

여는 글

뿌리산업은 제조업의 근간을 이루는 핵심 산업임에도 불구하고 다양한 생산기반 기술을 습득하는데 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있으나, 산업분야에 대한 세부적인 기술을 연마하고, 이해하기 위한 기술서적은 쉽게 찾아볼 수 없는 것이 현실입니다.

따라서 뿌리산업분야 인력육성 및 인프라를 지원하고 있는 뿌리산업 인적자원개발위원회는 본 개론서를 발간하여 해당분야 산업과 기술을 이해하는데 도움을 드리고자 하였으며, 아울러 평생경력개발경로를 통해 한 분야에서 기술인으로 성장하는데 일조하기 위해 국가직무능력표준(NCS)과 연계하여 지침서로서 활용토록 하였습니다.

앞으로 본 개론서가 특성화고, 일반 대학 전공 학생은 물론, 뿌리산업계에 종사하기 위한 취업예정자와 기업체 소속 근로자, 뿌리산업 관련 훈련 교원 등 모든 분들로부터 환영받기를 기대합니다.

아울러, 본 개론서가 나오기까지 지원을 아끼지 않으신 고용노동부, 한국산업인력공단에 감사의 말씀을 드리며 금형, 금속가공, 표면처리, 용접산업의 발전과 더불어 미래에도 핵심산업으로 도약하는데 작은 도움이 되기를 기대합니다.

2019. 12.

뿌리산업 인적자원개발위원회 위원장 임 영 택
(금형·금속가공·표면처리·용접)

목 차

제1장 용접의 개요	1
1. 접합의 분류	1
2. 용접 원리	2
3. 용접의 역사	7
제2장 피복 아크 용접	10
1. 피복 아크 용접의 원리	10
2. 용접 회로(welding circuit)	13
3. 피복 아크 용접 일반	22
4. 피복 아크 용접 설비	26
5. 피복 아크 용접 작업	28
6. 피복 아크 용접 안전	36
7. 용접용 보호면	38
8. 신체 보호	40
제3장 가스 용접법	42
1. 가스 용접의 개요	42
2. 가스 용접용 가스	47
3. 가스 용접 재료	50
4. 가스 용접 기구	52
5. 가스 용접 작업	55
제4장 절단	57
1. 가스 절단	57
2. 아크 절단	61
3. 가스 가우징	63
4. 산소 창 절단	64
5. 플라즈마 절단	64
6. 레이저 절단	65
7. 수중 절단	65
8. 분말 절단	66
9. 스카핑	67

제5장 다양한 용접 방법 68

1. 불활성 가스 아크 용접	68
2. 이산화탄소 아크 용접	80
3. 서브머지드 아크 용접(Submerged arc welding)	88
4. 플라즈마 아크 용접	95
5. 넌 실드 아크 용접	97
6. 일렉트로 슬래그 용접(Electro Slag Welding, ESW)	97
7. 일렉트로 가스 용접(Electro Gas Welding, EGW)	98
8. 스티드 용접	99
9. 전자 빔 용접	100
10. 원자 수소 용접	101
11. 테르밋 용접	101
12. 그래비티 용접	102
13. 오토콘 용접	102
14. 초음파 용접	103
15. 가스 압접	104
16. 마찰 용접	105
17. 아크 점 용접	105
18. 단락이행 용접(short arc welding)	106
19. 플라스틱 용접	106
20. 레이저 빔 용접	107
21. 고주파 용접	107
22. 로봇 용접	108
23. 전기 저항 용접	108

제6장 용접의 자동화 113

1. 자동제어	113
2. 자동화 로봇 용접	115

제7장 각종 금속의 용접 120

1. 탄소강 용접	120
2. 주철의 용접	122
3. 스테인리스강의 용접	125
4. 알루미늄과 그 합금의 용접	126
5. 구리와 그 합금의 용접	129
6. 티타늄과 그 합금의 용접	131

제8장 용접 설계	133
1. 용접 도면 해독	133
2. 용접 구조물의 설계	160
 제9장 용접 시공	 165
1. 시공 계획	165
2. 용접절차사양서	173
 제10장 용접 검사	 181
1. 용접부의 검사	181
2. 기계적 시험	181
3. 비파괴 검사	184
4. 화학적 시험	188
5. 금속학적 시험	189
6. 현미경 조직 시험	189
7. 기타 시험	190
 제11장 용접 안전	 192
1. 사고와 재해의 의미	192
2. 용접 사고 재해	197
 참고문헌	 203

표 목차

[표 1-1] 전기적 에너지를 이용하는 용접의 종류	5
[표 1-2] 화학적 에너지를 이용하는 용접의 종류	6
[표 1-3] 기계적 에너지를 이용하는 용접의 종류	6
[표 1-4] 용접의 장단점	7
[표 2-1] 피복제의 종류	11
[표 2-2] 심선의 화학 성분	11
[표 2-3] 심선의 절단 길이	12
[표 2-4] 연강용 피복 아크 용접봉의 종류	12
[표 2-5] 고장력강용 피복 아크 용접봉의 종류	13
[표 2-6] 물과 전기의 성질 비교	14
[표 2-7] 교류 아크 용접기의 종류	20
[표 2-8] 교류 아크 용접기 전면 각 부분의 명칭	21
[표 2-9] 교류 아크 용접기 부속 장치	21
[표 2-10] 직류 및 교류 용접기의 비교	22
[표 2-11] 용접 홀더 규격	27
[표 2-12] 용접 케이블 규격	28
[표 2-13] 자세별 용접 전류	31
[표 2-14] 용접 자세별 기호	33
[표 2-15] 구조상 결함의 종류	35
[표 2-16] 차광도 번호	38
[표 2-17] 용접용 보호면의 종류	39
[표 3-1] 가연성 가스의 비교	43
[표 3-2] 아세틸렌가스 중의 불순물	44
[표 3-3] 아세틸렌의 폭발성	44
[표 3-4] 가스 불꽃의 종류	46
[표 3-5] 역류, 역화 및 인화	46
[표 3-6] 아세틸렌 제조방법	47
[표 3-7] 용해 아세틸렌 용기의 특징	48
[표 3-8] 산소 용기의 특징	49
[표 3-9] 연강용 가스 용접봉의 종류	51
[표 3-10] 용제의 종류	52
[표 3-11] 팁의 종류	53
[표 3-12] 전진법과 후진법의 비교	55
[표 4-1] 아세틸렌과 프로판의 비교	59
[표 4-2] 동심형과 이심형의 비교	59
[표 4-3] 아크 에어 가우징	62
[표 4-4] 아크 에어 가우징 작업조건	63
[표 4-5] 가스 가우징 작업조건	63
[표 4-6] 플라스마 절단	64
[표 5-1] 불활성 가스 텅스텐 아크 용접의 장단점	69

[표 5-2] 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 전원	69
[표 5-3] 전극봉의 종류	70
[표 5-4] 용가재 특성	71
[표 5-5] 아르곤과 헬륨의 비교	72
[표 5-6] TIG 용접기 조정 장비 기능	73
[표 5-7] 불활성 가스 금속 아크 용접의 장단점	76
[표 5-8] 불활성 가스 금속 아크 용접의 사용 가스	77
[표 5-9] 불활성 가스 금속 아크 용접의 용융 이행 형태	77
[표 5-10] 불활성 가스 금속 아크 용접의 전진법과 후진법의 비교	78
[표 5-11] 불활성 가스 금속 아크 용접의 영향을 주는 변수	78
[표 5-12] 불활성 가스 금속 아크 용접의 와이어 공급 방식	79
[표 5-13] 불활성 가스 금속 아크 용접 제어	79
[표 5-14] 이산화탄소 아크 용접의 장단점	81
[표 5-15] 이산화탄소 아크 용접 결함	87
[표 5-16] 이산화탄소 아크 용접의 장단점	88
[표 5-17] 용제의 종류	89
[표 5-18] 와이어 지름에 따른 전류 범위	91
[표 5-19] 전진법과 후진법	93
[표 5-20] 플라스마 아크 용접 장단점	95
[표 5-21] 넌 실드 아크 용접 장단점	97
[표 5-22] 그래비티 용접과 오토콘 용접의 비교	103
[표 6-1] 자동화 시스템의 구성 5요소	113
[표 6-2] 자동제어의 종류	113
[표 6-3] 프로그램 제어 방식의 종류	114
[표 6-4] 로봇의 정의	115
[표 6-5] 로봇 사용의 장단점	116
[표 7-1] 탄소강의 성분 원소에 의한 영향	121
[표 7-2] 주철의 장단점	122
[표 7-3] 스테인리스강의 종류	125
[표 7-4] 판 두께 및 자세에 따른 스테인리스강 용접봉 지름 및 전류	125
[표 7-5] 알루미늄합금의 종류	128
[표 8-1] 국제 규격과 국가 규격	133
[표 8-2] 단체 규격	134
[표 8-3] 도면의 크기	135
[표 8-4] 척도의 종류	136
[표 8-5] 주요치수	145
[표 8-6] 기본 기호 사용 보기	146
[표 8-7] 용접 이음부의 기본 기호	150
[표 8-8] 대칭적인 용접부의 조합 기호	151
[표 8-9] 기본 기호 조합 사용 보기	152
[표 8-10] 용접부의 보조 기호	154
[표 8-11] 보조 기호를 적용한 보기	155
[표 8-12] 기본 기호와 보조 기호 조합 보기	156

[표 8-13] 용접 기호의 예외적 사례	157
[표 8-14] 가공방법의 기호 표기	158
[표 8-15] 관의 접속 상태 도시 방법	158
[표 8-16] 신축 이음의 종류	159
[표 8-17] 밸브의 표시 방법	159
[표 8-18] 인장 하중과 응력과의 관계	162
[표 9-1] 보수용접 수정 방법	173
[표 9-2] 용접절차사양서(WPS) 제작자 관련 사항	175
[표 9-3] 용접절차사양서(WPS)에 포함된 모재 및 용접절차에 대한 사항	175
[표 9-4] 모재의 종류	177
[표 9-5] 용접봉	177
[표 9-6] 예열 조건	179
[표 9-7] 후열조건	179
[표 9-8] 정극성과 역극성	179
[표 10-1] 로크웰 경도 시험	183
[표 10-2] 검사 원리에 따른 분류	186
[표 10-3] 검사위치에 따른 분류	186
[표 10-4] 비파괴시험·검사 방법의 장단점	187
[표 10-5] 구조상 결함 필름 판독법	188
[표 11-1] 재해 예방의 원칙	194
[표 11-2] 산업안전보건표지	195
[표 11-3] 등급별 소화 방법	196
[표 11-4] 소화 종류	197
[표 11-5] 화상의 분류	198
[표 11-6] 전류값에 따른 신체 영향	199
[표 11-7] 산소량에 따른 신체 영향	200
[표 11-8] 안전모의 종류	201
[표 11-9] 심정지 후 시간별 경과	202

그림 목차

[그림 1-1] 결합용 공구	1
[그림 1-2] 금속의 소성변형(전위)	1
[그림 1-3] 용접의 원리	2
[그림 1-4] 용접의 종류	3
[그림 1-5] 압접의 종류	4
[그림 1-6] 납땜의 종류	5
[그림 1-7] 용접의 역사	9
[그림 2-1] 피복 아크 용접	10
[그림 2-2] 용접 회로	14
[그림 2-3] 전등 Open 회로 및 Close 회로	15
[그림 2-4] 용접 전기 흐름	15
[그림 2-5] 물의 흐름과 전기의 흐름 비교	16
[그림 2-6] 아크 전압	17
[그림 2-7] 직류 및 교류	17
[그림 2-8] 극성	18
[그림 2-9] 용융금속의 이행 형태	23
[그림 2-10] 무부하 전압과 아크 전압	24
[그림 2-11] 정전류 특성	25
[그림 2-12] 정전압 특성	25
[그림 2-13] A형 안전 홀더의 구조와 명칭	26
[그림 2-14] 용접용 케이블	27
[그림 2-15] 케이블 단자 및 케이블커넥터	28
[그림 2-16] 용접 이음의 종류	29
[그림 2-17] 용접 홈의 종류	29
[그림 2-18] 용접 홈의 명칭	30
[그림 2-19] 홈 각도의 차이	30
[그림 2-20] 루트 면의 차이	30
[그림 2-21] 루트 간격의 차이	30
[그림 2-22] 용접봉의 사양표시	31
[그림 2-23] 아크 발생법	32
[그림 2-24] 용접봉의 각도	32
[그림 2-25] 용접 자세별 용접 방법	33
[그림 2-26] 용접봉 운봉법	34
[그림 2-27] 자세별 운봉법 예	34
[그림 2-28] 빛의 구성	37
[그림 2-29] 필터 플레이트	37
[그림 2-30] 용접 보호구	40
[그림 2-31] 용접용 가죽 장갑	40
[그림 2-32] 방진마스크	41
[그림 3-1] 가스 용접(산소 아세틸렌 용접)	42

[그림 3-2] 불꽃의 구성	45
[그림 3-3] 불꽃의 종류	45
[그림 3-4] 가스 용접용 토치의 구조	50
[그림 3-5] 팁 클리너	53
[그림 3-6] 산소 압력 조정기 및 아세틸렌 압력 조정기	53
[그림 3-7] 압력 게이지의 구조	54
[그림 3-8] 안전기의 종류	54
[그림 3-9] 아세틸렌 역화 방지기	54
[그림 3-10] 전진법과 후진법	55
[그림 3-11] 보안경 및 신체 보호구	56
[그림 3-12] 턴 테이블	56
[그림 4-1] 절단의 원리 및 절단 광경	57
[그림 4-2] 예열 온도가 낮은 경우	57
[그림 4-3] 산소 순도에 따른 영향	58
[그림 4-4] 노즐 형상	58
[그림 4-5] 아세틸렌 팁과 프로판 팁의 비교	59
[그림 4-6] 자동 가스 절단기	60
[그림 4-7] 산소 아크 절단	61
[그림 4-8] 티그 절단	61
[그림 4-9] 아크 에어 가우징 작업	62
[그림 4-10] 가스 가우징	62
[그림 4-11] 가스 가우징 작업	64
[그림 4-12] 산소 창 절단	64
[그림 4-13] 플라즈마 절단의 종류	65
[그림 4-14] 수증 절단	66
[그림 4-15] 분말 절단	66
[그림 5-1] 불활성 가스 아크 용접의 종류	68
[그림 5-2] 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 장치	68
[그림 5-3] 텅스텐 전극봉	70
[그림 5-4] TIG 토치 구조	70
[그림 5-5] TIG 토치 조립 순서	71
[그림 5-6] 세라믹 노즐	72
[그림 5-7] 아르곤 용기 및 압력 게이지 설치 후 가스 유량 조절하기	74
[그림 5-8] 토치 각도	75
[그림 5-9] 이면 백판과 시험편 고정	75
[그림 5-10] 티그 용접 자세	75
[그림 5-11] 불활성 가스 금속 아크 용접	76
[그림 5-12] 불활성 가스 금속 아크 용접 토치	79
[그림 5-13] 이산화탄소 아크 용접	80
[그림 5-14] 이산화탄소 아크 용접의 원리	81
[그림 5-15] 이산화탄소 아크 용접 와이어	82
[그림 5-16] 이산화탄소 아크 용접 토치의 구조	82
[그림 5-17] 이산화탄소 아크 용접기 압력 게이지	83
[그림 5-18] 이산화탄소 아크 용접 장치의 구성	84

[그림 5-19] 용접 전류와 용입과의 관계	85
[그림 5-20] 아크 전압과 비드 형상	85
[그림 5-21] 용접속도와 용입과의 관계	86
[그림 5-22] 와이어 돌출길이	86
[그림 5-23] 전진법과 후진법	87
[그림 5-24] 서브머지드 아크 용접 헤드	88
[그림 5-25] 텐덤식	90
[그림 5-26] 횡 병렬식	90
[그림 5-27] 횡 직렬식	91
[그림 5-28] 서브머지드 아크 용접장치	93
[그림 5-29] 서브머지드 아크 용접 순서	94
[그림 5-30] 플라즈마 발생 원리	95
[그림 5-31] 플라즈마 용접의 종류	96
[그림 5-32] 넌 실드 아크 용접	97
[그림 5-33] 일렉트로 슬래그 용접의 원리	98
[그림 5-34] 일렉트로 가스 용접	98
[그림 5-35] 넬슨식 아크 스테드 용접의 원리	99
[그림 5-36] 전자 빔 용접	99
[그림 5-37] 원자 수소 용접	101
[그림 5-38] 테르밋 용접	101
[그림 5-39] 오토콘 용접장치의 구조	102
[그림 5-40] 초음파 용접	103
[그림 5-41] 가스 압접의 방법	104
[그림 5-42] 마찰 용접	105
[그림 5-43] 아크 점 용접	105
[그림 5-44] 플라스틱 용접	106
[그림 5-45] 레이저 빔 용접	107
[그림 5-46] 고주파 용접	107
[그림 5-47] 로봇 용접	108
[그림 5-48] 전기 저항 점 용접	109
[그림 5-49] 점 용접법의 종류	110
[그림 5-50] 시임 용접	110
[그림 5-51] 시임 용접의 종류	111
[그림 5-52] 돌기 용접의 원리	111
[그림 5-53] 업셋 용접	112
[그림 5-54] 플래시 용접	112
[그림 6-1] 동작 방법에 따른 로봇 분류	117
[그림 7-1] 주철 보수용접의 종류	124
[그림 8-1] 도면의 크기	134
[그림 8-2] 도면의 크기 이해하기	135
[그림 8-3] 반드시 도면에 그려야 할 양식	135
[그림 8-4] 필요시 그려야 할 양식	136
[그림 8-5] 척도의 종류	136

[그림 8-6] 외형선	137
[그림 8-7] (숨)은선	137
[그림 8-8] 중심선	137
[그림 8-9] 지시선	137
[그림 8-10] 치수선	138
[그림 8-11] 치수 보조선	138
[그림 8-12] 파단선	138
[그림 8-13] 가상선	138
[그림 8-14] 절단선	138
[그림 8-15] 피치선	138
[그림 8-16] 선의 종류	139
[그림 8-17] 특수 용도선	139
[그림 8-18] 3각법의 이해	139
[그림 8-19] 1각법의 이해	140
[그림 8-20] 용접 흠의 명칭	140
[그림 8-21] 표시 방법	141
[그림 8-22] 화살표 쪽과 화살표 반대쪽 표시	141
[그림 8-23] 화살표 쪽 및 화살표 반대쪽의 구분	142
[그림 8-24] 기준선의 위치	142
[그림 8-25] 일주 용접	143
[그림 8-26] 현장 용접	143
[그림 8-27] 원칙적인 치수 표시 방법	143
[그림 8-28] 필릿 용접의 치수 표시 방법	144
[그림 8-29] 필릿 용접 깊이의 치수 표시 방법	144
[그림 8-30] 점(spot) 용접	146
[그림 8-31] 용접 구조물 용접기호 기입하기	155
[그림 8-32] 계기의 표시 방법	158
[그림 8-33] 용접 이음의 종류	160
[그림 8-34] 용접 흠 형상의 종류	161
[그림 8-35] 용착부 모양에 따른 분류	161
[그림 8-36] 필릿 용접의 종류	161
[그림 8-37] 필릿 용접의 구분	161
[그림 8-38] 필릿 용접의 표기	161
[그림 9-1] 가용접의 적정 위치	166
[그림 9-2] 맞대기 용접의 보수	166
[그림 9-3] 필릿 용접의 보수	167
[그림 9-4] 용접 진행 방향에 따른 분류	167
[그림 9-5] 비드 쌓기 순서	168
[그림 9-6] 용접부	168
[그림 9-7] 용접부 조직	169
[그림 9-8] 열전도 방향	169
[그림 9-9] 수축과 변형의 종류	171
[그림 9-10] 결함의 보수	172
[그림 9-11] 평판 흠 용접 자세	177

[그림 9-12] 파이프 홈 용접 자세	178
[그림 9-13] 필릿 용접	178
[그림 9-14] 절차 사양서	180
[그림 10-1] 인장 시험	181
[그림 10-2] 브리넬 경도 시험	182
[그림 10-3] 비커스 경도 시험	182
[그림 10-4] 굽힘 시험 방법	183
[그림 10-5] 굽힘 시험 결과	183
[그림 10-6] 충격 시험	184
[그림 10-7] 강판의 맞대기 용접 촬영 배치	185
[그림 10-8] 초음파 검사법	185
[그림 11-1] 하인리히의 재해이론	192
[그림 11-2] 버드의 재해이론	193
[그림 11-3] 재해 예방 대책 5단계	194
[그림 11-4] 경과 시간에 따른 소생률	199
[그림 11-5] 심폐소생술 방법	202



제 1 장 용접의 개요

1. 접합의 분류

가. 기계적 접합

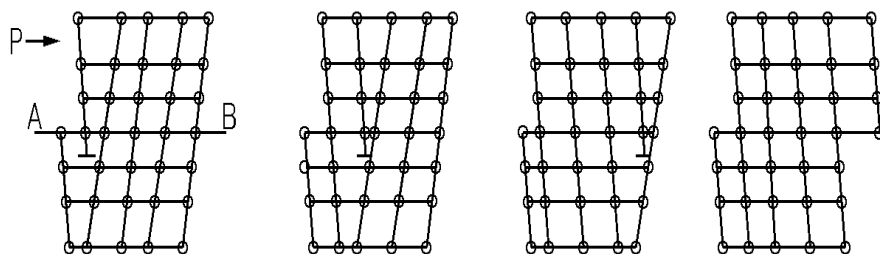
기계적 접합은 기계적 체결이라고도 하며, 공구를 사용하여 볼트, 너트, 리벳 등으로 부품을 체결하는 것을 말한다. 용접과 비교하면 이음 효율이 떨어지고 작업 공정 수가 많아 생산성은 떨어지나, 구조용 체결에서 조립 및 분해가 쉽다는 장점이 있다.



