 용접 SIZE 및 용접길이를 선택해야 한다. (용접 SIZE가 작고 용접길이가 긴 것이 경제적임)

e) 용접형식 선정시 용접이 불가능하거나 어려운 경우를 고려하여야 하며 용접시공이 어려울 경우 결함의 발생률이 높다는 것을 고려해야 한다.

f) 각 용접 형식 결정시 비파괴검사 수행에 무리가 없는지를 검토하여야 한다.

### 3.3 용접이음부의 형상(WELD JOINT TYPE) 분류

용접이음부의 형상은 맞대기 이음(BUTT JOINT), 겹침 이음(LAP JOINT), T형 이음(TEE JOINT), 모서리 이음(CORNER) 및 끝단부 이음(EDGE JOINT) 등이 있다.

### 3.4 용접이음부의 형상(WELD JOINT TYPE)별 설계적용

#### 1) 맞대기 이음(BUTT JOINT)

a) 맞대기 이음은 두 개의 강판을 동일 평면내에 연결하는데 적용된다.

b) 맞대기 이음에는 홈용접(GROOVE WELD)이 적용되며, 완전용입과 부분용입의 형식으로 양면 홈용접(DOUBLE GROOVE WELD), 한면 홈용접(SINGLE GROOVE WELD) 사각 홈용접(SQUARE GROOVE WELD)으로 구분된다. (그림 3-2-2-d)

c) FILLET 용접은 맞대기 이음에서 사용하지 않으며 연결되는 두 개의 강판두께가 동일할 경우가 가장 유리하나 동일하지 않을 경우 CHAMFERING에 의해 (두께 조정을 위한 두께경사 절단) 연결부의 두께를 맞추어 적용한다.

d) 맞대기 용접 이음은 PIPE, GIRDER의 WEB 및 FLANGE, TANK 강판, 튜브형강 등에 적용된다.

e) 어느 용접이나 동일하나 특히 맞대기 이음에 대해서는 현장 용접시공이 어려우므로 가능한

공장용접이 가능토록 설계해야 한다.

#### 2) 겹침 이음(LAP JOINT)

a) 겹침 이음은 두 개의 강판 또는 구조형강에서 두 부재가 겹치도록 하는 용접이며 주로 FILLET WELD가 적용된다.

b) PLUG 또는 SLOT 용접도 겹침이음에 자주 이용되며 구부러진 강판, PIPE, TUBE 등의 모서리에는 플레어 홈용접(FLARE GROOVE WELD)이 적용된다. 겹침이음의 형상은 그림 3-4-2-b와 같다.

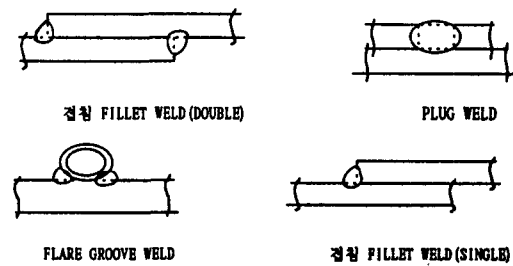


그림 3-4-2-b 겹침이음의 용접형상

#### 3) T형 이음(TEE JOINT)

a) T형 이음은 두 개의 강재중 1개가 다른 강재의 표면에 수직으로 부착되는 경우에 적용되는 용접 이음이다.

b) T형 이음은 연결부재가 30°에서 150°사이의 각도가 형성되도록 SKEWED 형태로 용접되는 경우에도 적용되며, 60°에서 135°경사각을 이루는 경우에 한해 FILLET WELD를 허용하고 있다. (그림 3-2-1-b 참조)

c) 일반적으로 T형 이음의 용접형식은 FILLET WELD가 적용되며, FILLET WELD로 허용되는 경사각내라고 하더라도 후판이나 연결부재의 전체 내력이 필요한 경우는 홈용접이 유리하다.

d) T형 이음에 적용되는 용접은 한면 FILLET WELD, 양면 FILLET WELD, 한면 GROOVE WELD, 양면 GROOVE WELD 등이 있으며 그림 3-4-3-d와 같다.

e) T형 이음은 다층균열(LAMELLAR TEARING)에 의한 영향이 있으므로 검토가 필요하다.