[그림 1-1] 결합용 공구

나. 금속학적 접합

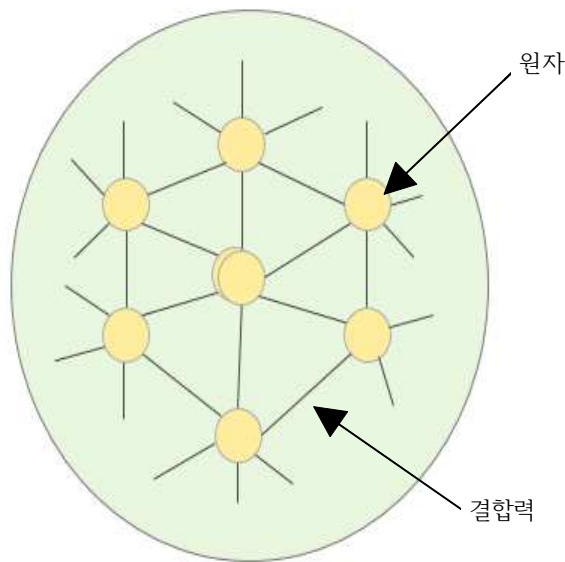
접합하고자 하는 재료의 접합 부위를 가열 또는 외력을 가하여 재료 상호 간에 용해 및 응고, 확산, 소성변형 등의 금속학적 성질을 이용하여 접합한다. 용접은 금속학적 접합으로 기계적 접합과 비교하면 기밀(氣密), 수밀(水密), 유밀(油密)이 우수하여 이음 효율이 높고 작업 공정 수가 줄어 생산성이 높다는 장점은 있으나 열로 인한 잔류응력 발생 및 변형 등이 발생할 수 있다는 단점도 있다.



[그림 1-2] 금속의 소성변형(전위)

2. 용접 원리

용접이란 접합하고자 하는 2개 이상의 물체나 재료의 접합 부분을 냉간, 반응용 또는 용융 상태로 하여 직접 접합시키거나, 접합하고자 하는 두 가지 이상의 물체 사이에 용융된 용가제¹⁾를 첨가하여 간접적으로 접합시키는 것을 말한다. 이것은 뉴턴의 만유인력의 법칙에 따라 접합하고자 하는 두 금속 간의 간격이 10^{-8}cm 즉 1억 분의 1cm 정도 접근시키면 인력이 작용하여 결합하는 것이다.



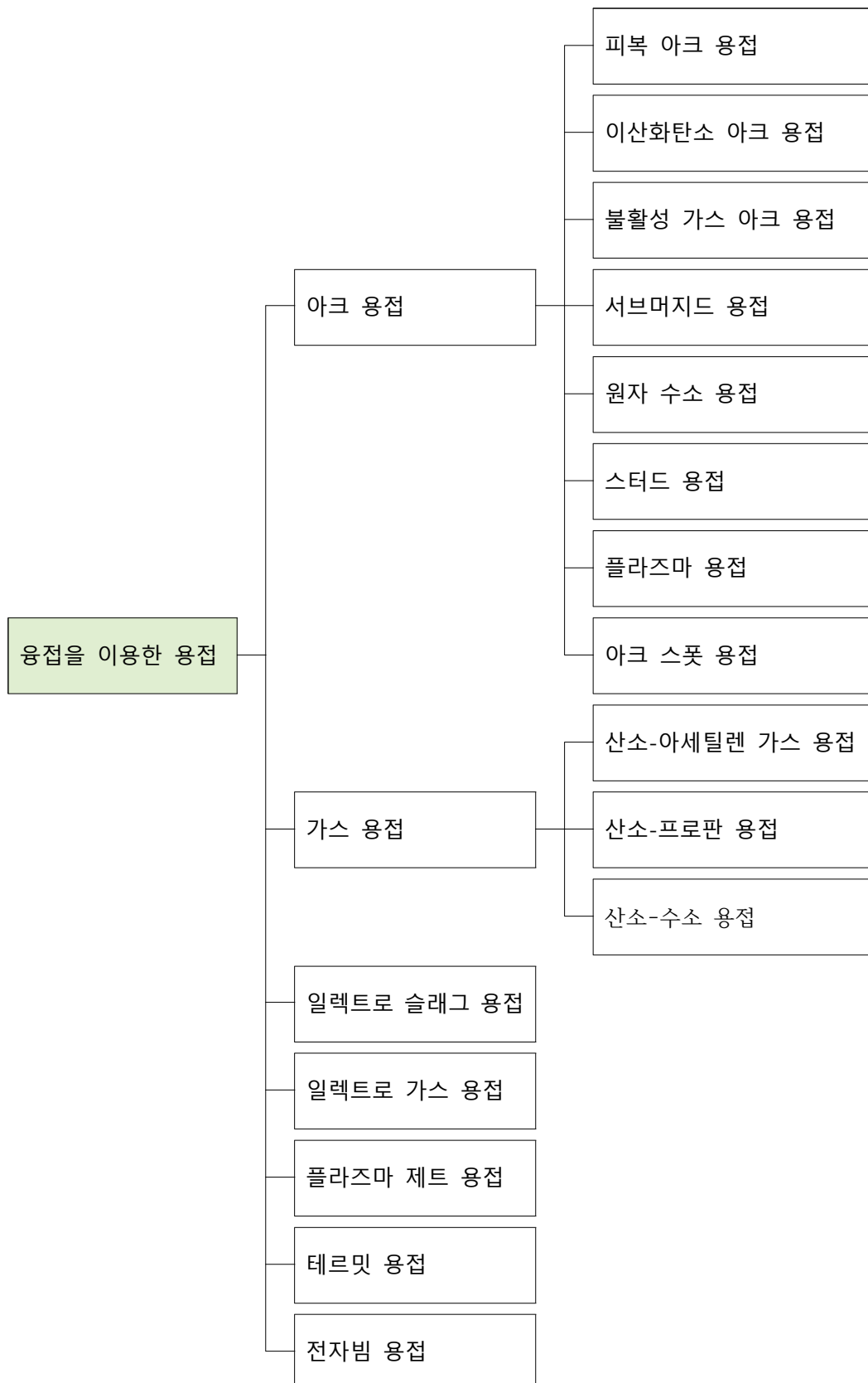
[그림 1-3] 용접의 원리

가. 용접의 종류

용접은 용접, 압접, 납땜으로 구분할 수 있다.

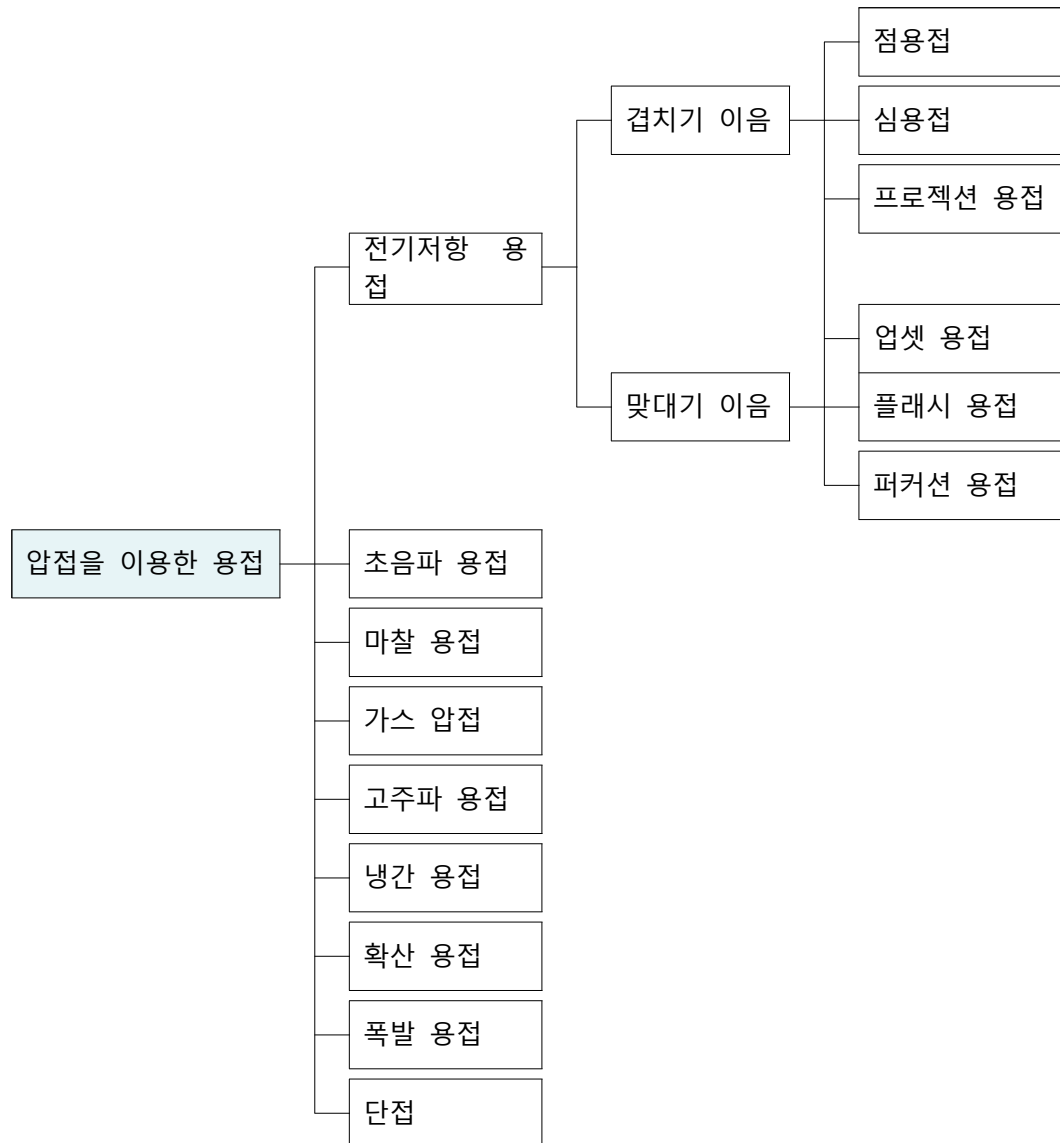
- 1) 용접(fusion welding): 접합하고자 하는 두 금속 부재 즉 모재의 접합부를 국부적으로 가열 용융시키고, 이에 제3의 금속 즉 용가재를 녹여 첨가하여 접합하는 방법이다. 일반적으로 용접이라고 하면 용접을 말하여 이때 모재 등의 표면에는 산화피막이 있는 경우 접합이 원활하지 않을 수 있으므로, 불순물 등을 제거하기 위해 용제를 사용하고 제거한 후 슬래그를 만든다. 용접할 때 모재와 용가재가 융합 응고된 부분을 용착금속이라고 하며, 이로 만들어진 것을 비드, 표면에 생긴 물결 모양을 리플이라고 부른다.

1) NCS 분류번호 : 피복아크용접 재료준비 (1601050103_16v2)



[그림 1-4] 용접의 종류

2) 압접(pressure welding): 접합 부분을 열간 또는 냉간 상태에서 기계적 압력을 주어 접합하는 방법으로 가압용접이라고도 불린다.

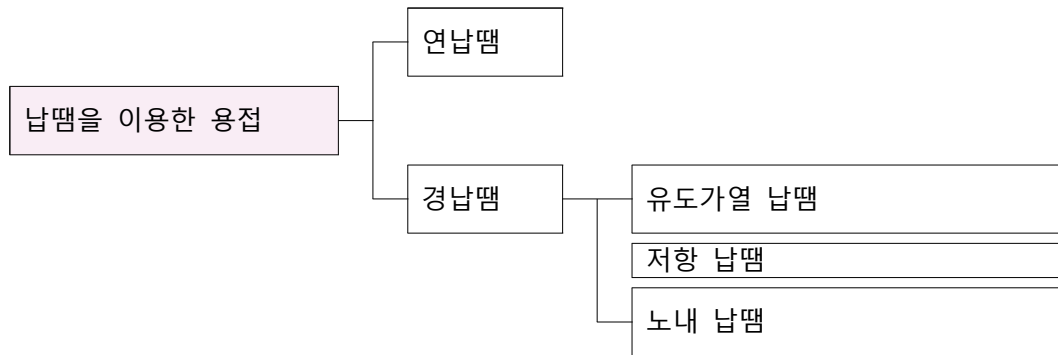


[그림 1-5] 압접의 종류

참고

냉간이란 열린다는 의미가 아니라 금속의 재결정 온도 이하를 의미한다. 예를 들어 철의 재결정 온도는 450℃이므로 상온에서 가공 또는 용접하는 것을 냉간 상태에서 가공이라고 할 수 있다.

3) 납땜(brazing and soldering): 접합하고자 하는 재료 즉 모재는 녹이지 않고 모재보다 용점이 낮은 금속을 녹여 표면 장력으로 접합시키는 방법이다. 즉 납땜은 용고 시에 나타나는 분자간의 흡인력을 이용하여 접합하는 것을 말한다.



[그림 1-6] 납땜의 종류

나. 에너지원에 따른 용접의 분류

1) 전기적 에너지원²⁾을 이용하는 용접

기구 및 기계 등을 작동하기 위해서는 에너지원이 필요하다. 사람의 힘을 이용하여 기구 등을 작동할 수 있으나 일반적으로 기계 등은 전기적인 에너지원 즉 전원을 이용하여 작동하게 된다. 용접 방법 또한 이러한 전기적 에너지원을 이용하는 방법을 많이 사용하고 있다. 특히 피복 아크 용접, 불활성 가스 아크 용접 및 이산화탄소 아크 용접 등은 에너지원을 전기를 이용하여 용접하는 것이다.

이처럼 전기적 에너지원을 이용하여 주로 용접하는 방법은 [표 1-1]과 같다.

[표 1-1] 전기적 에너지원을 이용하는 용접의 종류

용접 방법	열원	보호 방법
피복 아크 용접 (shielded metal arc welding)	아크열	피복제
가스 메탈 아크 용접 (gas metal arc welding)	아크열	가스
가스 텅스텐 아크 용접 (gas tungsten arc welding)	아크열	가스
서브머지드 아크 용접 (submerged arc welding)	아크열	플럭스
저항 용접 (resistance welding)	저항열	-
일렉트로 슬래그 용접 (electro slag welding)	저항열	플럭스

2) 화학적 에너지원을 이용하는 용접

화학 반응에 의한 화학 에너지를 이용하여 용접하는 것으로 전기가 없는 곳에서 사용 가능하다. 대표적인 방법은 [표 1-2]와 같다.

2) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v1)

[표 1-2] 화학적 에너지를 이용하는 용접의 종류

용접 방법	열원	보호 방법
테르밋 용접 (thermit welding)	반응물질	플럭스
폭발 용접 (explosive welding)	-	-
확산 접합 (diffusion welding)	복사열	가스

3) 기계적 에너지를 이용하는 용접

손바닥을 맞대어 놓고 빠르게 비벼보면 열이 날 것이다. 이처럼 기계적 운동 에너지 등에 의해서 발생하는 에너지를 이용하여 용접하는 방법이 있으며 대표적인 것으로 [표 1-3]과 같다.

[표 1-3] 기계적 에너지를 이용하는 용접의 종류

용접 방법	열원	보호 방법
마찰 용접 (friction welding)	저항열	-
초음파 용접 (ultrasonic welding)	저항열	-
냉간 단접 (cold welding)	-	-

참고

작업방법에 따라 수동, 반자동, 자동 용접으로 분류할 수 있다. 자동과 반자동의 차이는 용가재 즉 와이 어로 된 용접봉이 자동으로 공급되는 토치를 작업자가 잡고 작업을 하면 반자동이며, 이마저도 기계의 힘을 빌려서 하게 되면 자동용접이라고 한다.

- 수동 용접³⁾: 피복 아크 용접, 가스 용접, 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 등
- 반자동 용접⁴⁾: 이산화탄소 아크 용접, 불활성 가스 메탈 아크 용접 등
- 자동용접⁵⁾: 서브머지드 용접, 일렉트로 가스 용접 등

3) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v1)

4) NCS 분류번호 : 가스메탈아크용접 장비준비 (1601050404_14v1)

5) NCS 분류번호 : 단일전극 서브머지드아크용접 장비준비 (1601050512_16v2)

다. 용접의 장단점⁶⁾

용접은 작업 공정을 줄일 수 있고 형상의 자유화를 추구할 수 있는 장점도 있지만, 품질을 검사하기 곤란하며 용접사의 기능과 양심에 따라 용접품질이 좌우된다는 단점도 있다.

[표 1-4] 용접의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> · 작업 공정을 줄일 수 있다. · 형상의 자유화를 추구할 수 있다. · 이음 효율을 향상(기밀, 수밀, 유밀)할 수 있다. · 중량 경감, 재료 및 시간이 절약된다. · 이종 재료의 접합이 가능하다. · 주물의 파손부 등에 보수와 수리가 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 품질 검사가 곤란하다. · 잔류응력 및 변형에 민감하여 제품의 변형을 가져올 수 있다. · 유해 광선 및 가스 폭발 위험이 있다. · 용접사의 기능과 양심에 따라 이음부 강도가 좌우한다.

3. 용접의 역사

약 200년 전 전기 아크를 처음 발견하였다. 그 당시는 두 개의 탄소봉 사이에서 작은 배터리의 힘 정도 내는 실험실에서만 사용되는 수준이었다. 그 후 패러데이는 1831년 자기가 전력을 일으킬 수 있다는 사실을 증명하며 최초로 발전기를 개발하였다.

가. 탄소 아크 용접

탄소 아크 용접은 1885년에 처음으로 사용되었다. 이 기간에 탄소 아크 및 금속 아크 용접에 대해 다양한 아크 용접 과정에 대한 여러 특허가 있었으며, 탄소 아크 용접은 고체 탄소봉과 두 개의 금속 조각을 융합하기 위해 회로의 열을 사용했다. 하지만 탄소 아크 용접은 융합부에 탄소 입자가 혼입되게 되어 접합부를 경화시켜 부서지게 만드는 성질 때문에 사용이 제한되었다.

나. 금속 아크 용접

금속 아크 용접은 1891년 슬라비아노프에 의해 개발되었다. 금속 아크 용접과 탄소 아크 용접의 차이점은 맨 금속 봉인 용접봉이 용접 회로(전기 회로)의 일부가 되어 기본 금속 안에 용융풀(용융지)을 만드는 데 필요한 열을 운반하고 동시에 녹아

6) NCS 분류번호 : 가스메탈아크용접 비드쌓기 (1601050410_16v2)
 NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 비드쌓기 (1601050310_18v3)
 NCS 분류번호 : 피복아크용접 비드쌓기 (1601050110_16v2)
 NCS 분류번호 : 로봇용접 완료 작업 (1601050609_16v2)

용접 부분이 되는 것이다. 초기 금속 아크 용접의 문제점은 용접부에 기공이 많이 생기고 부서지기 쉬우며 약하다는 것이었다.

다. 차폐금속 아크 용접(SMAW)

20세기 초 독일의 두 회사는 금속 아크 용접 과정에 대한 특허 보호를 둘러싼 법적 분쟁을 벌였으나, 법원의 최종 결정은 두 회사의 모든 특허권을 인정하지 않았다. 1900년부터 1928년까지 여러 용접기 제조업체가 설립되어 금속 아크 전극 외부의 코팅 즉 피복봉을 완성하기 시작했다. 1929년 링컨일렉트릭사(Lincoln Electric company)는 오늘날의 차폐 금속 전극을 대량 생산하게 되었고, 대중적으로 사용할 수 있게 되어 1930년 원양 선박들 건조에 사용하기 시작하였다.

라. 불활성 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)

1920년 불활성 가스 텅스텐 아크 용접은 발명되었지만 1941년에 들어서야 대량 생산에 사용되었으며, 2차 세계 대전 중 알루미늄, 마그네슘 및 스테인리스강을 용접하여 항공기를 생산하는 데 사용하였다. GTAW의 전극은 탄소 대신에 텅스텐으로 만들어졌으며, GTAW는 탄소 아크 용접과 달리 모재에 탄소를 혼입시키지 않는다. 또한, 용접부를 대기 오염으로부터 보호하기 위해 차폐 가스(shielding gas)가 사용되기 때문에 GTAW 용접은 기계적 성질이 우수한 용접부를 만들 수 있다. 지금은 대부분 아르곤(Ar) 가스를 차폐 가스로 사용하지만, 초기에는 헬륨을 사용하여 GTAW는 헬리 아크 용접이라고 불리기 시작했다.

마. 가스 메탈 아크 용접(GMAW)

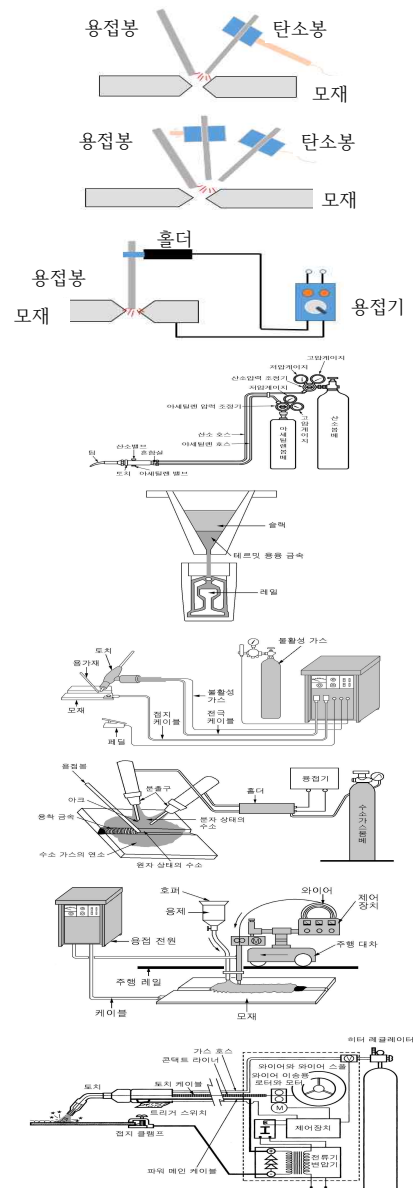
1948년에 GTAW와 SMAW간의 중간적인 성격의 새로운 용접 방법이 개발되었다. 이 새로운 방법은 용접 공정에 의해 소비된 금속 전극이 용접 부분이 되고, 용융된 용접풀을 보호하기 위해 가스를 차폐용으로 사용하였다. 즉 SMAW처럼 전극을 용접 봉으로, GTAW처럼 차폐용 가스를 사용한 것이다. 더불어 전극이 봉 대신에 모터와 구동 휠에 의해 지속해서 공급되는 와이어의 방식이었다.

이 새로운 용접 방법은 가스 메탈 아크 용접으로 알려졌으며, 와이어 공급 방식 용접이라고 불리기도 한다. 그 당시 사용된 차폐 가스는 아르곤이었으며, 이것은 값이 비싸고 제한된 와이어 공급에 적용되었기에, 1953년 저렴한 대체품인 이산화탄소가 나올 때까지 사용되었다. 마이크로 와이어로 알려진 작은 지름의 와이어(지름 1.2mm 미만) 및 피복제 코어가 있는 와이어를 포함한 단락이행을 이용한 와이어 공급 방법이 1950년대에 개발되었다. 특히 분말 금속 코어가 있는 용접봉이 1976년 말에 도입되어 본격적으로 사용되기 시작하였다.

바. 기타

재료의 경량화, 대형화, 다양화 등으로 일렉트로 슬래그 용접, 플라스마 용접 등이 지속해서 개발되고 있으며, 용접 방법도 작업자의 안전뿐만 아니라 환경을 고려하고 있다. 특히 금속 외에도 비금속 용접이 가능한 플라스틱 용접, 초음파 용접 방법 등도 다양하게 시도되고 있다.

- 1885년 탄소 전극과 모재 사이에 아크를 발생시켜 용접
- 1889년 탄소 전극봉 사이에서 아크를 발생시켜 용접
- 1891년 금속 전극과 모재 사이에서 아크를 발생시켜 용접
- 1892년 아세틸렌 가스 용접법 실용화
- 1895년 테르밋 용접법 발명
- 1920년 불활성 가스 용접법 발명
- 1926년 원자 수소 용접법 발명
- 1935년 서브머지드 아크 용접법 발명
- 2차대전 이후 이산화탄소 아크 용접법, 초음파 용접법, 일렉트로 슬래그 용접, 마찰 용접 전자빔 용접, 플라스마 용접 등 발명



[그림 1-7] 용접의 역사

제 2 장 피복 아크 용접

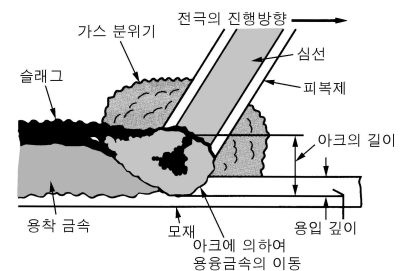
1. 피복 아크 용접의 원리

피복제의 발달과 교류를 사용함으로써 피복된 금속용접봉을 사용하게 된 피복 아크 용접(SMAW: Shield Metal Arc Welding)은 현대식 아크 용접으로 처음 개발되었기에 일반적으로 아크 용접이라고 하면, 이 피복 아크 용접을 말하는 경우가 대부분이다.

물론 아크 용접에는 불활성 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW), 이산화탄소 아크 용접(GMAW) 등 여러 종류가 있다. 이러한 아크 용접은 하나의 공통점을 가지고 있는데 열을 발생시켜 용융지를 만들기 위해 전기를 사용한다는 점이다. 흔히 사람들이 피복 아크 용접을 전기 용접이라고 부르는 경우가 있는데 이는 잘못된 용어 사용이다.

피복 아크 용접의 용어 의미는 다음과 같다.

- 아크 : 기체 중에서 일어나는 방전의 일종으로 온도는 5,000~6,000℃ 이다.
- 용융지(용융풀) : 모재가 녹은 쇳물 부분
- 용적 : 용접봉이 녹아 모재로 이행되는 쇳물 방울
- 용착 : 용접봉이 녹아 용융지에 들어가는 것
- 용입 : 모재가 녹은 깊이
- 용락 : 모재가 녹아 쇳물이 떨어져 흘러내려 구멍이 나는 것



[그림 2-1] 피복 아크 용접

가. Shield(차폐)

차폐라는 의미는 쉽게 말해서 방패라고 생각하면 된다. 용접 작업 중에는 수소, 질소, 산소 등 대기 중에 있는 물질이 용접결함을 발생할 수 있어서 용접부를 보호하기 위해서는 차폐를 해야 한다. 이 차폐를 위해 용접봉은 피복되어 있는데 피복의 종류로는 A(산(산화철)), AR(루틸), B(염기), C(셀룰로오스), O(산화), R(루틸(중간 피복)), RR(루틸(두꺼운 피복)), S(기타 종류) 등이 있다. 이러한 피복은 두께가 균등하고 보통 취급으로 쉽게 손상되지 않으며, 해롭다고 인정되는 갈라짐, 요철, 흠 등의 결함이 없어야 하며, 저장 중에 화학변화를 일으키거나 과도한 습기를 흡수해서는 안 된다. 피복제의 기능은 다음과 같다.

- 용융된 용접풀에서 세정 및 탈산화제로 작용한다.
- 용융된 풀을 오염으로부터 보호하면서 CO₂를 방출하여 불활성 대기를 만든다.
- 반용융 금속 위에 슬래그 코팅을 형성하여 대기로부터 더욱 안전하게 보호한다.
- 용접 아크를 안정시킨다.
- 모재에 대한 용입 깊이를 향상시킨다.
- AC, DCEP 또는 DCEN 용접에 사용되는 용접 전류의 유형을 결정한다.

[표 2-1] 피복제의 종류

종류	역할	성분
가스 발생제	용융금속을 대기로부터 보호하기 위하여 중성 또는 환원성 가스를 발생하여 산화 및 질화를 방지	녹말, 톱밥, 석회석, 셀룰로오스, 탄산바륨 등
슬래그 생성제	용융점이 낮은 가벼운 슬래그를 만들어 용금속의 표면을 덮어서 산화나 질화를 방지하고 용착금속의 냉각 속도를 느리게 함	석회석, 형석, 탄산나트륨, 일미 나이트, 산화철, 산화티타늄, 이산화망간, 규사 등
아크 안정제	이온화하기 쉬운 물질을 만들어 재점호 전압을 낮추어 아크를 안정	규산나트륨, 규산칼륨, 산화티타늄, 석회석 등
탈산제	용융금속 중의 산화물을 탈산 정련하는 작용을 함	페로실리콘, 페로망간, 페로티타늄, 알루미늄 등
고착제	심선에 피복제를 달라붙게 하는 역할	규산나트륨, 규산칼륨, 아교, 소맥분, 해초 등
합금 첨가제	용접금속의 여러 가지 성질을 개선하기 위하여 피복제에 첨가	크롬, 니켈, 실리콘, 망간, 몰리브덴, 구리 등

나. Metal(금속)

피복 아크 용접의 경우 전극 즉 용접봉은 중심은 금속으로 채워져 있는데 이를 심선이라고 부른다. 심선은 용접할 재료에 따라 탄소강, 구리합금, 스테인리스강 및 주철로 되어있다. 일반적으로 저합금강은 저수소 전극으로 되어 있다. 피복 아크 용접봉의 심선재는 완성품에 대하여 다음과 같은 화학 성분을 가져야 한다. 또한, 심선의 지름 및 허용차는 $\pm 0.05[\text{mm}]$ 이다.

[표 2-2] 심선의 화학 성분

종류 기호	화학 성분 %					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
SWR 11	0.09 이하	0.03 이하	0.35~0.65	0.02 이하	0.023 이하	0.20 이하
SWR 12	0.10~0.15	0.03 이하	0.35~0.65	0.02 이하	0.023 이하	0.20 이하

[표 2-3] 심선의 절단 길이

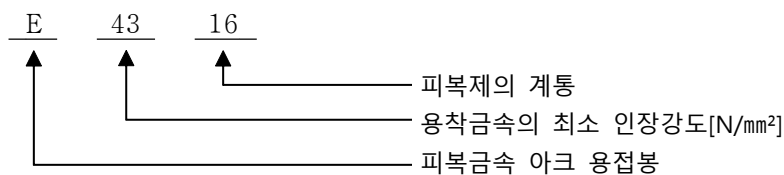
지름(mm)	절단 길이(mm)									
1.4	200	230	250	300	350	-	-	-	-	-
1.6	200	230	250	300	350	-	-	-	-	-
2.0	200	230	250	300	350	-	-	-	-	-
2.6	200	230	250	300	350	-	-	-	-	-
3.2	-	-	-	-	350	400	-	-	-	-
4.0	-	-	-	-	350	400	450	550	-	-
4.5	-	-	-	-	-	400	450	550	-	-
5.0	-	-	-	-	-	400	450	550	700	-
5.5	-	-	-	-	-	-	450	550	700	-
6.0	-	-	-	-	-	-	450	550	700	900
6.4	-	-	-	-	-	-	450	550	700	900
7.0	-	-	-	-	-	-	450	550	700	900
8.0	-	-	-	-	-	-	450	550	700	900

연강용 피복 아크 용접봉의 종류는 다음과 같다.

[표 2-4] 연강용 피복 아크 용접봉의 종류

종류	피복재 계통	용접 자세	전류의 종류
E 4301	일루미나이트계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 4303	라임티타니아계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 4311	고셀룰로오스계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 4313	고산화티타늄계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 4316	저수소계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 4324	철분산화티타늄계	F, H	AC 또는 DC(±)
E 4326	철분저수소계	F, H	AC 또는 DC(±)
E 4327	철분산화철계	F, H	F에서는 AC 또는 DC(±) H에서는 AC 또는 DC(-)
E 4340	특수계	F, V, H, O 또는 다른 어느 자세	AC 또는 DC(±)

• 종류의 기호 붙이는 방법은 다음에 따른다.



- F: 아래 보기 자세, V: 수직 자세, H: 수평 자세, O: 위보기 자세
- 용접 자세 V 및 O는 원칙적으로 심선의 지름 5.0mm를 초과하는 것에는 적용하지 않는다.
- E 4324, E 4326, E 4327의 용접 자세는 수평 필릿 용접으로 한다.
- AC: 교류, DC(±): 직류 역극성 및 정극성, DC(-): 직류 정극성, DC(+): 직류 역극성
- 제품의 호칭 방법은 용접봉의 종류, 전류의 종류, 봉지름 및 길이에 따른다.
예) E4316-AC-5.0-400: 저수소계 용접봉, 교류전원, 봉지름 5mm, 봉길이 400mm

고장력강용 피복 아크 용접봉은 인장강도 490N/mm²에서 780N/mm²까지의 고장력강의 용접에 사용하는 것을 말하며 다음과 같다.

[표 2-5] 고장력강용 피복 아크 용접봉의 종류

종류	피복제 계통	용접 자세	전류의 종류
E 5001	일루미나이트계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 5003	라임티타니아계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 5016 E 5316 E 5816 E 6216 E 7016 E 7616 E 8016	저수소계	F, V, H, O	AC 또는 DC(±)
E 5026 E 5326 E 5826 E 6226	철분 저수소계	F, H	AC 또는 DC(±)
E 5000 E 8000	특수계	F, V, H, O 또는 다른 어떤 자세	AC 또는 DC(±)

• E 5026, E 5326, E 5826, E 6226의 용접 자세는 수평 필릿 용접으로 한다.

다. Arc(아크)

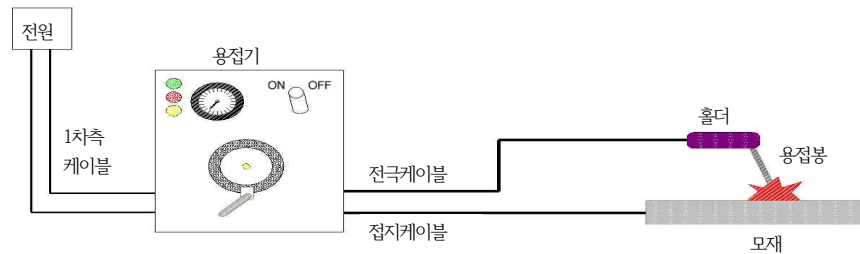
피복 아크 용접에서 용접봉과 모재 사이에서 전원이 공급되고 일정한 거리가 떨어져지면 아크가 생성된다. 이러한 용접 아크는 용접 회로에 저항을 만들고 저항은 모재를 녹이기 위한 열을 발생시킨다. 전극인 용접봉은 아크 흐름을 따라 용융되어 용융지에 녹아 붙게 된다.

라. Welding(용접)

모재와 용접봉이 용융되어 함께 융착되어 굳으면 용접 비드가 생성된다.

2. 용접 회로(welding circuit)

용접기의 접지케이블(작업 리드 클램프)을 용접 작업대에 연결하고, 용접 홀더 즉 용접봉을 전극케이블에 연결하게 되면 용접 회로가 완성된다.



[그림 2-2] 용접 회로

즉 용접 회로는 용접기 → 전극케이블 → 홀더 → 용접봉 및 모재 → 접지 케이블 → 용접기의 순으로 항상 닫혀있어야 한다.

가. 용접 전원

물의 흐름과 전기의 흐름은 본질에서 같은 것은 아니지만 그 성질이 비슷해 눈에 보이지 않는 전기의 흐름을 이해하는 데 많은 도움이 되고 있다. 물이 높은 곳(고수위)에서 낮은 곳(저수위)으로 흐르는 것처럼 전기도 전위가 높은 곳(고전위)에서 낮은 곳(저전위)으로 흐른다. 이때, 물의 흐름은 수류(水流), 전기의 흐름은 전류(電流)라고 한다. 높은 곳의 물과 낮은 곳의 물의 위치 차이를 수위차라고 하고, 수압에 영향을 주는 것처럼 높은 곳의 전기와 낮은 곳의 전기의 차이를 전위차라고 하며 전압과 밀접한 관계가 있다.

[표 2-6] 물과 전기의 성질 비교

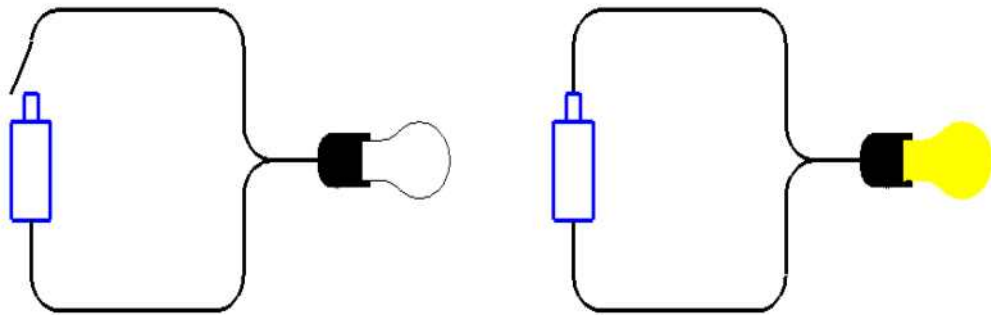
물의 흐름	전기의 흐름	단 위
물의 양	전기의 양(電荷)	[Coulomb, C]
수위	전위	[Volt, V]
수위차(수압)	전위차(전압)	[Volt, V]
수류	전류	[Ampere, A]
마찰계수	전기 저항	[Ohm, Ω]

1) 용접의 전기 흐름

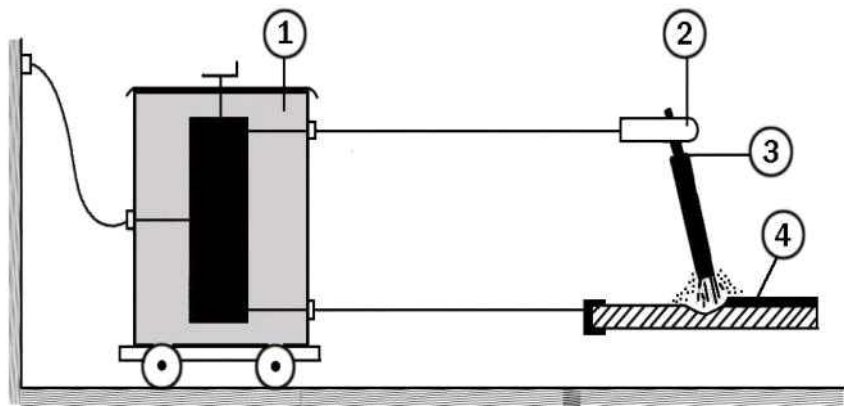
용접은 회로의 저항에 의존한다. 예를 들어 전구를 통해 전기가 흐르면 작은 와이어가 매우 뜨거워져서 빛을 내기 시작한다. 와이어가 뜨거워지는 이유는 갑자기 매우 작은 경로(channel)을 통해 많은 양의 전기가 흐르기 때문이다. 이로 인해 회로에 비정상적인 저항이 생긴다. 모든 회로에는 약간의 저항이 있으며 옴(Ω) 단위로 측정된다. 저항은 열을 생성하고 열은 빛을 만든다. 단, 용접에서는 갑자기 작은 전선을 통과하는 대신에 전기가 틈(gap)을 가로지르는 것이다. 그 틈은 전기가 그 사이를 뛰어넘을 수 있을 정도로 적당히 작게 유지되기에 회로는 중단 없이 유지되는 것이다. 이를 일반적으로 아크 길이라 부른다. 전기가 틈을 넘나들면서 전기 아크가 생겨 아크 용접이 가능하다. 용접에 사용된 전기 아크는 5500℃로 측정되며

이것은 태양 표면과 거의 비슷한 온도이다.

용접의 전기 흐름을 설명하기 가장 좋은 예는 전등 스위치이다. 스위치가 꺼지면 회로에 떨어지는 부분이 생겨 전기 흐름이 차단된다. 즉 전류(전자)의 흐름은 전구에 도달하지 않으므로 꺼지게 되는 것이다. 스위치가 켜지면 다시 연결되어 전기가 전구로 흐르고 다시 스위치로 흐른다. 스위치가 닫히고 (ON 위치에서) 회로에 전기가 공급되면 빛은 계속 날 것이다. 용접도 같은 방식으로 작동하므로 어느 한 부분이라도 끊겨 있으면 아크가 발생하지 않는다.