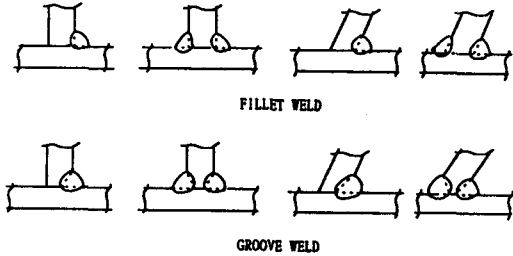


그림 3-4-3-d T형 용접이음

4) 모서리 이음 (CONER JOINT)

- a) 모서리 이음은 두 개 강판의 모서리에 연결되는 T형 이음과 유사한 이음 형태이다.
- b) 모서리 이음의 형상은 그림 3-4-4-b와 같다.
- c) 모서리 이음은 다층균열 (LAMELLAR TEARING)에 대한 방지를 위한 고려가 필요하다.

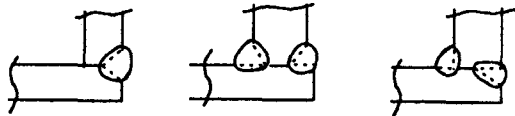


그림 3-4-4-b 모서리 이음 형상

5) 끝단부 이음 (EDGE JOINT)

- a) 끝단부 이음은 평행한 강판 또는 동일한 쪽의 형강을 단부에서 연결할 때 적용된다.
- b) 끝단부 이음의 형상은 그림 3-4-5-b와 같다.
- c) 끝단부 이음의 경우에도 다층균열에 대한 방지를 위한 고려가 필요하다.

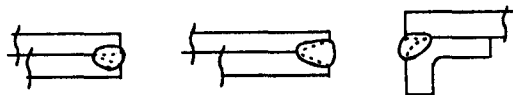


그림 3-4-5-b 끝단부 이음 형상

4. 용접규격 요건

용접시에 적용되는 요건은 적용 규격별로 그 기준이 차이가 있으나 근본적인 차이점은 없다. 여기

에서는 규정을 중심으로 국내 적용 규격등 도로교 표준 시방서, 강구조 계산규준 및 강철도교 설계표준 시방서에서 정하는 용접 설계 요건을 비교 검토한다.

4.1 FILLET 용접, 부분용입 홈용접의 최소치수

1) FILLET 용접의 최소치수는 표 4-1-1와 같다.

표 4-1-1 FILLET 용접의 최소치수 (AISC)

접합재의 두꺼운쪽 강판두께 (in)	FILLET 용접의 최소각장 (in)	비 고
1/4 이하	1/8	
1/4~1/2 이하	3/16	
1/4~3/4 이하	1/4	
3/4 이상	5/16	

2) 부분용입 홈용접의 유효목 두께는 표4-1-2와 같다.

표 4-1-2 부분 홈용접의 최소 유효목 두께 (AISC)

접합재의 두꺼운쪽 강판두께 (in)	FILLET 용접의 최소각장 (in)	비 고
1/4 이하	1/8	
1/4~1/2 이하	3/16	
1/4~3/4 이하	1/4	
3/4~1½ 이하	5/16	
1½~2¼ 이하	3/8	
2¼~6 이하	1/2	
6 이상	5/8	

3) 용접의 치수는 접합되는 부재중 두꺼운쪽에 따라 결정되며 용력의 검토 결과 필요할 경우를 제외하고는 접합되는 모재중 얇은판의 두께를 초과할 필요는 없다. (AISC)

4) FILLET 용접은 등각장을 원칙으로 하며, 중요 부재의 용력을 전달하는 FILLET 용접의 치수는 6mm 이상으로 하고, 다음의 제한내에 있는 것을 표준으로 한다. (도로교 표준시방서 및 강철도교 설계표준 시방서)

$$t_1 > S \geq \sqrt{2t_2}$$

$t_1$  = 얇은쪽의 모재두께 (mm)

$t_2$  = 두꺼운쪽의 모재두께 (mm)

S = 용접각장 (mm)

### 4.2 FILLET 용접의 최대치수

1) 겹침용접의 FILLET 용접의 최대치수는 판두께 1/4" 미만인 철판의 경우는 판두께 이하로 하며, 1/4" 이상인 경우는 특별히 지적된 경우를 제외하고 1/16"를 뺀 치수 이하로 한다. (AISC, 그림 4-2-1)

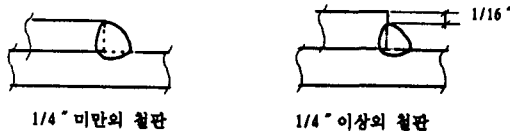


그림 4-2-1 FILLET 용접의 최대치수

### 4.3 FILLET 용접의 길이

1) 필요 강도에 따라 설계된 FILLET 용접의 최소 유효길이는 용접치수의 4배 이상으로 하거나 용접치수가 유효길이의 1/4 이하로 해야 한다. FLAT BAR를 이용한 인장부재의 단부에 FILLET 용접(LAP JOINT)이 사용될 경우 각 용접길이를 두 용접선 사이의 거리(FLAT BAR 폭) 이상이어야 한다. (그림 4-3-1)

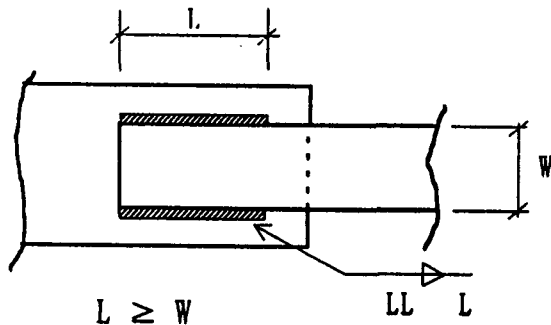


그림 4-3-1 FILLET 용접의 길이

2) 응력이 전달되는 FILLET 용접의 유효길이는

용접치수의 10배 이상, 40mm 이상으로 해야한다. (강구조 계산 기준, 그림 4-3-2)

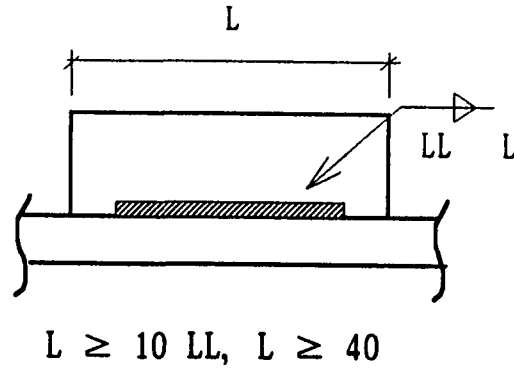


그림 4-3-2 FILLET 용접의 길이

3) 중요부재의 FILLET 용접 유효길이는 용접치수의 10배 이상, 80mm 이상으로 해야한다. (도로교 표준시방서, 강철도교 설계 표준시방서)

### 4.4 단속 FILLET 용접

1) 단속 FILLET 용접은 연속 FILLET 용접의 최소 허용치수로 부터 얻어지는 강도보다 작을 경우에 접합부나 밀착면을 통하여 계산한 응력을 전달하는데 사용된다. 단속 FILLET 용접의 각 용접 유효길이를 용접치수의 4배이상, 1 1/2" 이상으로 해야한다. (AISC, 그림 4-4-1)

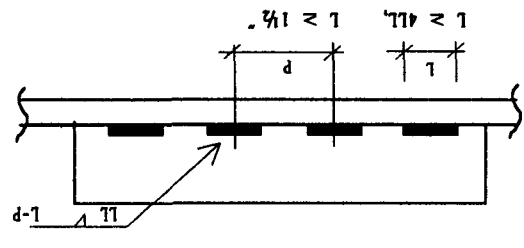


그림 4-4-1 단속 FILLET 용접

2) 단속 FILLET 용접은 응력을 전달하는 이음 및 제작 형강의 각 요소를 접합하는데 사용할 수 있으며, 이때의 유효길이는 끝돌림(END RETURN)용접을 포함하여 전체 용접길이에서 용