[그림 2-3] 전등 Open 회로 및 Close 회로



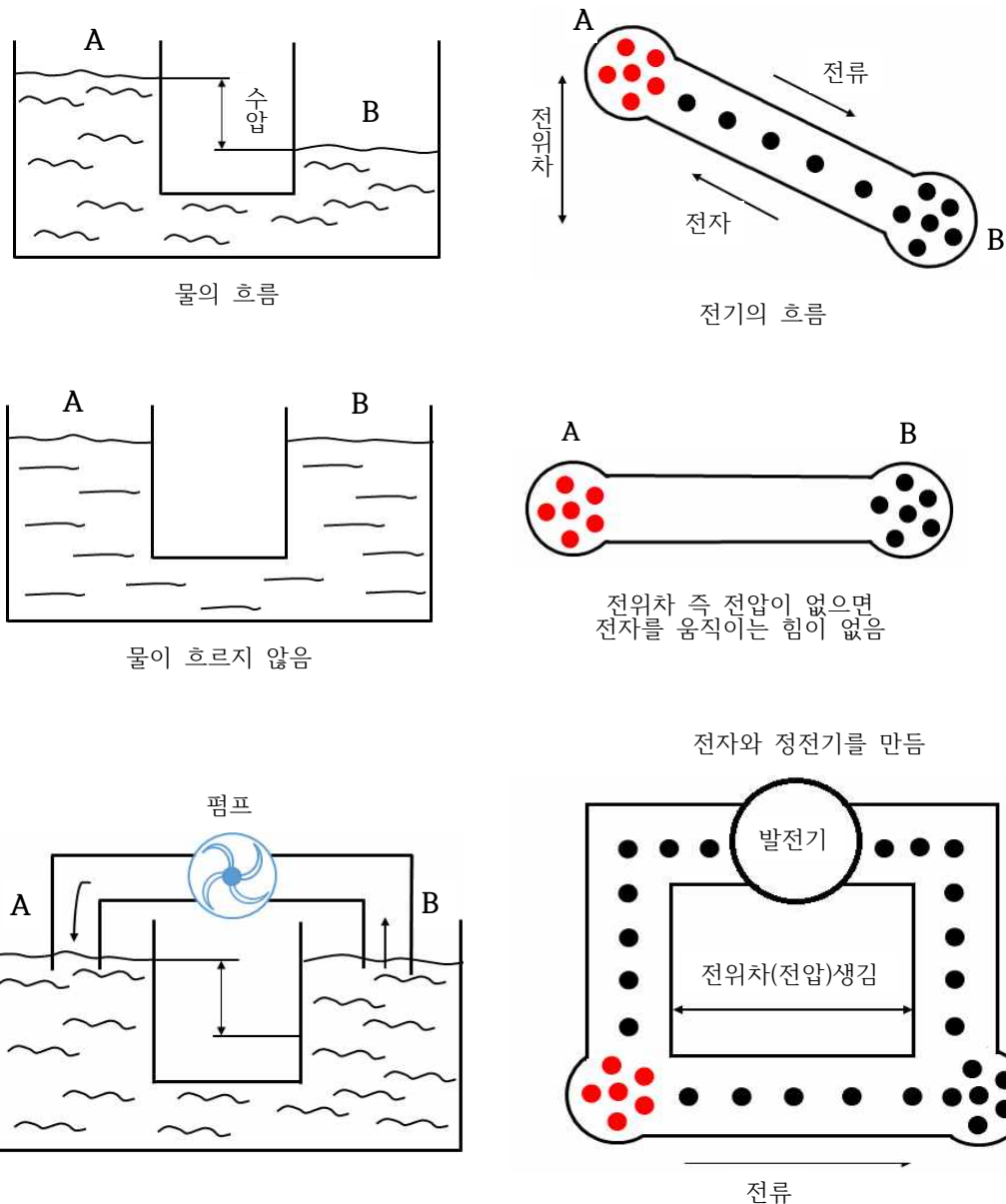
① 용접기(용접 전원) ② 홀더 ③ 전극(용접봉) ④ 모재

[그림 2-4] 용접 전기 흐름

2) 전압의 역할

물은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르거나 아니면 호스의 한쪽 끝에 호스를 통해 물을 밀어 넣는 펌프가 있어야만 흐르게 된다. 물 펌프의 크기와 용량은 전압과 같다고 생각하면 된다. 펌프의 크기를 호스의 지름을 일치시키면 물의 흐름이 일정하게 되어 효율적인 속도로 반대쪽 끝으로 나오게 된다. 지름이 큰 호스에 작은 펌프를 사용하면 반대쪽 끝에는 물이 잘 나오지 않을 것이다. 반대로 작은 지름의 호스에 큰 펌프를 사용할 경우 호스를 통해 강제로 물을 보내지만, 반대쪽 끝에서 나오

는 물의 양은 호스의 지름이 허용하는 것보다 절대로 크지 않을 것이다.



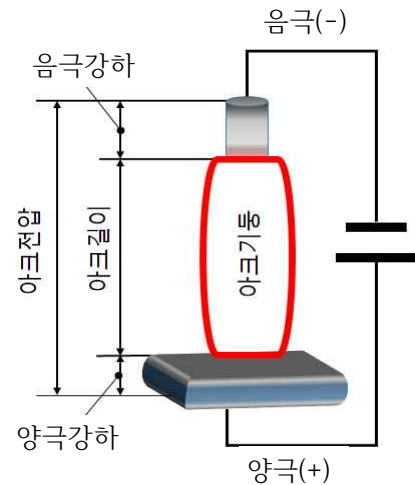
[그림 2-5] 물의 흐름과 전기의 흐름 비교

물이 떨어지면 더는 물이 흐를 수 없는 것처럼 전류도 계속해서 흐르게 하려면 전압을 연속적으로 만들어 주어야 한다. 이 힘을 기전력(electromotive force, emf)이라고 한다.

아크 용접 과정이 효율적이고 효율적으로 작동하기 위해서는 아크 유지에 사용되는 전류와 전압의 관계를 일치시켜야 한다. 예를 들어 만일 호스를 비틀면 그 시점에 수압이 형성되어 호스가 파열되거나 펌프가 파손될 수 있다. 즉 용접에서도 케이블 등의 꼬임 현상은 전자의 흐름과 열의 축적을 일으키는 전기 회로의 원치 않

는 저항과 같은 역할을 할 수 있어 주의해야 한다.

아크 전압(V_a)은 양극전압강하(V_p), 음극전압강하(V_n)와 기둥전압강하(V_c)를 다 더한 값이다. 따라서 일반 수동 용접에서는 모재와 용접봉이 재질이 바뀌지 않는다면 아크 길이에 비례하여 아크 전압은 증감한다.



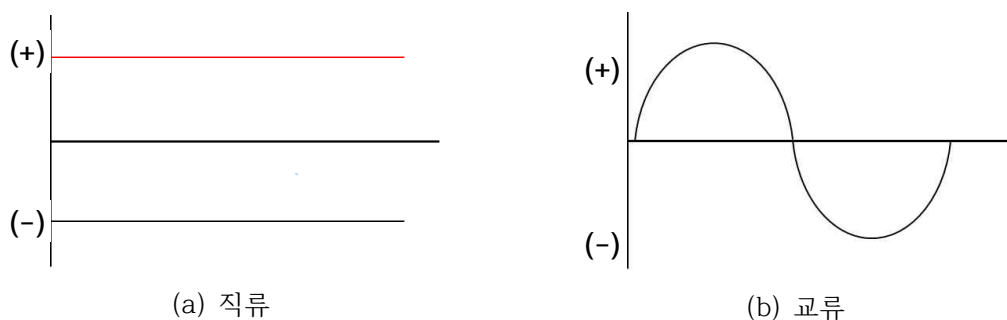
[그림 2-6] 아크 전압

참고

전자는 \ominus 쪽에서 \oplus 쪽으로 흐르고 있으나 전류는 \oplus 쪽에서 \ominus 쪽으로 흐른다고 약속하고 있다. 전류가 \oplus 에서 \ominus 쪽으로 흐른다고 규정한 것은 전자가 발견되지 않을 때 과학자들이 정한 전류의 방향이다.

3) 직류 및 교류⁸⁾

아크 용접에서, 전기는 전원 공급 장치에 의해 생성되고 용접 리드라고 불리는 케이블을 통해 보내진다. 직류(DC)에서는 양극과 음극이 위치를 바꾸지 않고 전류가 한 방향으로 흐른다. 하지만 교류(AC)는 극을 번갈아 가며 연속적으로 그리고 빠르게 바꾼다.



[그림 2-7] 직류 및 교류

8) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v1)

(가) 직류(DC: Direct Current)

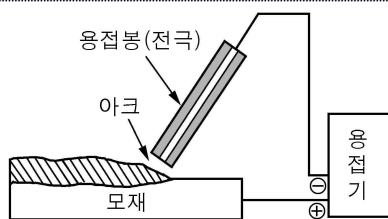
직류는 한 방향으로만 흐른다. 일반적으로 전류는 양극에서 음극으로 흐르는 것으로 정의하지만 전자 즉 전기는 음극에서 양극으로 흐른다고 가정한다. 직류의 경우 용접 케이블을 용접 기계에 연결하는 방법은 전류가 전극 홀더와 작업 클램프(모재)를 통과하는 것에 따라 결정된다. 따라서 직류는 극성이 존재한다. 전극을 음극(-)에 모재를 양극(+)에 연결하거나 반대로 전극을 양극(+)에 모재를 음극(-)에 연결할 수 있다. 즉 극성은 회로의 흐름 방향을 나타내는 것으로 두 가지 유형이 있다.

- 직류 정극성(DCSP: Direct Current Straight Polarity)

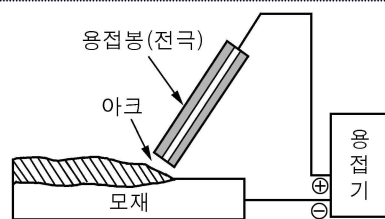
전극에 음극(-)을 연결하고 모재에 양극(+)을 연결한다. 또한 직류 전극이 음극이란 의미에서 DCEN(Direct Current Electrode Negative)이라 불리기도 하며 DC-로 사용하기도 한다.

- 직류 역극성(DCRP: Direct Current Reverse Polarity)

전극에 양극(+)을 연결하고 모재에 음극(-)을 연결한다. 또한 직류 전극이 양극이란 의미에서 DCEP(Direct Current Electrode Positive)이라 불리기도 하며 DC+로 사용하기도 한다.



(a) 직류 정극성(DCEN)



(b) 직류 역극성(DCEP)

[그림 2-8] 극성

직류 정극성과 직류 역극성을 비교하여 보면 직류 정극성의 경우 모재쪽에 부착된 케이블이 양극 단자에 연결되어 있고 전극 홀더가 음극에 연결되어 있으므로 전기가 전극을 따라 곧바로 흐르고 아크 간격을 지나 모재로 건너뛰어 기계로 돌아간다. 따라서 직류 정극성에서 대부분 열은 모재 금속에 집중하게 되어, 직류 정극성을 사용할 경우 직류 역극성에 비해 두꺼운 판 용접에 적합하다.

참고

양극(+)과 음극(-)의 구별

양극과 음극의 구별은 일반적으로 색깔로 한다. 양극은 빨강색을 음극은 검정색을 사용한다. 따라서 극성을 기억할 때 빨강색은 열이 많이 나와 위험하므로 빨강색을 사용한다고 생각하면 된다. 즉 열량이 많이 나오는 양극을 모재에 연결하면 용접봉은 자연히 음극에 연결되어야 한다. 아울러 모재는 두껍고 용접봉은 가늘어서 열이 많이 나는 쪽에 모재를 열이 적게 나는 쪽에 용접봉을 연결하는 것이 일반적이어서 이를 정극성이라 부른다.

(나) 아크 쏠림

아크 용접에서 사용되는 용접 전류는 주위에 자기장을 형성하며 전류와 유도된 자기장에 의하여 아크 기둥의 내부로 가해지는 전자기력 즉 로렌츠의 힘이 작용하는 데 이를 핀치효과라 부르며 용융부나 아크에 영향을 미친다. 이때 발생하는 전자기력은 용접 전류의 제곱에 비례한다. 핀치효과와 같이 아크가 자기장의 영향을 받는 현상으로 아크 쏠림(arc blow)을 들 수 있는데 아크 블로우, 자기 불림 등은 모두 동일한 말이며, 용접 전류에 의한 아크 주위에 발생하는 자장이 용접 봉에 대하여 비대칭일 때 일어나는 현상이다. 일반적으로 전자기력은 접지점의 반대 방향으로 작용하기 때문에 아크는 항상 접지점에서 멀어지는 방향으로 휘게 되어 아크 쏠림 현상이 발생하면 아크의 위치가 변화하여 용접 품질에 영향을 미치므로, 이를 방지하기 위하여 접지 상태 및 위치 선정과 같이 다음에 유의한다.

- 직류 용접기 대신 교류 용접기를 사용한다.
- 아크 길이를 짧게 유지하며, 접지를 용접부로 멀리한다.
- 접지점을 2개 연결하여 사용한다.
- 긴 용접선에는 후퇴법을 사용한다.
- 용접부의 시·종단에는 엔드 탭을 설치한다.
- 용접봉 끝을 아크 쏠림 반대 방향으로 기울인다.
- 큰 가접부 또는 이미 용접이 끝난 용착부를 향하여 용접한다.

(다) 교류(AC: Alternating Current)

교류는 양극과 음극이 번갈아 나타난다. 전기가 전력선을 통해 보내지고 건물의 콘센트로 들어오면 교류의 형태를 일반적으로 띈다. 이름에서 알 수 있듯이 이러한 유형의 전류(암페어 수)는 양/음전하의 두 극 사이의 방향을 1/100 또는 1/120초 방향을 전환한다는 것을 의미한다. 즉 한 번의 전체 AC 사이클이 초당 50 또는 60회가 발생한다. 이는 초당 50 또는 60회의 주파수, 즉 50 또는 60헤르츠(Hz)의 주파수를 의미한다. 우리나라의 경우 표준 주파수가 60Hz이기 때문에 50Hz에서는 사용할 수 없다. 예를 들어 휴대전화기 충전을 50Hz인 나라에서 할 때 어댑터를 사용하여 주파수를 조절해야 충전이 된다. 따라서 기기 또는 기계의 정격 전압이 50Hz 및 60Hz인지 확인한 후 용접기를 구동하여야 한다.

아크 용접에서 교류는 다양한 용도로 사용한다. 특히 불활성 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)에서 알루미늄과 마그네슘을 용접할 때 사용한다. 더불어 교류는 아크 쏠림과 같은 문제를 일으키지 않으며, 직류로 변환될 수 있다.

(라) 직류 및 교류 용접기

직류는 시간과 관계없이 방향과 크기가 일정한 전기에너지를 공급하므로 안정된 전기를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한, 교류와 비교하면 전격에 위험이 적다. 하지만 가격이 고가이며, 관리가 복잡하며, 우수한 피복제가 많이 생산되어 근래에는 교류가 많이 쓰이고 있다.

1) 직류 용접기의 종류

직류 용접기는 전기가 없는 곳에서도 엔진을 구동하거나 모터를 구동하여 사용하는 발전기형과 실리콘, 게르마늄 등을 이용하여 정류하여 직류를 얻는 정류기형 및 활용성이 적은 전지식이 있다.

2) 교류 용접기⁹⁾의 종류

도체와 자력선을 교차시키면 도체에 기전력이 발생한다. 이 현상을 전자 유도 작용이라 하며 이 유도 작용으로 발생한 기전력을 유도 기전력, 흐르는 전류를 유도 전류라 한다. 피복 아크 용접기의 전압 발생 원리는 전자 유도 작용을 이용한다.

[표 2-7] 교류 아크 용접기의 종류

종류	특징
탭 전환형	미세한 전류 조정이 불가능하다. 주로 소형에 쓰이고 있으며 전격에 위험이 있다.
가동 코일형	1차 코일의 거리 조정으로 전류를 조절한다. 하지만 가격이 고가여서 현재는 거의 사용되지 않는다.
가동 철심형	우리나라에서 가장 많이 사용되는 용접기다. 미세한 전류 조정이 가능하며 가격이 저렴하다.
가포화 리액터형	가변 저항의 변화로 용접 전류 조정. 원격 조정이 가능한 용접기다.

(가) 교류 아크 용접기의 구비조건

교류 아크 용접기는 구조 및 취급 방법이 간단하고, 조작이 쉽고, 사용 중에 온도 상승이 작으며, 역률 및 효율이 높아야 한다. 용접기는 완전 절연과 필요 이상 무부하 전압이 높지 않아 전격의 위험이 적어야 하고, 전류가 일정하게 흐르고, 아크 발생 및 유지가 쉬우며, 아크가 안정되어야 한다. 더불어 아크 발생이 쉽도록 무부하 전압이 70~80[V]를 유지하여야 한다.

(나) 교류 아크 용접기의 특징

교류 아크 용접기 전원의 무부하 전압이 항상 재점호 전압보다 높아야 아크가 안정된다. 아크 용접기의 용량은 AW(Arc Welder)로 나타내며 이는 정격 2차 전류를 의미한다. 정격 2차 전류의 조정 범위는 20~110%이다.

(다) 교류 아크 용접기 사용할 때 유의사항

교류 아크 용접기를 사용할 때는 다음과 같이 주의한다.

- 정격 사용률 이상으로 사용할 때 과열되어 소손이 생길 수 있음에 유의한다.
- 가동 부분, 냉각 팬을 점검하고 주유한다.
- 탭 전환은 아크 발생 중지 후 실시한다.
- 2차측 단자의 한쪽과 용접기 케이스는 반드시 접지한다.
- 습한 장소, 직사광선이 드는 곳에서 용접기를 설치하지 않는다.

9) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v1)

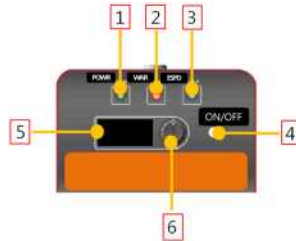
(라) 교류 용접기 전면부 명칭

교류 아크 용접기 전면부의 명칭은 다음과 같다.

[표 2-8] 교류 아크 용접기 전면 각 부분의 명칭

순번	명칭	내용
1	전원 표시 램프	용접기에 적정 전압이 공급되었음을 표시
2	이상 표시 램프	용접기에 이상이 있음을 표시
3	전격방지기 램프	전격방지기의 작동 여부를 램프 점등을 통하여 표시
4	전격방지기 버튼	사용자의 안전을 위하여 용접 종료 후 무부하전압을 차단하여 쇼트 시 감전을 예방
5	용접전류 표시창	용접 전 사용전류의 세팅 값을 표시하고 용접중 실제 용접 전류를 표시
6	출력전류 조절 스위치	용접 전류를 조절

- 용접기 전면에는 전원 표시 램프, 이상 표시 램프 등이 있다.



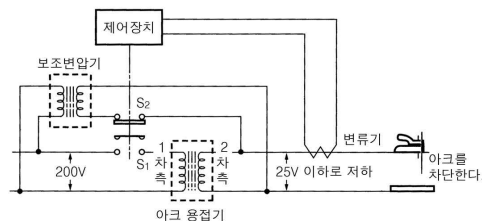
(마) 교류 아크 용접기 부속 장치

작업자의 안전과 용접 작업을 원활하게 해주는 다음과 같은 부속 장치가 있다.

[표 2-9] 교류 아크 용접기 부속 장치

종류	특징
전격방지기	감전의 위험으로부터 작업자를 보호하기 위하여 2차 무부하 전압을 20 ~ 30[V]로 유지하는 장치
고주파 발생장치	아크의 안정을 확보하기 위하여 상용 주파수의 아크 전류 외에, 고전압의 고주파 전류를 중첩하는 방식
핫 스타트 장치	처음 모재에 접촉한 순간의 0.2~0.25초 정도의 순간적인 대 전류를 흘려서 아크의 초기 안정을 도모하는 장치로 일명 아크 부스터라도 함
원격제어 장치	용접기에서 멀리 떨어진 장소에서 전류와 전압을 조절할 수 있는 장치

- 전격은 감전 등에 의해서 받는 전기적인 충격을 의미한다. 일반적으로 완전히 건조한 상태에서는 전격을 받을 위험은 적지만 물과 같은 습기가 많은 특정한 상황에서는 전격에 위험이 커진다. 전격의 위험을 줄이기 위해서는 전격방지기나 접지 등을 하고 용접 작업을 수행하여야 한다.



(바) 직류 및 교류 용접기의 비교¹⁰⁾

직류는 방향과 크기가 일정한 전기에너지를 공급하여 직류 용접기가 아크 안정면에서는 우수하나 가격이 고가이고 구조 등이 복잡하여 학교 실습용으로는 교류가 많이 사용된다.

[표 2-10] 직류 및 교류 용접기의 비교

비 교	직 류	교 류
아 크 안 정	안정	불안정
극 성 변 화	가능	불가능
아 크 쏠 림	쏘림	쏘림 방지
무부하 전압	40 ~ 60V	70 ~ 80V
전 격 위 험	적다	크다
비 피 복 봉	사용 가능	사용 불가
구 조	복잡	간단
고 장	많다	적다
역 룰	우수	떨어짐
소 음	발전기형은 크다	대체적으로 적음
가 격	고가	저가
용 도	박판	후판

3. 피복 아크 용접 일반

가. 용융 금속의 이행 형태

용융 금속의 이행 형태에 영향을 주는 요소는 용접 전류, 보호 가스, 아크 전압 등이 있다.

1) 단락형

주기적으로 발생하는 와이어와 모재의 단락에 의해 큰 용적의 용융 금속이 이행되며(표면 장력의 작용) 평균 전류 및 입력 에너지가 작아 주로 맨 용접봉 또는 박 피복봉을 사용할 때 나타난다.

2) 글로 불러형(핀치 효과형)

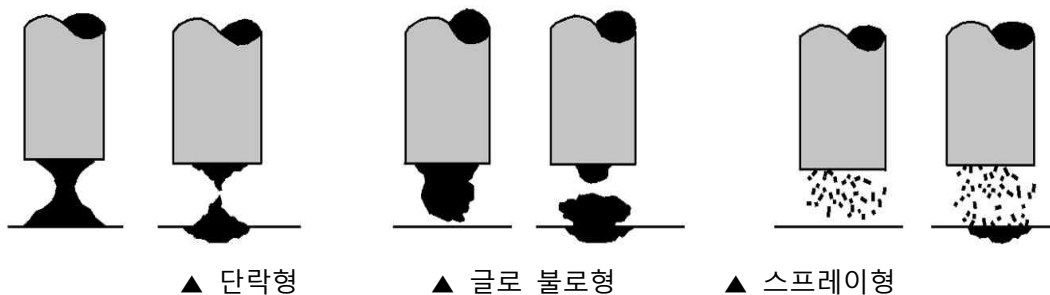
원주상에 흐르는 전류 소자 간에 흡입력이 작용하여 원기둥이 가늘어지면서 용융 방울이 모재로 이행하는 형식으로 비교적 큰 용적이 단락되지 않고 이행하며 전류의

10) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v)1
 NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 장비준비 (1601050304_18v2)

흡입력에 의해 봉 끝의 금속이 떨어져 나간다. 주로 저수소계를 사용할 때 많이 나타난다.