접치수의 2배를 제외한 것으로 한다. (강구조 계산 기준)

#### 4.5 FILLET 용접의 끝돌림

1) 부재의 단부나 측면부에서 각각 끝나는 측면 또는 단부 FILLET 용접은 연속적으로 각을 돌리고 그 길이는 용접치수의 2배 이상이어야 한다. (AISC, 그림 4-5-1)

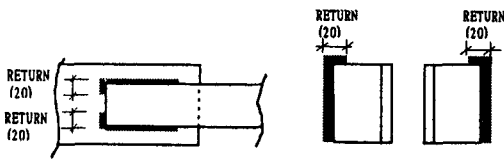


그림 4-5-1 FILLET 용접의 END RETURN

### 5. 용접부 설계

#### 5.1 용접부 설계상의 고려사항

- 1) 용접부 설계시 공수, 경비, 소요시간, 기타 문제점에 대해서 충분한 검토가 필요하다.
- 2) 가능한 아래 보기 (FLAT POSITION) 자세를 많이 선택해야 유리하며, 좋은 품질의 용접시공을 기대할 수 있다.
- 3) 용접작업에 지장을 주지 않도록 작업공간을 고려하여 설계해야 한다. (그림 5-1-3)

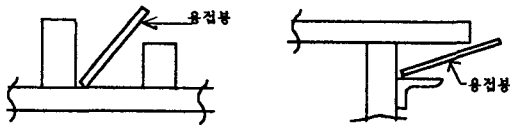


그림 5-1-3 용접 작업공간 확보

- 4) 부재에 작용하는 힘은 원활히 용접부를 통과하도록 해야 한다.
- 5) 맞대기 용접은 전체 길이에 단속됨이 없이 용접되어야 한다.
- 6) 용접변형 및 잔류응력이 최소화될 수 있도록 충분히 검토하여 반영해야 한다.

7) 용접이음을 한군데로 집중시켜 취약부가 발생하는 일이 없도록 설계해야 한다. (그림 5-1-7)

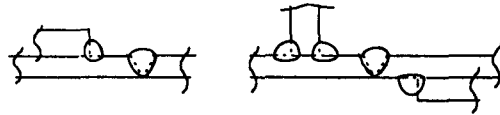


그림 5-1-7 응력집중 설계

- 8) 조립법을 충분히 고려하여 용접부에서 일어나는 응력은 원활한 전달이 이루어지도록 하며 강한 구속상태에서 용접은 피하여야 한다.
- 9) 응력이 큰부분 또는 응력집중부에서 이음선을 두지 않아야 한다.
- 10) 도면에는 설계자가 그 용접의 시공에 있어서 필요하다고 생각되는 사항은 모두 기입하여야 한다.
- 11) 모재나 용접봉의 재질은 시공성이나 적용되는 장소 등을 잘 고려하여 사용하여야 한다.
- 12) 용접의 SIZE는 6mm 이상으로 하며, SEAL 용접이나 내력이 작은 연결은 4mm 정도도 가능하다.
- 13) 응력이 큰 부분이나 응력 집중부에는 이음선을 두지 않아야 하나 불가피한 부분은 응력해소나 피로방지를 위해 GRINDING 등으로 충분한 다듬질을 하도록 지시해야 한다.
- 14) 판두께 방향에 힘이 작용하는 설계는 피해야 하며, 불가피할 경우 FILLET 용접보다 홈용접을 선택해야 한다.
- 15) 단면이 서로 다른 주요부재의 맞대기 이음에 있어서는 두께 및 폭을 서서히 변화시켜야 한다. 도로교 시방서에서는 길이방향의 경사를 1/5 이하로 두도록 하고 있다. (그림 5-1-15)

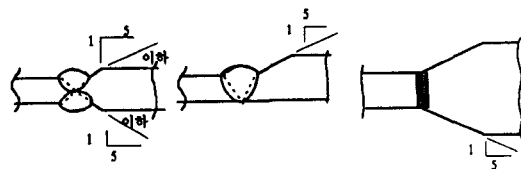


그림 5-1-15 단면이 다른 부재의 맞대기 이음

16) 용접선은 가능한 교차되지 않도록 해야 하며, 불가피할 경우는 그림 5-1-16과 같이

SCALLOP을 시공하는 설계를 하여야 한다.

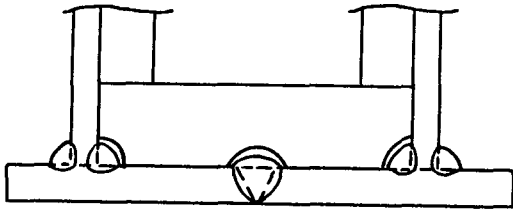


그림 5-1-16 용접부의 SCALLOP 적용

17) 용접부 설계시 힘의 방향이나 힘의 종류에 무리가 없는 적합한 이음을 채택하여야 한다. (그림 5-1-17, → : 힘의 방향)

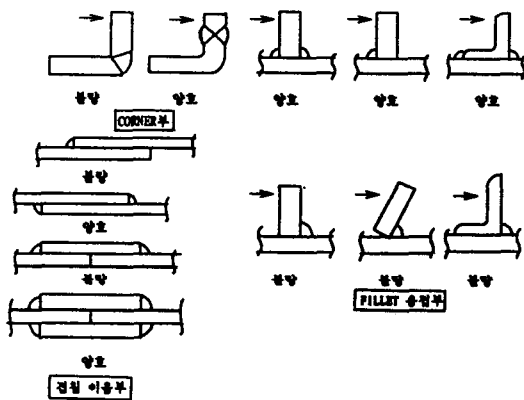


그림 5-1-17 힘의 방향 및 종류에 따른 용접부 상태

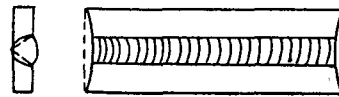
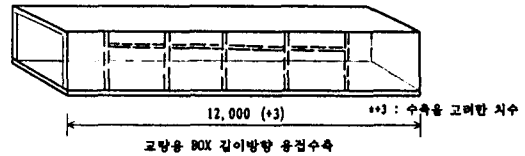
### 5.2 용접에 의한 잔류응력과 변형

1) 강재 압연과정에서 일어나는 잔류응력외에도 용접시에 반복되는 온도변화로 변형이 일어나게 되며, 이 변형을 억제하면 이로인한 잔류응력이 발생된다. 구조물의 모든 부분을 구속하기란 어려우므로 다소의 변형 발생이 불가피하며 변형을 최소화할 수 있는 용접부의 설계가 필요하다.

2) 길이방향의 수축과 변형 (LONGITUDINAL CONTRACTION AND DISTORTION)

a) 용접과정에서 용착금속인 용접비드는 모재보다 수축하는 경향이 있으므로 다소의 변형과 잔류응력이 일어나게 되는데 수축응력은 모재의 억제작용으로 부분적으로 소멸되는 경향이 있다.

b) 용착금 속의 수축량은 용착량이나 용접형식에 차이가 있으며, 교량등 LONG SPAN의 구조물 제작시에는 수축을 고려한 치수관리가 이루어져야 한다. (그림 5-2-2-b)



맞대기 이음 수축 길이방향 용접수축

그림 5-2-2-b 길이방향의 수축

3) 횡방향 수축 (TRANSVERSE CONTRACTION)

a) 고정되지 않은 두강판 사이에서 용접이 이루어질 경우 두강판은 용착금속의 횡방향 수축에 의해 길이방향의 수축이 일어난다.

b) 맞대기 용접작업에 있어서 폭의 수축을 고려한 치수관리가 이루어져야 하며 수축량은 용착량이나 용접형식에 따라 차이가 있다.