3) 스프레이형(분무상 이행형)

가스 폭발의 힘과 아크 힘으로 용접봉 끝의 용융 금속이 아주 미세한 입자로 되어 빠른 속도로 용접부에 이행하는 형식으로 스파터가 거의 없고 비드 외관이 아름다우며, 용입이 깊다. 주로 일루미나이트계, 고산화티타늄계를 비롯하여 미그 용접시는 아르곤 가스가 80% 이상일 때만 일어난다.



[그림 2-9] 용융 금속의 이행 형태

나. 용접 입열

외부에서 용접 모재에 주어지는 열량으로 일반적으로 모재에 흡수되는 열량은 입열의 75~ 85%이다.

$$H = \frac{60EI}{V} (\text{J/cm}) \quad (\text{단 } H \text{는 입열, } E \text{는 전압, } I \text{는 전류, } V \text{는 속도})$$

다. 사용률(duty cycle)

대부분 기계는 100% 아크 용접에 전력을 공급하도록 설계되어 있지 않다. 대부분은 100% 용접 아크를 사용하지 않으며, 용접기의 사용률은 아크가 10분의 시간 간격으로 켜질 수 있는 시간으로 측정한다. 60%의 사용률은 매 10분 중 6분 동안 용접기를 사용하여 용접할 수 있음을 의미한다. 사용률은 다음과 같이 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{사용률} = \frac{(\text{아크시간})}{(\text{아크시간} + \text{휴식시간})} \times 100$$

용접기 용량이 커지면 사용률과 더불어 용접기 가격도 올라가게 된다. 실제 용접에 있어 사용률이 60%라면 사용률이 매우 높은 용접기이다. 가정용은 30%만 되도록 충분히 사용할 수 있다.

라. 정격 사용률(machine' s duty cycle)

용접기에는 정해진 사용률 즉 정격 사용률이 있다. 용접기의 정격 사용률을 초과하면 내부 부품의 소손을 방지하기 위해 전원이 자동으로 차단되도록 일반적으로 설계되어 있다. 따라서 용접기는 실제 사용에서는 정격 사용률 이하의 허용 사용률 범위에서 사용해야 한다.

예를 들어 정격 2차 전류 200[A], 정격 사용률이 40%라고 하면 200[A]로 용접 작업을 할 때 10분 중 4분만 아크를 발생시키는 것을 정격 사용률이라고 한다. 따라서 실제 사용전류를 200[A]보다 낮게 사용할 경우 허용 사용률은 정격 사용률 이상이 될 수 있고, 반대로 실제 사용전류를 200[A]보다 높게 사용할 때는 정격 사용률 이하로 아크를 발생시켜야 한다. 이를 허용 사용률이라 부르며 정격 사용률과의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \cdot \text{허용 사용률}(\%) \times (\text{실제용접전류})^2 = \text{정격 사용률}(\%) \times (\text{정격2차전류})^2 \\ & \text{즉, } \text{허용사용률}(\%) = \frac{(\text{정격2차전류})^2}{(\text{실제용접전류})^2} \times \text{정격사용률} \end{aligned}$$

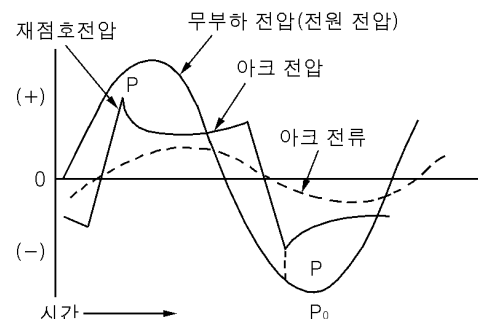
마. 용융 속도

용접봉의 용융 속도는 단위 시간당 소비되는 용접봉의 길이 또는 무게로 나타낸다. 용접봉 재질이 일정하다면 용융 속도는 아크 전압 및 심선의 지름과 관계없이 용접 전류에만 비례한다.

$$\cdot \text{용융 속도} = \text{아크 전류} \times \text{용접봉 쪽 전압강하}$$

바. 무부하 전압(open circuit voltage)

무부하 전압은 용접기는 켜져 있으나 용접 아크를 발생하지 않고 있을 때의 전압을 의미한다. 일반적으로 무부하 전압은 50~80[V] 사이에서 변화한다. 아크가 발생하고 용접이 시작하면 아크 길이에 따른 저항으로 전압은 떨어지게 된다. 이때 전압을 아크 전압이라 하고 보통 30[V] 정도이다. 이처럼 용접기는 저전압과 높은 전류를 결합하게 되면 건조한 상태에서 적절한 접지 및 절연체를 사용하여 특별히 위험하지 않게 작업을 할 수 있게 한다.



[그림 2-10] 무부하 전압과 아크 전압

사. 아크 용접기의 전기적 특성

아크 용접기의 전기적 특성은 정전류(CC: Constant Current), 정전압(CV: Constant Voltage), 두 가지 모두의 조합(CC/CV)의 세 가지 범주로 구분된다.

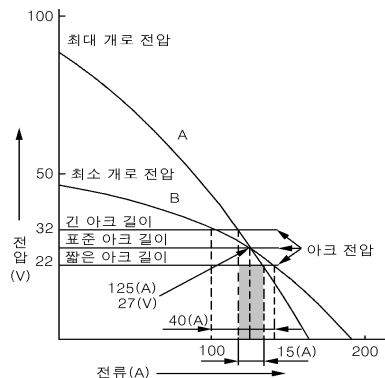
아. 정전류(CC) 특성

정전류 전원은 피복 아크 용접 및 불활성 가스 텅스텐 아크 용접과 같이 수동 용접에 필요한 특성이다. 수동 용접의 경우 아크 길이는 작업 중 변할 수 있으므로 전압이 변하더라도 일정한 양의 전류가 용접 아크에 공급될 수 있도록 한다.

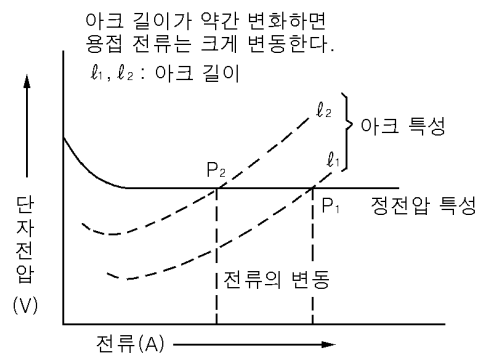
이러한 정전류 전원의 유형은 교류만, 직류만 또는 교류와 직류 모두 제공할 수 있으며, 정전류 용접기의 곡선 형태는 용접 아크 특성을 결정하는데 그림과 같이 가파른 곡선이다.

자. 정전압(CV) 특성

와이어 공급 용접 즉 반자동 및 자동 용접에서는 정전압 전원의 특성이 필요하다. 고정 전위라고도 알려진 정전압 특성은 아크 길이 및 전류가 변화해도 정전압의 범위를 유지하는 것을 말하며 CP(Constant Potential) 특성이라고도 한다.



[그림 2-11] 정전류 특성



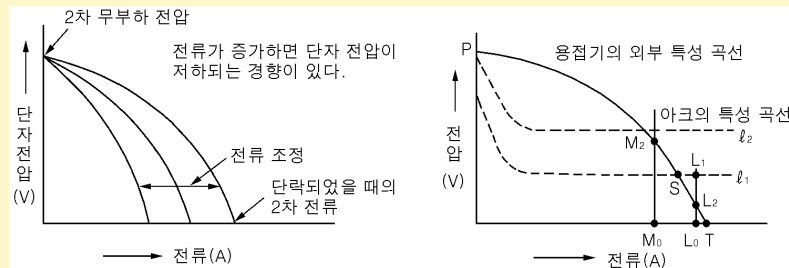
[그림 2-12] 정전압 특성

차. CC/CV 특성

CC/CV 특성을 모두 가지고 있는 경우는 수동 및 반자동, 자동 용접을 할 수 있는 복합용접기에 적용되어 다용도 용접 작업에 적합하다.

참고

- 수동 용접에 필요한 특성: 부특성(부저항 특성), 수하 특성, 정전류 특성
- 부특성: 전류가 작은 범위에서 전류가 증가하면 아크 저항이 작아져 아크 전압이 낮아지는 특성으로 부저항 특성 또는 부특성이라고 한다. 이 법칙은 일반 전기 회로에서 적용되는 옴의 법칙(Ohm's law)과는 다르다.
- 수하 특성: 부하 전류가 증가하면 단자 전압이 저하하는 특성을 수하 특성(垂下特性)이라 한다.



▲ 수하 특성

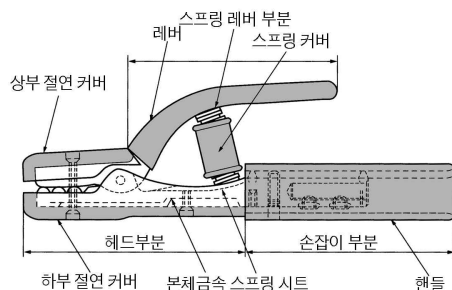
▲ 수하 특성과 아크 특성

- 자동 용접에 필요한 특성: 상승 특성, 정전압 특성
- 상승 특성: 큰 전류에서 아크 길이가 일정할 때 아크 증가와 더불어 전압이 약간씩 증가하는 특성이다. 이 상승 특성은 반자동 및 자동 용접에서 아크의 안정을 도모하기 위하여 사용되는 특성이다.

4. 피복 아크 용접 설비

가. 용접 홀더(electric welding holder)

KS C 9607에 규정되어 있는 용접봉 홀더는 용접봉의 피복이 없는 부분을 고정하여 용접 전류를 용접 케이블을 통하여 용접봉과 모재 쪽으로 전달하는 기구이다. 무게가 가볍고 전기 절연이 잘 되어있는 것이 좋으며, 용접봉의 지름이 다른 여러 용접봉을 탈착할 수 있어야 한다. 또 홀더 자신의 전기 저항과 용접봉을 고정하는 조(jaw) 부분의 접촉 저항에 의한 발열에도 과열되지 않아야 한다. 홀더의 종류로는 A형과 B형으로 나눌 수 있다.



[그림 2-13] A형 안전 홀더의 구조와 명칭

[표 2-11] 용접 홀더 규격

종류	정격용접전류 (A)	사용할 수 있는 용접봉 지름(mm)	접속되는 홀더용 케이블 (mm ²)
200호	200	3.2 ~ 5.0	38
300호	300	4.0 ~ 6.0	50
400호	400	5.0 ~ 8.0	60
500호	500	6.4 ~ 10.0	80

- 1) 용접 홀더는 가볍고 전기 절연이 잘되어 있는 것으로 사용한다.
- 2) 용접봉이나 케이블과 접속되는 부분은 접촉 저항을 적게하여 용접시 홀더가 과열되지 않는 것을 사용한다.
- 3) 접촉 저항을 감소시키기 위해 케이블과 홀더의 접촉은 납땜 또는 나사로 접속하여야 한다.
- 4) 홀더는 손잡이 이외의 부분까지도 용접 중 온도에 견딜 수 있는 절연체로서 감전에 위험이 없도록 싸여져 있어야 한다.
- 5) 용접 홀더는 A형과 B형으로 구분할 수 있다.
 - (가) A형은 안전 홀더라고도 하며 용접봉 접지 부분 이외 몸통부분 전체가 절연체로 싸여 있어 전격의 위험과 홀더 사용 중 온도 상승에도 견딜 수 있도록 설계되어 있다.
 - (나) B형 홀더는 손잡이 부분만 절연되어 있고 나머지는 노출되어 있다.

나. 용접 케이블¹¹⁾

용접기에 사용되는 전선류는 사용전류와 길이에 따라 적당한 것을 선정한다. 용접용 전선은 리드용 케이블과 홀더용 케이블로 나누어 표시한 후 사용한다.



[그림 2-14] 용접용 케이블

홀더용 2차측 케이블은 유연성이 좋은 캡 타이어 전선을 사용하도록 하는데 이는 전선 지름은 0.2~0.5mm의 가는 구리선을 수백 선 내지 수천 선을 꼬아서 튼튼히 감고 그 위에 고무로 덮은 것을 말한다. 또한, 크기의 단위도 1개의 선은 의미가 없으

11) NCS 분류번호 : 피복아크용접 장비준비 (1601050104_14v1)

므로 단면적(mm^2)을 사용한다. 하지만 1차 측은 고정된 선으로 유동성이 없어야 하므로 단선으로 지름(mm)을 사용하여 그 크기를 표시한다.

[표 2-12] 용접 케이블 규격

구분	200A	300A	400A
1차측 지름(mm)	5.5	8	14
2차측 단면적(mm^2)	38	50	60

- 1) 1차 케이블이 너무 가늘면 저항이 높아 용접기의 전압이 떨어지며 도선에 열이 생겨 위험하다.
- 2) 2차 케이블도 충분한 굵기를 가져야 하고 적어도 단자와 단자 사이의 전압강하가 4%를 넘지 않도록 한다.

다. 케이블 커넥터(cable connector)

접 작업시 케이블을 연결하여 사용하고자 할 때 케이블 커넥터로 접속한다. 볼트의 체결로 용접기 단자에 접속되도록 하는 것을 케이블 러그(lug)라 한다. 연결 및 체결을 할 때는 접촉 불량으로 인해 발열이 생기지 않도록 주의한다.



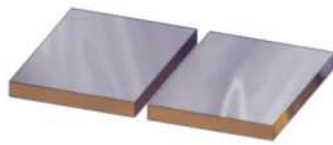
[그림 2-15] 케이블 단자 및 케이블 커넥터

5. 피복 아크 용접 작업¹²⁾

가. 용접 이음의 종류

용접 이음은 맞대기 이음(butt joint), 겹치기 이음(lap joint), 티 이음(tee joint), 모서리 이음(outside corner joint) 및 변두리 이음(edge joint)의 기본 5종류가 있다. 용접 이음의 선택은 구조물에 변형 및 응력, 기타 여러 가지 영향을 줄 수 있어 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 용접 이음 중 겹치기 이음은 가능한 피하고 맞대기 이음을 하여야 한다.

12) NCS 분류번호 : 피복아크용접 맞대기용접 (1601050111_16v2)



(a) 맞대기 이음



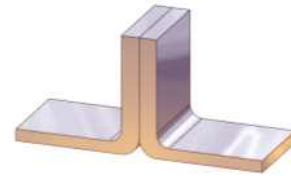
(b) 겹치기 이음



(c) 티 이음



(d) 모서리 이음

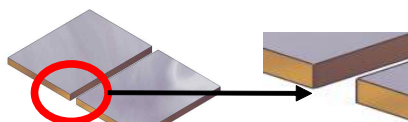


(e) 변두리 이음

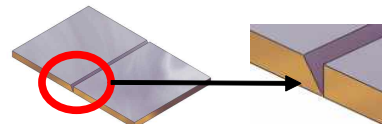
[그림 2-16] 용접 이음의 종류

나. 용접 홈 형상의 종류

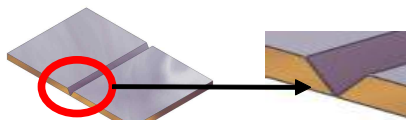
하중이 적고, 충격이나 반복하중의 염려도가 적거나, 부식에 대한 고려가 적을 때 부분 용입 이음을 선택하여도 된다. 하지만 큰 하중이나 충격 또는 반복하중을 받는 이음이나 저온 등에서 사용되는 경우에는 완전 용입 이음을 선택하여야 한다. 용접 홈 형상을 결정할 때는 용착량, 용접 자세, 이면 용접 여부, 용접 방법, 용접 시공 환경 등이 고려되어야 한다.



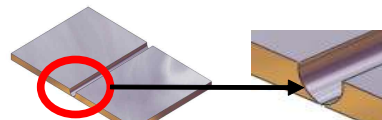
(a) I형 이음



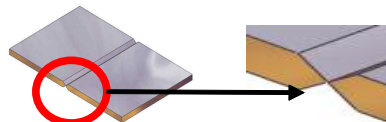
(b) 한쪽면 V형 이음(베벨형)



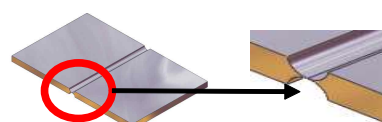
(c) V형 이음



(d) U형 이음



(e) 양면 V형 이음 (X형)



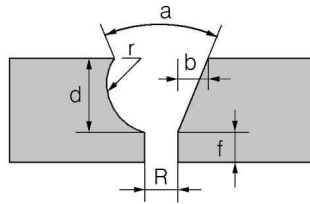
(f) 양면 U형 이음 (H형)

[그림 2-17] 용접 홈의 종류

다. 용접 홈 형상에 따른 영향

용접 홈의 각도가 좁을 때는 루트 간격을 넓혀야 충분한 용입을 얻을 수 있다. 반면에 루트 간격이 좁을 때는 홈 각도를 크게 하여야 한다. 용접 홈의 설계 요령은

홈의 단면적은 가능한 한 작게 하고, 홈 각도 또한 용입이 허용하는 한 작게 한다. 루트 반지름은 가능한 한 크게 하며, 적당한 루트 간격과 루트 면을 만들어 준다.

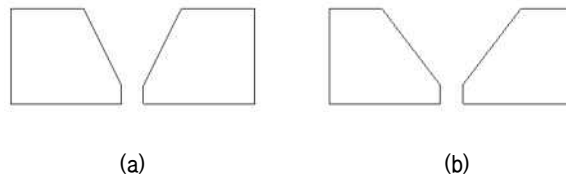


a : 홈 각도
d : 홈 깊이
R : 루트 간격
r : 루트 반경
f : 루트 면
b : 베벨각

[그림 2-18] 용접 홈의 명칭

1) 홈 각도

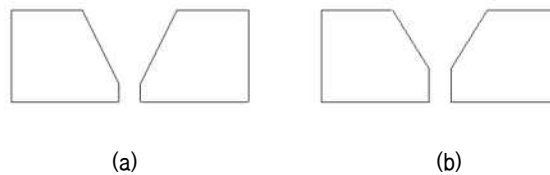
홈 각도가 좁으면 [그림 2-19(a)], 용입 불량 및 이면 비드가 나오기 어렵고 반대로 홈 각도가 넓으면 [그림 2-19(b)] 용입 불량의 위험은 줄어드나 용락될 수 있다.



[그림 2-19] 홈 각도의 차이

2) 루트 면에 따른 영향

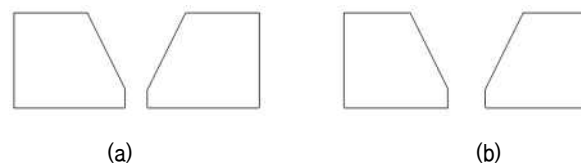
용락의 위 루트 면이 얇으면 [그림 2-20(a)] 다층 용접에서 이면 비드가 나오기 쉬우나 용락의 위험이 있고, 반대로 루트 면이 넓으면 [그림 2-20(b)] 용락의 위험은 줄어드나 이면 비드가 나오지 않을 수 있다.



[그림 2-20] 루트 면의 차이

3) 루트 간격

루트 간격이 좁으면 [그림 2-21(a)] 용락의 위험은 줄어드나 이면 비드가 나오지 않을 수 있으며, 루트 간격이 넓으면 [그림 2-21(b)] 이면 비드가 나오기 쉬우나 용락의 위험이 있다.



[그림 2-21] 루트 간격의 차이

라. 용접 전류의 설정

용접 전류는 사용 모재의 재질, 두께, 주변 환경 등에 그 값이 달라진다. 일반적으로 교류 아크 용접기를 사용할 경우 시계 방향(CW)으로 손잡이를 돌리면 전류값이 올라가고 반시계 방향(CCW)으로 돌리면 전류값이 내려가게 된다.

1) 용접봉과 전류값

용접봉의 전류값은 용접봉의 지름, 피복제의 두께와 종류 및 용접 자세에 따라 달라진다.

종류	KS E4316, AWS E6016
사용 심선	KS D3508(SWR2)
용접 자세	F V H O
전류 범위	AC, DC(±): 60~130, 60, 110
용도	연강용
규격	Ø3.2

[그림 2-22] 용접봉의 사양표시

전원의 종류, 극성, 전류값 등의 내용에 따라 전원의 종류와 극성을 선택하고, 표시된 전류 범위의 중간값 정도를 1차 조정한다.

2) 자세별 용접 전류 설정하기

용접봉의 적정 전류는 단면적 1mm²당 약 11~13[A] 정도이다. 예를 들어 지름이 3.2mm인 용접봉의 단면적은 $1.6 \times 1.6 \times 3.14 \times (11 \sim 13)$ 에서 약 90~100A가 적정 전류이다.