4) 횡방향 각변형 (TRANSVERSE ANGULAR DISTORTION)

a) 맞대기 용접에 있어서 첫째층의 용착금속은 두강판을 서로 잡아주는 역할을 하며 다음층의 용착금속은 첫째층의 상단에서 같은 역할을 하게 되는데 첫째층의 용착금속에 의하여 억제되므로 이것을 두강판의 ROOT가 수축되기전에 압축된다.

b) 둘째층의 용착금속의 횡방향 수축으로 용접표면은 서로 당겨지고, 첫째층의 용착금속의 압축에 대한 저항은 연결부 ROOT를 서로 밀게 되므로 두강판은 그림 5-2-4-b와 같이 각변형을 이루게

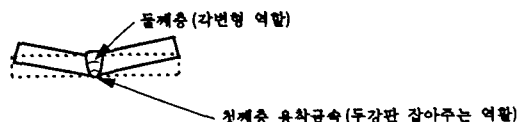


그림 5-2-4-b 맞대기 홈용접의 각변형

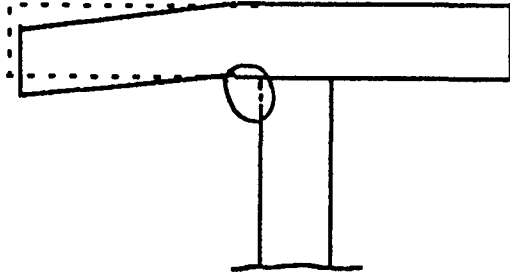


그림 5-2-4-c FILLET 용접의 각변형

된다. 홈용접의 각변형은 용접형식의 적절한 사용으로 줄일 수 있다.

d) 각변형을 줄이기위해 용접전에 예상되는 변형량 만큼의 역변형을 준후에 용접하는 방법이 채택되기도 한다.

5) 다층균열(LAMELLAR TEARING)

a) 두꺼운 판의 두께방향 인장을 받는 용접부에 일어나는 다층균열은 용접부에 치명적인 영향을 미친다.

b) 용접설계에 있어서 다층균열을 최소화할 수 있는 용접부를 선택하는 것이 중요한 일이다. (그림 5-2-5-b)

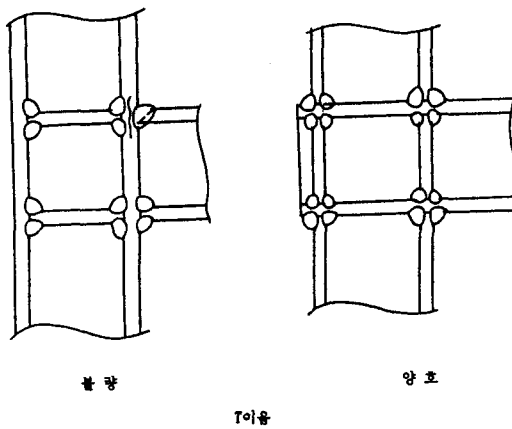
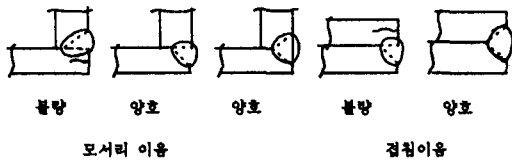


그림 5-2-5-b 다층균열 발생

6) 용접순서(WELDING SEQUENCE)

a) 용접순서는 용접변형을 최소화할 뿐 아니라 용접의 적용 가능 여부를 결정할 만큼 중요한 사항이다.

b) 구석부분에서 먼위치 부터 용접하도록 해야하며, 용접선이 중앙으로 부터 용착 끝부분으로 향하여 용접하는 것을 원칙으로 해야한다.

c) 변형방지를 위해 고려되는 용접법은 대칭법, 후진용접등이 있다.

7) 용접변형의 교정

a) 계획된 용접순서대로 용접을 수행한다 하더라도 변형을 전혀 배제할 수는 없으며 이것은 기계적인 방법이나 국부적인 후열처리로 교정이 가능하다.

8) 응력완화(STRESS RELIEVING)

a) 용접구조물이 정하중을 받게되면 높은 잔류응력과 실제응력이 결합되어 용접부에는 국부적인 소성변형이 일어나게 된다. 이 소성변형은 용접응력을 감소시키며 최종적으로 이것을 소멸시키는 결과를 초래하지만 항복의 조건은 연결부의 기하학적인 특성에 따라 변한다.

b) 구조물 전체에 대한 고려없이 정적인 강도에 미치는 영향에 관한 검토는 불가능하나 과거의 기초적인 연구결과를 기계적인 성립이 양호한 재료의 정적인 강도는 잔류응력의 영향이 없던지, 아주 극소한 것임을 판단하게 되었다.

c) 용접구조물의 동하중을 받는 경우 저탄소 구조용 강재로 된 구조물에는 실험 결과에 의하면 용접응력이 기대되지 않으므로 피로강도가 상당히 감소하는 것으로 알려졌다.

5.3 용접연결부의 피로강도(FATIGUE STRENGTH)

1) 용접연결부의 피로강도는 용접형태와 용접부의 내부구조의 의존도가 크며, 용접으로 인한 단면변화로 일어나는 응력집중의 발생 가능성과 용착결합의 가능성을 우수한 설계와 양질의 용접으로 감소시킬 수 있다.

2) 반복하중의 작용을 받는 FILLET 용접 연결부는 용접 시발점에서 일어나는 높은 응력집중 현상으로 항상 용접균열이 있으며 이로인해 맞대기 용접에 비해 낮은 피로강도를 갖고 있다.

3) 피로에 대해서는 AISC 및 AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS) 시방에 의하면 구조물의 부재 또는 연결부의 설계에 있어서 그것들이 반복하중을 고려사항으로는 예상응력 반복횟수, 그것의 작용범위와 형식 및 연결부의 위치등이다.

4) 용접부에 대한 피로강도를 증가시키는 방법으로는 TIG-MELTING, GRINDING 처리, SHOT PEENING등이 쓰이며, TIG-MELTING 방법이 제일 우수한 것으로 실험결과 보고되어 있다.

## 6. 설계도면 작성

강구조물의 용접설계에 있어서 설계자의 의도가 철골 제작자나 시공자에게 누락됨이 없이 전달되기 위해서는 용접상세가 설계도면에 명확히 표기되어야 한다.

### 6.1 설계도면 작성시 고려사항

- 1) 용접형상은 규정된 표기방법으로 나타내는 것을 원칙으로 하며, 필요시 용접상세를 표기하여야 한다.
- 2) 제작자가 필요한 최저의 용접상세가 설계도

면에 표기되어야 하며 ROOT OPENING, BEVEL ANGLE등은 규정된 범위내에서 제작자가 결정하도록 해야한다.

3) AISC나 AWS등에서 규정 및 인정된 용접형식을 채택해야 한다.

4) 설계도면에 표기되기 전에 사용자재의 용접성이 검증되어야 한다.

5) 현장용접은 시공성 및 경제성에 불리하므로 최대한 공장용접 되도록 설계반영 하여야 한다.

6) 부분용입 홈용접 및 단속 FILLET 용접은 반복하중이 작용하는 부위에서 사용은 피해야 한다.

7) 사용될 용접봉의 종류를 설계시방서 또는 설계도면상(NOTE)에 표기하여야 한다.

## 7. 결 론

강구조물 용접부 설계에 있어서 시공성에 대한 올바른 이해와 경제성을 고려한 용접부의 선택은 강구조물 시공정도에 중요한 영향을 미친다.

지금까지 AWS 나 AISC 기타 국내 용접부 설계 지침을 근거로 검토 하였으며, 용접의 특성을 최대한 살려 설계시 부터 이러한 지침을 근거로 하되 실제적인 시공성 및 경제적인 면을 고려하여 검토하고 설계도에 적용 하므로써 부실시공의 방지는 물론 용접부의 품질 향상이 기대된다.