[표 2-13] 자세별 용접 전류

용접봉 종류	용접 자세	용접봉 지름(mm) / 용접 전류(A)						
		Ø2.6	Ø3.2	Ø4.0	Ø5.0	Ø6.0	Ø6.4	Ø7.4
E4301	F, V, H, O	50 ~ 85	80 ~ 130	120 ~ 180	170 ~ 240	240 ~ 310	-	300 ~ 370
		40 ~ 70	60 ~ 110	100 ~ 150	130 ~ 200	-	-	-
E4303	F, V, H, O	60 ~ 100	100 ~ 140	140 ~ 190	200 ~ 260	250 ~ 330	-	310 ~ 390
		50 ~ 90	80 ~ 110	110 ~ 170	140 ~ 210	-	-	-
E4311	F, V, H, O	50 ~ 75	70 ~ 110	110 ~ 155	155 ~ 200	190 ~ 240	-	-
		30 ~ 70	55 ~ 105	90 ~ 140	120 ~ 180	-	-	-
E4313	F, V, H, O	55 ~ 95	80 ~ 130	125 ~ 195	170 ~ 230	230 ~ 300	240 ~ 320	-
		50 ~ 90	70 ~ 120	100 ~ 160	120 ~ 200	-	-	-
E4316	F, V, H, O	55 ~ 85	90 ~ 130	130 ~ 180	180 ~ 240	250 ~ 310	-	300 ~ 380
		50 ~ 80	80 ~ 115	110 ~ 170	150 ~ 210	-	-	-
E4324	F, H-Fil	-	130 ~ 160	180 ~ 220	240 ~ 290	-	350 ~ 450	-
E4326	F, H-Fil	-		140 ~ 180	180 ~ 220	240 ~ 270	270 ~ 300	290 ~ 320
E4327	F, H-Fil	-		170 ~ 200	210 ~ 240	260 ~ 300	280 ~ 330	310 ~ 360

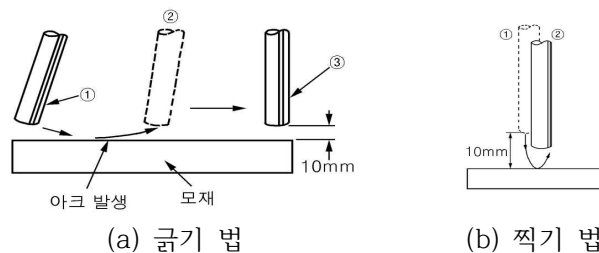
※ 단, 작업자, 사용조건 등에 따라 전류값이 달라질 수 있음

마. 아크 길이

아크 길이는 2~3mm 정도이며 용접봉 심선의 지름이 2.6mm 이하인 용접봉은 심선의 지름과 거의 같은 것이 좋다. 아크 길이가 길어지면 전압은 비례하여 증가하며 발열량도 커진다.

바. 아크 발생 및 중단

아크 발생 방법으로는 긁는 법(scratch method)과 찍는 법(tapping method)이 있는데 초보자는 전자를 사용한다. 아크의 중단 시는 아크 길이를 짧게 하여 크레이터를 채운 후 재빨리 든다.



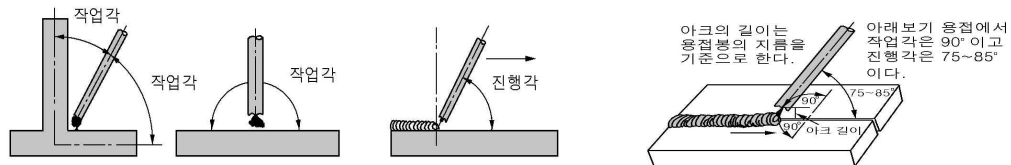
[그림 2-23] 아크 발생법

사. 용접 속도

용접 속도는 모재에 대한 용접선 방향의 아크 속도 또는 운봉 속도를 말한다. 용접 속도는 용접봉의 종류 및 전류값, 이음 모양, 모재의 재질 및 위빙의 유무에 따라 달라진다. 또한, 전압 및 전류가 일정할 때 속도가 증가하면 비드의 나비는 감소하며 용입도 감소한다. 실제 작업에서는 비드의 겉모양을 손상하지 않는 범위 내에서 약간 빠른 편이 좋다.

아. 용접봉의 각도¹³⁾

용접봉의 각도는 작업각과 진행각으로 구분할 수 있다. 작업각은 용접봉과 이음 방향에 나란하게 세워진 수직 평면과의 각도를 말하고, 진행각은 용접봉과 용접선이 이루는 각도로 용접봉과 수직선 사이의 각도로 표시한다.



[그림 2-24] 용접봉의 각도

13) NCS 분류번호 : 피복아크용접 맞대기용접 (1601050111_16v2)

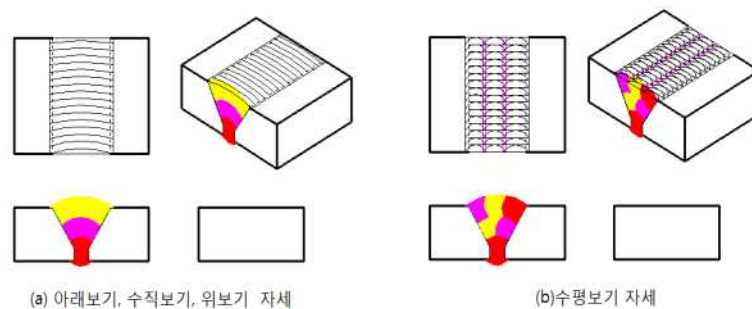
자. 용접 자세

용접 자세는 아래보기 자세(flat position: F), 수직보기 자세(vertical position: V), 수평보기 자세(horizontal position: H), 위보기 자세(overhead position: O) 등이 있으며, 이중 2가지 이상을 조합하여 용접을 하거나 4가지 전부를 응용하여 용접하는 자세를 전 자세(all position: AP)라고 한다. 이러한 자세는 한국(KS)과 국제 표준화 기구(ISO), 미국 용접 학회(AWS)는 다른 기호로 사용하고 있다.

[표 2-14] 용접 자세별 기호

자 세	KS	ISO	AWS
아 래 보 기	F	PA	1G
수 평	H	PC	2G
수 직 (상향)	V	PF	3G
수 직 (하향)	V	PG	3G
위 보 기	O	PE	4G

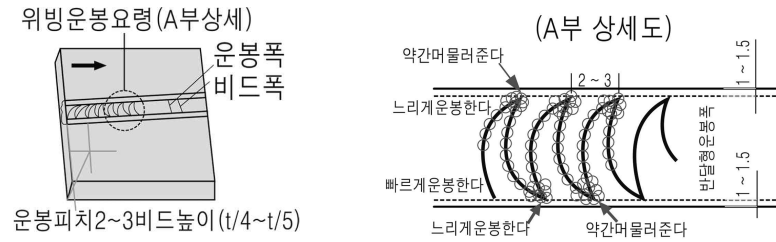
아울러 자세별 시험편 맞대기 용접 방법은 아래보기, 수직보기, 위보기 자세는 방법은 같다. 즉 차 비드를 용접하여 이면 비드를 만든 후 2차~4차 비드를 만들것자 할 때는 위빙을 하여 완성한다. 하지만 수평보기의 경우는 1차를 완성한 후 아래에서 차례로 쌓아 올려 완성한다. 즉 2차는 2줄, 3차는 3줄 등과 같은 방법으로 완성한다.



[그림 2-25] 용접 자세별 용접 방법

차. 운봉법

운봉은 위빙이라고도 하며 용접을 할 때 용접봉의 움직임을 말한다. 일반적으로 운봉 폭은 심선 지름의 2~3배가 적당하며 쌓고자 하는 비드 폭보다 다소 좁게 운봉한다. 넓은 비드 운봉 피치(간격)는 2~3mm, 운봉 속도는 양끝에서는 잠시 멈추어 용입이 되도록 하고 중앙은 빠르게 한다.



[그림 2-26] 용접봉 운봉법

아래보기 용접	직 선		수평 용접	대파형	
	소파형			원형	
	대파형			타원형	
	원 형			삼각형	
	삼각형			반월형	
	각 형			8자형	
아래보기 T 형 용접	대파형		위보기 용접	지그재그형	
	선전형			대파형	
	삼각형			각 형	
	부채형			파 형	
	지그재그형			삼각형	
경사판 용접	대파형		수직 용접	지그재그형	
	삼각형				

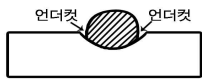

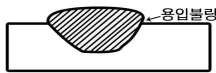

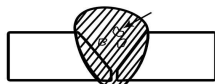
[그림 2-27] 자세별 운봉법 예

카. 용접 결함¹⁴⁾




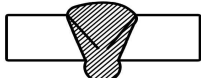
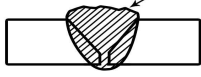
용접 결함은 치수상 결함, 성질상 결함, 구조상 결함으로 구분할 수 있다.

- 1) 치수상 결함: 변형, 치수 및 형상 불량
- 2) 성질상 결함: 기계적 성질 불량, 화학적 성질 불량
- 3) 구조상 결함: 언더컷, 오버랩, 기공, 용입 불량 등

[표 2-15] 구조상 결함의 종류

결함의 종류	원인	대책
언더컷 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 전류가 너무 높을 때 • 부적당한 용접봉 사용 시 • 용접 속도가 너무 빠를 때 • 용접봉의 유지 각도가 부적당할 때 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 전류를 낮춤 • 조건에 맞는 용접봉 종류와 지름 선택 • 용접 속도를 느리게 함 • 유지 각도를 재조정함
오버랩 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 전류가 너무 낮을 때 • 부적당한 용접봉 사용 시 • 용접 속도가 너무 늦을 때 • 용접봉의 유지 각도가 부적당할 때 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 전류를 높임 • 조건에 맞는 용접봉 종류와 지름 선택 • 용접 속도를 빠르게 함 • 유지 각도를 재조정함
용입 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 전류가 낮을 때 • 용접 속도가 빠를 때 • 용접 홈의 각도가 좁을 때 • 부적당한 용접봉 사용 시 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래그 피복성을 해치지 않은 범위에서 전류 높임 • 용접 속도를 느리게 함 • 이음 홈의 각도, 루트 간격을 크게 하고 루트면의 치수를 적게 함 • 용입이 깊은 용접봉을 선택함
균열 	<ul style="list-style-type: none"> • 이음의 강성이 너무 클 때 • 부적당한 용접봉 사용 할 때 • 모재의 탄소, 망간 등의 합금 원소 함량이 많을 때 • 모재의 유황 함량이 많을 때 • 전류가 높거나 속도가 빠를 때 	<ul style="list-style-type: none"> • 예열, 후열 시공 • 저수소계 용접봉 사용과 건조 관리 • 적절한 속도로 운봉 • 용접 금속 중의 불순물 성분을 저하 • 용접 조건의 선택으로 비드 단면 형상을 조정
기공 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 또는 일산화탄소 과잉 • 용접부의 급속한 응고 • 모재 가운데 유황함유량 과대 • 기름 페인트 등이 모재에 묻어 있을 때 • 아크 길이, 전류 조작의 부적당 • 용접 속도가 너무 빠를 때 	<ul style="list-style-type: none"> • 저수소계 용접봉 등으로 용접봉을 교환 • 위빙을 하여 열량을 높이거나 예열 • 이음의 표면을 깨끗이 청소 • 정해진 전류 범위 안에서 약간 긴 아크를 사용하거나 용접법을 조절 • 적당한 전류를 사용 • 용접 속도를 늦춤

14) NCS 분류번호 : 피복아크용접부 검사 (1601050107_16v2)

결함의 종류	원 인	대 책
<p>선상 조직</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 용착금속의 냉각 속도가 빠를 때 	<ul style="list-style-type: none"> 용착 금속을 서냉한다. 모재의 재질에 맞는 용접봉을 선택
<p>슬래그 혼입</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 이음의 설계가 부적당할 때 봉의 각도가 부적당할 때 전류가 낮을 때 슬래그 용점이 높은 봉을 사용할 때 용접 속도가 너무 느려 슬래그가 선행할 때 전층의 슬래그 제거가 불완전할 때 	<ul style="list-style-type: none"> 루트 간격을 넓혀 용접 조작을 쉽게 하고, 아크 길이 또는 조작을 적당히 함 봉 각도를 조절함 전류를 높임 용접부를 예열하고, 슬래그 용점이 낮은 것을 선택 용접 전류를 약간 높이고 용접 속도를 조절하여 슬래그의 선행을 막음 전층 비드의 슬래그를 깨끗이 제거할 것
<p>스패터</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 전류가 높을 때 건조되지 않은 용접봉 사용시 아크 길이가 너무 길 때 봉각도가 부적당할 때 	<ul style="list-style-type: none"> 적정 전류를 사용 봉을 충분히 건조하여 사용 아크 길이를 조절 봉각도를 조절
<p>용락</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 이음의 형상이 부적당할 때 용접 전류가 너무 높을 때 아크 길이가 길 때 용접 속도가 너무 느릴 때 모재가 과열되었을 때 	<ul style="list-style-type: none"> 루트 면을 크게 하고 루트 간격을 조절 용접 전류를 조절 아크 길이를 조절 열량이 너무 커지지 않도록 용접 속도를 조절
<p>피트</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 모재에 탄소, 망간, 황 등의 함유량이 많을 때 습기, 녹, 페인트가 있을 때 용착금속의 냉각 속도가 빠를 때 	<ul style="list-style-type: none"> 저수소계 용접봉 등 재질에 맞는 용접봉을 선택 이음부를 청소하고 봉을 건조함 예열함

6. 피복 아크 용접 안전

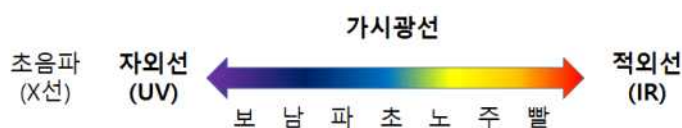
피복 아크 용접은 아크 용접으로 일반적으로 전기를 사용하는 아크 용접은 아크 광선, 용접 불꽃 비산으로 인한 신체 보호 등이 필요하다.

가. 아크 광선¹⁵⁾

아크 빛과 관련된 오해가 있다. 아크 빛은 사람을 영구적으로 장님으로 만들 것이

15) NCS 분류번호 : 피복아크용접 작업안전보건관리 (1601050101_16v2)

라는 생각은 일반적인 오해이며, 용접하는 동안 콘택트렌즈 착용은 녹기 때문에 어렵다는 것 또한 오해이다. 아크 빛에 대한 노출로 인한 실제 위험은 아크 플래시라고 알려진 조건이다. 사람의 눈은 일정한 시간 동안 빛에 노출될 필요가 있다. 잠시 밖에 나가서 실내로 돌아오면 눈에는 화상을 입지 않지만, 햇빛이 강한 날 아무런 보호 없이 지낸다면 사람의 피부에도 화상을 입듯이 눈에도 피해를 주게 될 것이다. 이것은 태양 빛에 가시광선 외에 적외선과 자외선이 있기 때문이다. 아크 빛도 마찬가지이다. 장시간 아크 빛에 노출되면 자외선과 적외선으로 인해 눈에 피해를 주는 것이다.



[그림 2-28] 빛의 구성

아크 빛은 매우 불편하지만, 다행히도 실명을 일으키거나 즉시 해를 끼치지 않는다. 그 대신 아크 빛에 눈이 노출되면 눈에 모래가 굴러가는 것처럼 느끼게 되고 통스러울 것이다. 치유는 시간이 가는 것밖에 없어, 아크 빛은 직접 보지 말고 피하는 것이 가장 좋다.

이러한 전기 아크는 작은 태양으로 생각하면 된다. 용접할 때 많은 열이 발생하고 눈이 부신 빛을 만들어 내기 때문이다. 아크 빛에는 자외선(UV), 적외선(IR) 및 가시광선이 포함되어 있어 강렬하므로 필터 플레이트를 통해 작업을 진행하여야 한다. 이 필터 플레이트는 아크가 비추어지지 않으면 아무것도 볼 수 없어서 사람들은 용접사가 어둠 속에서 일한다고 말하기도 한다. 작업자의 눈을 안전하게 보호하기 위해서는 용접 작업에 맞는 적합한 필터 플레이트를 사용해야 한다. 일반적으로 필터 플레이트는 번호로서 음영을 표시하는데 번호가 클수록 어두운 것이다. 적절한 차광유리가 장착되어 있지 않은 상태에서 아크나 빛을 보지 말아야 하며 용접 후 눈부심 등이 있다면 차광유리 번호를 한 단계 높은 것으로 교체하여야 한다. 물론 용접 작업 시 너무 어두운 경우에는 차광유리 번호를 한 단계 낮춘 것으로 교체한다. 적절한 음영은 아크 용접의 유형과 사용되는 용접 전류 용접봉의 크기에 따라 일반적으로 달라진다.



[그림 2-29] 필터 플레이트

[표 2-16] 차광도 번호

차광도 번호	피복 아크 용접	가스 실드 아크 용접	아크 에어 가우징		
1.2	산란광 또는 측사광을 받는 작업				
1.4					
1.7					
2					
2.5					
3					
4					
5	-	-	-		
6	30이하				
7	35를 초과 75까지				
8	75를 초과 200까지				
9					
10					
11	200을 초과 400까지				
12					
13					
14	400을 초과	500을 초과한 경우	300을 초과한 경우		
15	-				
16					

참고

전기는 양극과 음극이 만나면 빛과 열과 소리를 수반한다. 이때 한번 양극과 음극이 만나 번쩍이는 불꽃을 우리는 스파크라고 한다. 반면 아크는 이 스파크가 꺼지지 않고 유지되는 것을 말한다. 즉 스파크가 꺼지지 않고 유지되려면 일정한 거리가 필요한데 이를 아크 길이가 한다. 따라서 아크 용접을 할 때 스파크가 꺼지지 않고 아크가 유지되려면 모재와 전극(용접봉)간의 일정한 거리를 유지하여야 한다. 그래서 아크는 기체 중에 일어나는 방전으로 정의하고 있다.

7. 용접용 보호면¹⁶⁾

용접, 열 절단 등을 할 때 발생하는 자외선, 적외선 및 강렬한 가시광선으로부터 작업자의 눈을 보호하고 또한 아크 스패터 등에 의한 화상의 위험으로부터 안면, 앞머리 부 및 목부의 앞면을 보호하는 것을 용접용 보호면이라고 한다. 용접작업을 위해서는 용접용 보호면과 용접용 안경의 상태를 확인해야 한다. 현장에서 일부 작업자가 필터 플레이트를 사용한 안경 또는 고글 등을 사용하여 용접을 하나, 장시간 용접 시에는 얼굴에 화상의 우려가 있다. 특히 용접 보호면의 아크 빛의 침투를 허용하는 구멍 또는 균열은 아크 섬광을 유발할 수 있으므로 주의하여야 한다. 일부 작업장에서는 용접

16) NCS 분류번호 : 피복아크용접 작업안전보건관리 (1601050101_16v2)

중 아크 불빛이 일어나게 되면 필터 플레이트로 작동하고 아크 불빛이 없게 되면 일반 커버 플레이트처럼 밖을 볼 수 있어 편리한 자동 용접면도 있지만, 장시간 용접용으로는 추천하지 않는다. 또한, 손으로 용접 보호면을 잡고 사용하는 핸드실드 용접면도 있다.

[표 2-17] 용접용 보호면의 종류

종류	형식		기호	크기 (길이×나비×깊이)	창틀 개구부 크기 (세로×가로)	눈에서 면체 내면까지의 거리
헬멧형 용접면	헤드 밴드식	개폐식	EH-1	320×210×140 이상	40×90 이상	50 이상
		고정식	EH-2			
	안전모 부착식	개폐식	ES-1	320×210×140 이상	40×90 이상	50 이상
		고정식	ES-2			
핸드실드 용접면		개폐식	F-1	310×210×120 이상	40×90 이상	-
		고정식	F-2			

- 개폐식이란 창 부분이 2중으로 되어 있는 바깥쪽 창틀을 개폐할 수 있는 것
- 고정식이란 창 부분을 개폐할 수 없는 것
- 안전모 KS E4901에 규정하는 것 또는 산업안전보건법의 보호모의 표준에 규정하는 것
- 용접 보호면 구성
 - 필터 플레이트: 해로운 광선을 차단하는 직사각형의 필터로서 KS P 8141에 규정
 - 커버 플레이트: 스퍼터, 흠 등이 필터 플레이트에 부착되는 것을 보호하기 위한 직사각형의 무색투명한 유리판 또는 플라스틱판으로 KS P 8141에 규정
 - 면체: 안면, 앞머리부, 복부의 앞면을 덮는 각체이며 필터 플레이트 및 커버 플레이트를 삽입할 수 있는 창 부분을 가진 것. 내면은 반사를 막기 위해 어두운 색으로 하며 금속 부품이 면체를 관통하는 구조인 것은 금속 부품의 면체 안쪽 또는 바깥쪽을 전기 절연체로 덮은 것이어야 함



(a) 헬멧형 헤드 밴드식 개폐식(EH-1)



(b) 헬멧형 헤드 밴드식 고정식(EH-2)



(c) 헬멧형 안전모 부착식 개폐식 (ES-1)



(d) 핸드실드형 고정식(F2)

용접용 용접면에 유리판 또는 플라스틱판을 사용하는데 이것은 스파터, 흠 등이 필터 플레이트에 부착되는 것을 막기 위한 커버 플레이트이다. 또한, 용접 후 필터 플레이트를 개폐 후 슬래그를 제거할 때 작업자의 눈을 보호할 수 있다. 작업자의 눈 보호를 위해 차광 용접면을 사용하였다면, 학교 등에 실습장에서는 다른 사람의 눈을 보호하기 위해 차광막을 설치해야 한다. 특히 어린이와 애완동물 등은 밝은 빛에 끌리는 경향이 있으므로 야외 작업 시에는 작업자가 아닌 다른 사람들의 눈을 보호하기 위하여 차광막을 반드시 설치하고 작업을 해야 한다. 물론 장시간 적외선과 자외선에 노출되면 백내장이 발생할 수 있으므로 유의한다.

8. 신체 보호

강렬한 광선으로부터 피부를 보호하기 위해 반드시 보호복을 착용하여야 한다. 노출된 피부는 적외선 및 자외선으로 화상을 입을 수 있다. 아크 용접 중에는 흰옷을 입지 말아야 하는데 흰색 티셔츠는 아크 빛을 얼굴에 반사하기 때문이다. 작업복도 옷소매, 바지 등을 확인하고 옷깃은 단추를 단단히 채운다. 옷이 불에 잘 붙는 나일론 제품은 피하고 면 제품을 선택한다.

용접 작업을 할 때는 항상 쉽게 벗고 낄 수 있는 가죽 용접 장갑을 착용한다. 용접으로 인해 열을 축적하거나 뜨거운 불꽃, 뜨거운 모재 및 슬래그가 우발적으로 손에 떨어질 때를 대비하기 위한 것이다. GTAW를 사용하면 스파터가 거의 발생하지 않으므로 피복 아크 용접 등에 비하여 얇은 장갑을 사용하면 효율적이다.



[그림 2-30]
용접 보호구



(a) 스파크, 고온용 용접 3지용 가죽장갑 (b) 불활성가스 텅스텐 아크 용접용 가죽장갑

[그림 2-31] 용접용 가죽 장갑

피복 아크 용접, 플럭스코드 이산화탄소 아크 용접법 등은 스파크, 고온 슬래그 및 용융 금속 생성이 많아 가죽 앞치마와 팔 덮개 등 신체 보호구를 착용해야 한다. 특히 수직 및 위보기 자세에서는 반드시 착용한다. 작업화도 단화보다는 목이 긴 장화를 권장하며, 보조작업자도 작업자와 같게 보호복을 착용하여야 한다. 용접 집게 플라이어를 사용하여 용접된 모재 등을 옮겨야 한다. 뜨거운 모재는 가죽장갑의 실을

타게 하여 구멍을 내어 손에 화상을 입힐 수 있다. 안전을 위해 뜨거운 것을 알리고 싶을 때는 ‘뜨거운’ 것으로 표시를 한다.

가. 흠(fume)

피복 아크 용접 및 플럭스코드 아크 용접 시에 발생하는 흠에 대한 과다 노출을 피해야 한다. 작업장은 충분한 기계적 환기를 위한 배기 장치를 갖추어야 하며, 더불어 신선한 공기가 공급될 수 있도록 환기 장치를 갖추어야 한다. 작업자는 미스트, 흠 또는 분진이 발생하는 장소에서는 방진 마스크, 송기 마스크를 착용하고 작업한다.

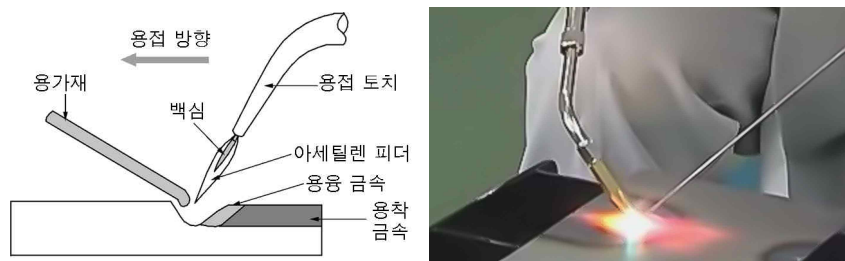


[그림 2-32] 방진 마스크

제 3 장 가스 용접법

1. 가스 용접의 개요

가스 용접은 가연성 가스(아세틸렌, 석탄 가스, 수소 가스, LPG 등)와 지연성 가스(산소, 공기)의 혼합으로 가스가 연소할 때 발생하는 열(약 3,000℃ 정도)을 이용하여 모재를 용융시키면서 용접봉을 공급하여 접합하는 방법이다.



[그림 3-1] 가스 용접(산소 아세틸렌 용접)

참고

연소의 3대 요소는 점화원, 가연물, 산소 공급원이다. 즉 불이 붙을 수 있는 불씨인 점화원, 불이 붙는 물질이 가연물, 타는 것을 도와주는 산소가 필요하다.

가. 가스 용접의 장단점

1) 장점

가스 용접은 전기가 필요 없고, 용접기의 운반이 비교적 자유로우며, 용접 장치의 설비비가 아크 용접에 비하여 싸다. 불꽃을 조절하여 용접부의 가열 범위를 조정하기 쉽고, 박판 용접 등에 적당하며, 용접되는 금속의 용융 범위가 넓다. 또한, 유해 광선의 발생이 적고 용접 기술도 쉬운 편이다.

2) 단점

고압가스를 사용하기 때문에 폭발, 화재의 위험이 크고, 열효율이 낮아서 용접 속도가 느리다. 또한, 아크 용접과 비교하면 불꽃 온도가 낮고, 금속이 탄화 및 산화될 우려가 크다. 열의 집중성이 나빠 효율적인 용접이 어렵고, 용접부의 기계적 강도가 떨어지며, 가열 범위가 넓어 용접 응력이 크고, 가열 시간 또한 오래 걸려 일반적으로 신뢰성이 낮다.

나. 가스 용접용 가스

1) 지연성 가스(조연성 가스)

지연성 가스는 자신은 타지 않으면서 다른 물질의 연소를 도와 지연성 가스라고도 불리며 대표적인 것이 산소(O₂)이다. 산소는 공기 중에 21[%] 정도이며, 분자량은 16, 무색, 무취, 무미의 기체로 1ℓ의 중량은 0℃ 1기압에서 1.429g이다. 비중은 1.105로 공기보다 무겁고, 용융점은 -219℃, 비등점은 -183℃이다.

2) 가연성 가스¹⁷⁾

가연성 가스는 공기 또는 산소 등과 혼합하여 연소하는 가스로서 폭발한계의 하한이 10% 이하인 것과 폭발한계의 상한과 하한의 차가 20% 이상인 가스로, 아세틸렌(C₂H₂), 수소(H₂), 일산화탄소(CO), 메탄(CH₄), 프로판(C₃H₈), 부탄(C₄H₁₀), 암모니아(NH₃) 등이 있다.

가연성 가스의 조건의 조건으로는 불꽃 온도가 높고, 연소 속도가 빠르며, 발열량이 또한 크고 용융금속과 화학 반응을 일으키지 않아야 한다. 가연성 가스의 구비 조건은 다음과 같다.

- 불꽃 온도가 높을 것 • 연소 속도가 빠를 것
- 발열량이 클 것 • 용융 금속과 화학 반응을 일으키지 않을 것

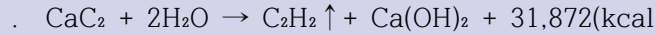
[표 3-1] 가연성 가스의 비교

가스 종류	완전 연소 반응식	비중	발열량 (kcal/m ³)	가스 혼합비 (가연성 가스 : 산소)			산소와 혼합시 불꽃 최고 온도(℃)	공기 중 폭발범위	산소 중 폭발범위
아세틸렌	$C_2H_2 + 2\frac{1}{2}O_2 = 2CO_2 + H_2O$	0.906	12,753.7	1:1.1	1:1.8	1:1.7	3,430	2.5 ~ 81	2.5~93
수소	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$	0.070	2,446.4	1:0.5	1:0.5	1:0.5	2,900	4 ~ 74	4~94
프로판	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$	1.522	20,550.1	1:3.75	1:4.75	1:4.5	2,820	2.1 ~ 9.5	-
메탄	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	0.555	8,132.8	1:1.8	1:2.25	1:2.1	2,700	5 ~ 15	5.1~61

(가) 아세틸렌(C₂H₂)

- (1) 비중은 0.906으로 공기보다 가볍고, 가연성 가스로 가장 많이 사용한다.
- (2) 제조방법은 카바이드(CaC₂)에 물을 작용시켜 만든다.

17) NCS 분류번호 : CO₂용접 재료 준비 (1601050203_13v1)



- (3) 순수한 것은 무색, 무취의 기체이다. 하지만 인화수소, 유화수소, 암모니아와 같은 불순물을 혼합하면 악취가 난다.

[표 3-2] 아세틸렌가스 중의 불순물

종 류	인화수소 (PH ₃), (%)	황화수소 (H ₂ S), (%)
1급	0.06 이하	0.20 이하
2급	0.10 이하	0.20 이하

- (4) 15℃ 1기압에서 1ℓ의 무게는 1.176g이다.
- (5) 여러가지 액체에 잘 용해되며 물에는 같은 양, 석유에는 2배, 벤젠에는 4배, 알코올에서는 6배, 아세톤에는 25배 용해되며, 그 용해량은 압력에 따라 증가한다. 단 소금물에는 용해되지 않는다.
- (6) 대기압에서 -82℃ 이면 액화하고, -85℃ 이면 고체로 된다.
- (7) 산소와 혼합하였을 때 3,000~3,430℃ 의 고온을 낸다.
- (8) 아세틸렌의 폭발성

[표 3-3] 아세틸렌의 폭발성

변 수	조 건
온 도	<ul style="list-style-type: none"> • 406~408℃: 자연 발화 • 505~515℃: 폭발 위험 • 780℃: 자연 폭발
압 력	<ul style="list-style-type: none"> • 1.3기압 이하에서 사용 • 1.5기압: 충격 가열 등의 자극으로 폭발 • 2기압: 자연 폭발
외 력	<ul style="list-style-type: none"> • 압력이 주어진 아세틸렌가스에 충격, 마찰, 진동 등에 의하여 폭발의 위험성이 있다.
혼합 가스	<ul style="list-style-type: none"> • 공기 또는 산소가 혼합한 경우 불꽃 또는 불티 등으로 착화, 폭발의 위험성이 있다.(아세틸렌 15%, 산소 85%에서 가장 위험하다) • 인화수소를 포함한 경우: 0.02% 이상 폭발성, 0.06% 이상 자연 폭발
화합물 영향	<ul style="list-style-type: none"> • 구리, 구리합금(구리 62% 이상), 은, 수은, 습기, 녹, 암모니아
건조 상태	<ul style="list-style-type: none"> • 120℃에서 맹렬한 폭발성

(나) 수소(H₂)

수소는 무색, 무미, 무취로 불꽃은 육안으로 확인이 곤란하며, 주로 납땀이나 수중 절단용으로 사용한다. 수소는 0℃ 1기압에서 1ℓ의 무게는 0.0899g으로 가장 가볍고, 확산 속도가 빠르고 폭발성이 강하며, 고온, 고압에서는 취성이 생길 수 있다. 제조법으로는 물의 전기 분해 및 코크스의 가스화법으로 제조한다.

(다) 프로판(C₃H₈)

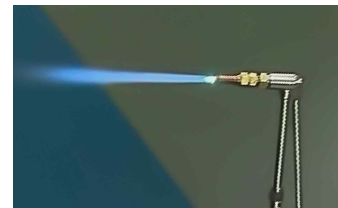
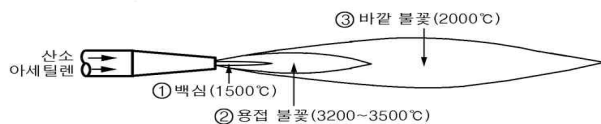
원래는 기체 상태이지만 운반하기 위해 액체로 압축하여 차량의 엔진 연료나 가정용 연료 등에 주로 사용된다. 녹는점 -187.69℃, 끓는점 -42.1℃, 비중 1.547로 공기보다 무거워 환기구는 아래로 설치하여야 한다.

(라) 메탄(CH₄)

메탄은 천연 가스의 주성분으로 원래 무색, 무취의 가스이나 불순물이 포함되어 있어 역한 냄새가 난다. 쉽게 점화되며 비중은 0.555로 공기보다 가볍고, 화재나 강한 열에 폭발할 수 있으므로 주의한다.

다. 산소 아세틸렌의 불꽃의 종류¹⁸⁾

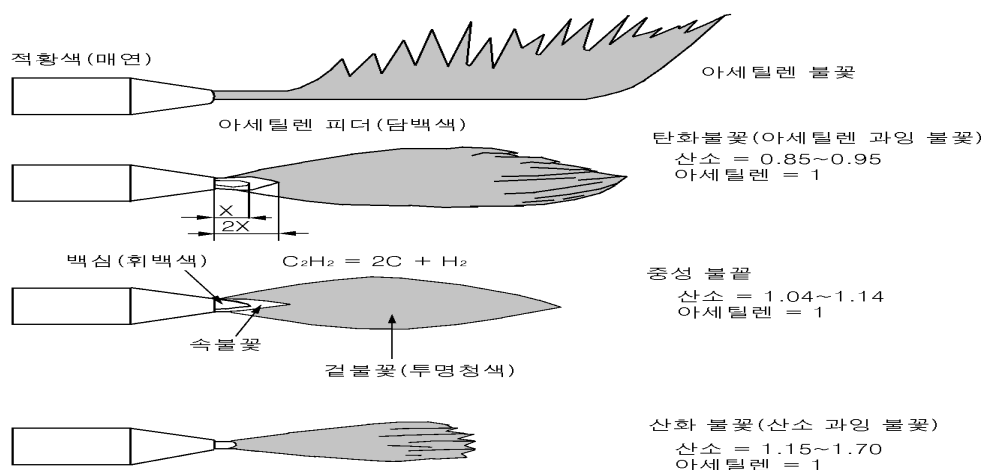
가스 용접 불꽃은 백심(불꽃심), 속불꽃, 겉불꽃으로 구성되어 있다. 백심(flame core)은 환원성 백색 불꽃이며, 속불꽃(inner flame)은 백심부에서 생성된 일산화탄소와 수소가 공기 중의 산소와 결합 연소하여 3,200~3,450℃의 고열을 발생하는 온도가 가장 높은 부분이다. 겉불꽃(outer flame)은 연소 가스가 다시 주위 공기의 산소와 결합하여 완전 연소되는 부분이다.



[그림 3-2] 불꽃의 구성

1) 불꽃의 종류




가스용접의 불꽃의 종류는 다음과 같다.



[그림 3-3] 불꽃의 종류

18) NCS 분류번호 : 피복아크용접 재료준비 (11601050103_16v2)
NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 재료준비 (1601050303_18v2)

[표 3-4] 가스 불꽃의 종류

종류	특징
<p>중성 불꽃 (neutral flame)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 산소와 아세틸렌가스의 혼합비가 1:1 정도로 이루어질 때 얻어지는 불꽃으로 표준 불꽃이라고 한다. 백심과 아세틸렌 깃이 일치될 때를 중성 불꽃이 된다. 이론상 산소와 아세틸렌의 혼합비는 2.5:1 이나 산소의 1.5는 공기 중에서 얻는다. 용접 작업에 가장 알맞은 불꽃으로 금속의 용접부에 산화나 탄화의 영향이 가장 적게 미치는 불꽃으로, 연강, 반연강, 주철, 구리, 아연, 납, 은, 알루미늄, 니켈, 주강 등에 사용한다. 불꽃 온도는 3,230°C 정도이다.
<p>산화 불꽃 (excess oxygen flame)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 산소 과잉 불꽃 또는 산화 불꽃이라고도 한다. 백심이 짧아지고 속 불꽃이 없어 바깥 불꽃만으로 되어있다. 산화성 분위기 때문에 일반적인 금속의 용접에는 사용하지 않는다. 구리, 황동 등의 용접에 사용한다. 불꽃 온도는 3,320~3,430°C 정도이다.
<p>탄화 불꽃 (excess acetylene flame)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 아세틸렌 과잉 불꽃 또는 환원성 불꽃이라 한다. 속불꽃과 겉불꽃 사이 연한 백색의 제3의 불꽃 즉 아세틸렌 깃이 있다. 아세틸렌 밸브를 열고 점화한 후 산소 밸브를 조금만 열게 되면 다량의 그을음이 발생하며 연소하게 되는 경우이다. 스테인리스강, 스텔라이트, 모넬메탈 등의 용접에 사용된다. 불꽃 온도는 3,070~3,150°C 정도이다.

2) 역류, 역화 및 인화

가스 용접 및 절단 작업에서 아세틸렌의 사용압력은 산소의 사용압력의 1/10 정도이므로 역류 우려가 있고, 부적절한 작업으로 인해 역화 및 인화될 수 있다.

[표 3-5] 역류, 역화 및 인화

종류	특징	방지책
<p>역류 (contra flow)</p>	<p>가스 용접에서는 일반적으로 산소의 압력이 아세틸렌가스의 압력보다 높게 사용되므로 팁 끝이 막히거나 하여 고압 산소가 밖으로 흐르지 못하고, 산소보다 압력이 낮은 쪽인 아세틸렌 호스 쪽으로 흘러 폭발의 위험이 있는 현상을 말한다. 이러한 현상의 원인으로는 산소 압력 과다, C₂H₂ 공급량 부족 등을 들 수 있다.</p>	<p>팁을 깨끗이 청소한다. 아울러 역류가 발생하였을 경우 산소를 차단한 후 아세틸렌을 차단하면 된다.</p>
<p>역화 (back fire)</p>	<p>팁 끝이 모재에 닿아 순간적으로 팁 끝이 막히거나 팁 끝의 가열 및 조임 불량 및 가스 압력의 부적당할 때 폭음이 발생하면서 불꽃이 꺼졌다가 다시 나타나는 현상을 말한다.</p>	<p>팁의 과열을 막고, 토치 기능을 점검한다. 역화가 발생하였을 경우는 우선 아세틸렌을 차단 후 산소를 차단하여야 한다.</p>
<p>인화 (flash back)</p>	<p>역류, 역화에 비하여 매우 위험한 것으로 팁 끝이 순간적으로 막혀 가스의 분출이 되지 못하고 불꽃이 토치의 가스 혼합실까지 들어오는 현상을 말한다.</p>	<p>가스 유량을 적당하게 조정하며, 팁을 항상 깨끗이 청소한다. 아울러 토치 및 각 기구를 항상 점검한다. 인화가 발생하였을 경우 우선 아세틸렌을 차단 후 산소를 차단한다.</p>

2. 가스 용접용 가스

가. 아세틸렌 발생기

1) 카바이드(CaC_2)

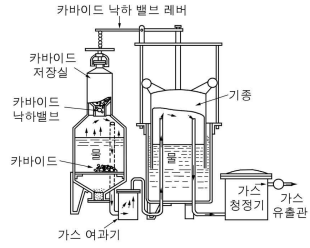
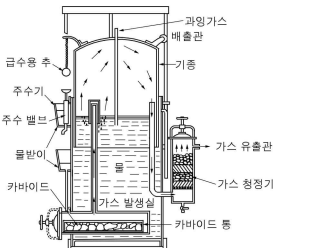
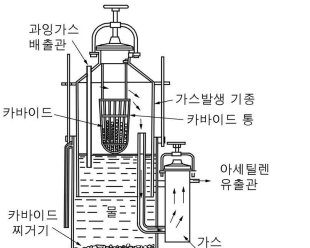
- (가) 산화칼슘(생석회)에 코크스를 가하여 만든다.
- (나) 비중은(이) 2.2이다.
- (다) 무색이나 제조 과정에서 불순물 함유로 회흑색을 띤다.
- (라) 물과 반응하여 아세틸렌을 만든다.
- (마) 카바이드 1kg를 물과 작용할 때 475kcal 열 및 348ℓ 아세틸렌이 발생한다.

2) 카바이드를 취급할 때 주의 사항

- (가) 발생기 밖에서 물이나 습기에 노출되어서는 안 된다.
- (나) 저장하는 통 가까이 빛이나 인화 가능한 어떤 것도 가까이 두지 않는다.
- (다) 카바이드를 옮길 때는 모넬 메탈이나 목재 공구를 사용한다.

3) 아세틸렌의 제조방법

[표 3-6] 아세틸렌 제조방법

종류	특징	그림
투입식 (물속에 카바이드를 투입하여 가스 발생)	<ul style="list-style-type: none"> 발생 가스 온도가 낮다. 불순물 발생이 적다. 대량 생산에 적합하다. 청소 및 취급이 쉽다. 물의 사용량이 많다. 설치 면적이 많이 든다. 카바이드 덩어리의 크기가 일정해야 한다. 	
주수식 (카바이드에 소량에 물을 공급하여 가스 발생)	<ul style="list-style-type: none"> 물의 소비가 적다. 취급이 간단하고 안전도가 높다. 반응열이 높고 불순물이 많다. 청소가 불편하다. 지연 가스 발생의 우려가 있다. 	
침지식 (카바이드를 기종의 주머니에 넣고 필요할 때만 물에 접촉하여 가스 발생)	<ul style="list-style-type: none"> 구조가 간단하다. 취급이 쉽다. 이동용에 적합하다. 지연 가스 발생이 쉽다. 온도 상승이 크다. 불순 가스 발생이 많고 폭발 위험이 많다. 	

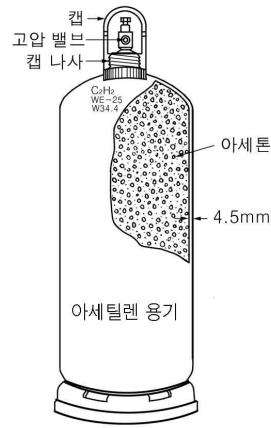
4) 취급상 주의 사항

빙결되었을 때 온수나 증기를 사용하여 녹이고, 충격, 타격, 진동이 없어야 한다. 화기가 가까이 있으면 안 되고, 발생기 물의 온도는 60℃ 이하로 하며, 카바이드의 교환은 옥외에서 작업하고, 검사는 비눗물을 사용하여 검사한다.

나. 용해 아세틸렌 용기

아세틸렌 용기는 용접용 용기로 즉 계목 용기, 웰딩 용기, 이음매 있는 용기 등으로 불리며 탄소강으로 만든다.

[표 3-7] 용해 아세틸렌 용기의 특징

구조	특징
	<ul style="list-style-type: none"> • 내용적 15ℓ, 30ℓ, 40ℓ, 50ℓ의 4종이 있고, 30ℓ가 가장 일반적이다. • 15℃ 15기압으로 충전한다. 그러므로 아세톤에 아세틸렌이 25배 녹으므로 $25 \times 15 = 375(\ell)$가 용해된다. • 폭발 방지를 위해 105℃ ± 5℃에서 녹는 퓨즈가 2개 있다. • 규조토, 목탄, 석면의 다공성 물질에 아세톤이 흡수되어 있다.(다공도는 75% 이상, 92% 미만) • 용기의 색은 황색으로 되어있으며, 용기의 나사 방향은 원나사로 되어있다. • 내압 시험 압력은 최고 충전 압력에 3배로 한다. • 용기 안의 아세틸렌 양: C=905(A-B) (C : 아세틸렌가스 양, A : 병 전체의 무게 B, : 빈 병의 무게)

(1) 용해 아세틸렌 취급 시 유의사항

- (가) 저장실에는 점화에 위험이 없고 통풍이 잘되어야 한다.
- (나) 용기는 반드시 세워서 취급하여야 하며, 이동 때는 반드시 캡을 씌워야 한다.
- (다) 용기의 온도를 40℃ 이하로 유지하며, 진동이나 충격을 가하지 말아야 한다.
- (라) 아세틸렌 충전구 동결 부분은 35℃ 이하의 온수로 녹인다.

(마) 밸브 전용 핸들로 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 만 회전하고 핸들은 밸브에 끼워 놓는다.

(바) 누설 검사는 비눗물을 사용하며 사용 후 약간의 잔압(0.1kgf/cm²)을 남겨둔다.

(사) 저장실의 스위치와 전등 등은 방폭 구조여야 한다.

(2) 호스(도관)

(가) 호스(도관)의 색은 적색을 사용한다.

(나) 10kg/cm²의 내압 시험에 합격하여야 한다.

참고

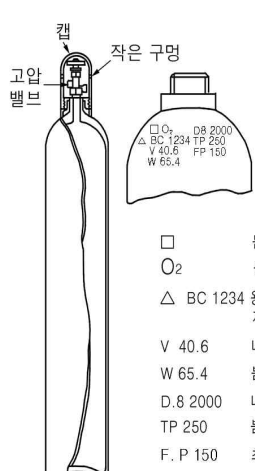
각종 가스 용기 연결구의 나사 방향 및 색깔

가스의 종류	나사의 방향	용기 색깔
수소	왼나사	주황색
이산화탄소	오른나사	청색
프로판	왼나사	회색
아르곤	오른나사	회색

다. 산소 용기¹⁹⁾

산소 용기는 무게목 용기 즉 이음매 없는 용기로 제작되고 본체, 밸브, 안전캡의 세 부분으로 나누며, 공업용은 녹색, 의료용은 백색으로 되어 있다.

[표 3-8] 산소 용기의 특징

구조	특징
 <p>□ 볼베 제작자의 명칭 O₂ 충전 가스 △ BC 1234 용기 제조자의 용기번호 및 제조번호 V 40.6 내용적 ℓ (실측) W 65.4 볼베 중량(kgf) D. 8 2000 내압시험 연월일 TP 250 볼베의 내압시험 압력(kgf/cm²) F. P 150 최고 충전압력(kgf/cm²)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 산소 용기는 보통 5,000ℓ, 6,000ℓ, 7,000ℓ의 3종류가 있다. 즉 기압으로 나누어 내용적으로 환산하여 보면, 33.7ℓ, 40.7ℓ, 46.7ℓ가 있다. 최고 충전 압력(FP)은 보통 35°C에서 150kgf/cm²으로 한다. 용기의 내압 시험 압력(TP)은 최고 충전 압력(FP)의 $\frac{5}{3}$로 한다. 산소병 또는 볼베(bomb)는 에르하르트법 또는 만네스만법으로 제조하며, 인장강도 57(kgf/cm²) 이상, 연신율 18% 이상의 강재가 사용된다. 산소 용기에는 충전 가스의 명칭, 용기 제조 번호, 용기 중량(w), 내압 시험 압력(TP), 최고 충전 압력(FP), 내용적(V), 내압 시험 연월 등이 각인 되어있다. 용기의 색은 녹색이며 오른나사로 되어있다. 산소 용기용 고압 밸브는 황동 단조품이 사용된다. 산소 용기의 총 가스량 = 내용적 × 기압 사용할 수 있는 시간 = 산소 용기의 총 가스량 ÷ 시간당 소비량

19) NCS 분류번호 : 가스에탈아크용접 재료준비 (1601050403_14v1)

1) 산소 용기를 취급할 때 주의점

- (가) 용기를 누어 두거나 굴리지 않으며 타격, 충격을 주지 않는다.
- (나) 직사광선 및 고온의 장소를 피하며, 화기로부터 5m 이상 떨어진다.
- (다) 용기 내의 압력이 너무 상승(170kgf/cm²)되지 않도록 한다.
- (라) 밸브가 동결되었을 때 더운 물, 또는 증기를 사용하여 녹여야 한다.
- (마) 누설 검사는 비눗물을 사용한다.
- (바) 용기 내의 온도는 항상 40℃ 이하로 유지하여야 한다.
- (사) 기름이 묻은 손이나 장갑을 끼고 취급하지 않으며, 용기와 밸브 조정기 등에 기름이 부착되지 않도록 한다.
- (아) 저장실에 가스를 보관할 때 다른 가연성 가스와 함께 보관하지 않는다.
- (자) 운반할 때 밸브를 닫고 캡을 씌워 이동하며, 운반할 때에는 가능한 운반 기구를 사용하여 넘어지지 않도록 한다.
- (차) 사용한 용기는 ‘빈병’ 이라 표시하여 사용하지 않은 용기와 구분, 보관한다.

2) 용접용 호스

- (가) 90kg/cm²의 내압 시험에 합격한 것을 사용하며, 충격이나 압력을 주지 않는다.
- (나) 도관의 크기는 6.3mm, 7.9mm, 9.5mm의 3종이 있다.
- (다) 길이는 5m 정도로 하며, 길이는 필요 이상 길게 하지 않는다.
- (라) 호스 내부의 청소는 압축 공기를 사용하고, 병결된 호스는 더운물로 사용하여 녹이며, 가스 누설 검사는 비눗물로 사용한다.
- (마) 호스(도관)의 색은 녹색 또는 검은색을 사용한다.
- (바) 호스의 연결은 고압 줍용 밴드를 사용한다.

참고

가스 충전구 형식에 의한 분류



A형 숫나사(지연성 가스)



B형 암나사(가연성 가스)



C형 나사 없음(부탄용기, 에어줄)

3. 가스 용접 재료

가. 가스 용접봉

연강용, 주철용, 비철금속용 등이 있으며, 지름은 1.0, 1.6, 2.0, 2.6, 3.2, 4.0, 5.0, 6.0이며 길이는 모두 1,000mm이다.

[표 3-9] 연강용 가스 용접봉의 종류

연강용 용접봉의 기계적 성질(KS D7005)			
종류 (끝면의 색)	시험편 처리	인장강도 (kgf/mm ²)	연신률 (%)
GA46 (적색)	SR	46 이상	20 이상
	NSR	51 이상	17 이상
GA43 (청색)	SR	43 이상	25 이상
	NSR	44 이상	20 이상
GA35 (황색)	SR	35 이상	28 이상
	NSR	37 이상	23 이상
GB46 (백색)	SR	46 이상	18 이상
	NSR	51 이상	15 이상
GB43 (흑색)	SR	43 이상	20 이상
	NSR	44 이상	15 이상
GB35 (자색)	SR	35 이상	20 이상
	NSR	37 이상	15 이상
GB32 (녹색)	NSR	32 이상	15 이상

• G(가스 용접봉) A(용착 금속의 연신율 구분) 43(용착 금속의 최소 인장강도(kgf/mm²)미)
 • NSR(용접된 그대로), SR(응력 제거 풀림 625±25℃)를 의미

1) 용접봉을 선택할 경우 유의사항

- (가) 모재와 같은 재질이어야 하며 충분한 강도를 줄 수 있어야 한다.
- (나) 용융 온도가 모재와 같고, 기계적 성질에 나쁜 영향을 주지 말아야 한다.
- (다) 용접봉의 재질 중에 불순물을 포함하고 있지 않아야 한다.
- (라) 판 두께와 용접봉 지름의 관계를 고려한다.

$$D = \frac{T}{2} + 1 \quad (D \text{ 용접봉 지름, } T \text{ 판 두께})$$

2) 가스 용접봉 중에 포함된 성분

- (가) 탄소(C): 강의 강도를 증가시키나 연신율, 연성 등을 저하시킨다.
- (나) 규소(Si): 강도를 저하시키나, 기공(blow hole)을 줄일 수 있다.
- (다) 인(P): 강에 취성을 주며 가연성을 떨어뜨린다.
- (라) 황(S): 용접부에 저항력을 감소시키며 기공이 발생할 우려가 있다.
- (마) 산화철(Fe₃O₄): 강도를 저하시킨다.

나. 용제

용제는 모재 표면의 불순물과 산화물의 제거로 양호한 용접이 되도록 도와주는 것으로 용접 중에 생기는 산화물과 유해물을 용융시켜 슬래그로 만들거나, 산화물의 용융 온도를 낮게 하려고 용제를 사용한다.

용제는 분말이나 액체로 된 것이 있으며, 분말로 된 것은 물이나 알코올에 개어서 사용하며, 용접 금속에 알맞은 용제를 사용하여야 한다.

[표 3-10] 용제의 종류

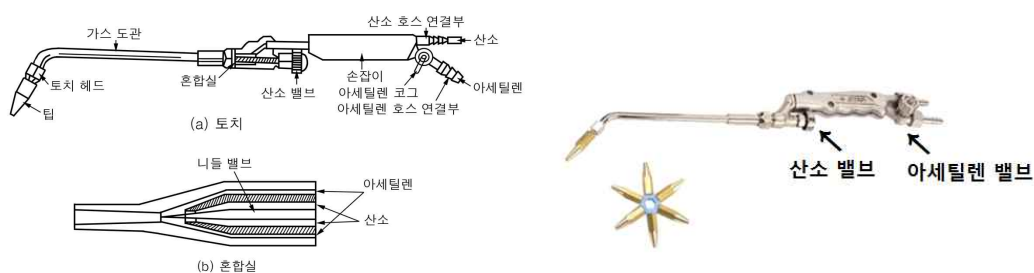
용접 금속	용제의 종류
연강	사용하지 않는다
반경강	중탄산소다+탄산소다
주철	탄산나트륨 15%, 붕사 15%, 중탄산나트륨 70%
구리합금	붕사 75%, 염화리튬 25%
알루미늄	염화나트륨 30%, 염화칼륨 45%, 염화리튬 15%, 플루오르화 칼륨 7%, 황산칼륨 3%

4. 가스 용접 기구

가. 가스 용접 토치

산소와 아세틸렌가스를 일정하게 혼합가스로 만들어 이 가스를 연소시켜 불꽃을 형성하여 용접 작업을 할 수 있게 만들어 주는 장치를 토치라고 한다.

가스 용접 토치는 밸브, 혼합실, 팁으로 구성되어 있으며, 사용압력에 따라 저압식(아세틸렌의 사용압력이 0.07kgf/cm^2 이하), 중압식($0.07\sim 0.4\text{kgf/cm}^2$), 고압식(0.4kgf/cm^2 이상) 등으로 분류한다. 또한, 팁의 능력에 따라 불변압식과 가변압식으로 구분할 수 있고, 크기별로는 300 ~ 350mm 소형, 400 ~ 450mm 중형, 500mm 이상은 대형이다.



[그림 3-4] 가스 용접용 토치의 구조

1) 토치의 구비 조건 및 취급 요령

- (가) 안정성이 높아야 한다.
- (나) 역화가 없어야 한다.
- (다) 기름 또는 그리스를 토치에 바르지 않는다.
- (라) 팁의 청소는 팁 클리너를 사용한다.
- (마) 팁을 교환 시는 밸브를 반드시 잠근 후 시행한다.

2) 팁의 청소

팁의 구멍이 스패터, 그을음 등으로 막혀 가스 분출이 원활하지 못하면 팁 클리너를 사용하여 구멍을 뚫은 후 작업을 하여야 한다. 이때 주의할 점은 팁의 구멍이 늘어나는 것을 방지하기 위하여 구멍보다 약간 지름이 작은 팁 클리너를 사용하여야 한다.



[그림 3-5] 팁 클리너

[표 3-11] 팁의 종류

종 류	특 징	크 기
A형(불변압식) 독일형	분출 구멍의 크기가 일정, 니들 밸브가 없다.	용접할 수 있는 강판의 두께
B형(가변압식) 프랑스형	니들 밸브가 있어 불꽃 조절 용이하다.	1시간당 소비되는 아세틸렌 소비량

- 독일식 1번은 판 두께 1mm, 2번은 판 두께 2mm를 용접할 수 있다는 의미이다.
- 프랑스식은 100번은 1시간당 아세틸렌가스 소비량 100ℓ라는 의미이다.
- 독일식 1번은 프랑스식 100번과 같다고 생각하면 된다.

나. 가스 용접 부속 장치

가스 용접을 수행하기 위한 부속 장치로는 압력 조정기, 역화방지기 등이 있다.

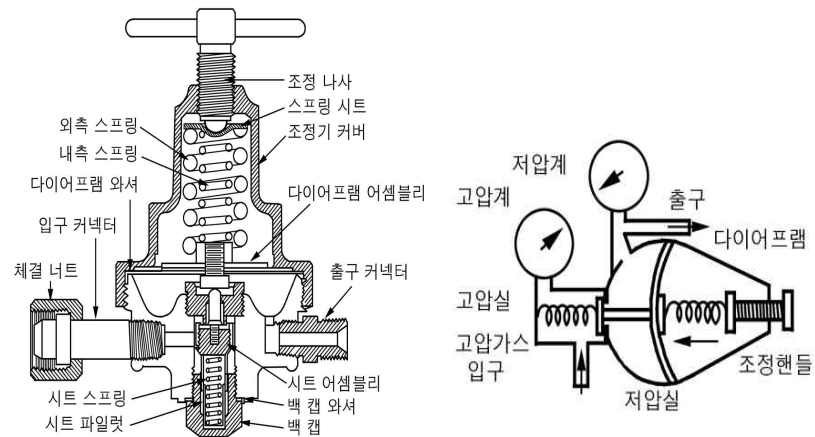
1) 압력 조정기

압력 조정기는 압력 게이지라고도 하며, 산소와 아세틸렌의 양을 표시하고 아울러 사용압력으로 조정하는 것을 말한다. 프랑스식(스텝형)은 매우 예민한 작동을 하고 독일식(노즐형)은 고장이 적은 특징이 있다.

압력 게이지는 부르동 관 → 켈리브레이팅 링크 → 섹터 기어 → 피니언 → 눈금판의 순서로 작동한다. 압력 조정기는 설치 전 먼지 등을 불어낸 후 연결부에 가스 누설이 없도록 정확하게 연결한다. 압력 조정기 설치구의 나사부나 조정기의 각부에 그리스나 기름 등을 사용하지 않으며, 압력 조정기의 지시 바늘이 잘 보이도록 설치한 후 가스의 누설 검사 시에는 비눗물을 사용한다.



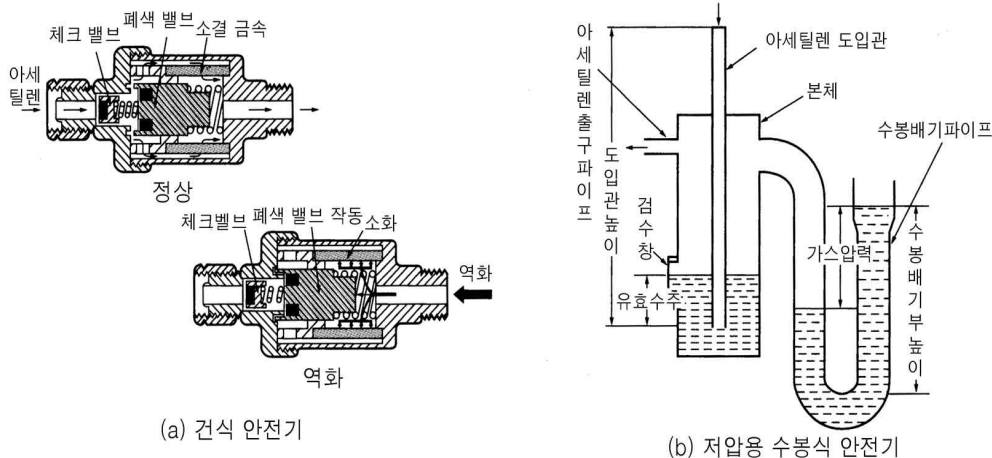
[그림 3-6] 산소 압력 조정기 및 아세틸렌 압력 조정기



[그림 3-7] 압력 게이지의 구조

2) 안전기

가스 용접 및 절단에 사용되는 부속 장치로는 역화 방지 장치 등의 안전기 등이 대표적이다. [그림 3-8]은 건식과 수봉식 안전기를 나타낸 것이다.



(a) 건식 안전기

(b) 저압용 수봉식 안전기

[그림 3-8] 안전기의 종류

안전기는 가스의 역류, 역화로 인한 위험을 방지할 수 있는 구조로 되어있어야 하며 안전기가 빙결되었을 때는 온수나 증기를 사용하여 녹인다. 수봉식 안전기의 유효 수주는 25mm 이상을 유지하여야 하며 그 종류로는 수봉식과 스프링식이 있다.

가스 용접 및 절단을 할 경우 반드시 [그림 3-9]와 같은 역화 방지기를 설치하여야 작업에 있어 안전하다.

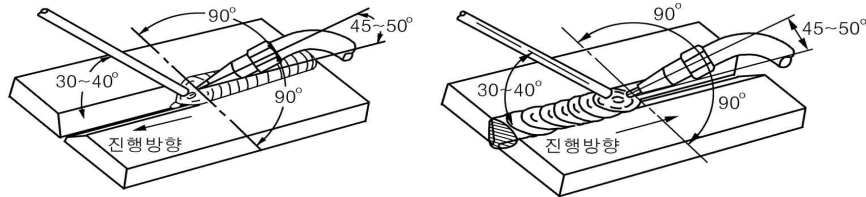


[그림 3-9] 아세틸렌 역화 방지기

5. 가스 용접 작업

가. 가스 용접 진행

가스 용접 작업의 진행 중 전진법은 오른쪽에서 왼쪽으로 용접을 진행하는 방법이고, 후진법은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하는 방법이다.



[그림 3-10] 전진법과 후진법

1) 전진법(좌진법)

용접봉이 토치보다 앞서 나가는 것을 생각하면 된다. 비드와 용접봉 사이에 틈이 있어 불꽃이 용융풀의 앞쪽을 가열한다.

2) 후진법(우진법)

용접봉이 토치 뒤에 있는 것을 생각하면 된다. 용접봉을 틈과 비드 사이에서 녹이므로 용접봉의 용해에 많은 열을 빼앗겨 용접봉이 녹아떨어짐에 따라 틈을 진행한다.

[표 3-12] 전진법과 후진법의 비교

비교 내용	전진법	후진법
열 이용률	나쁘다	좋다
용접 속도	느리다	빠르다
흠 각도	80°	60°
변형	크다	적다
산화성	크다	적다
비드 모양	좋다	나쁘다
용도	박판	후판

• 전진법은 비드 모양만 좋고 모든 것은 후진법에 비해 나쁘다고 생각하면 된다.

참고

가스 불꽃 조절 방법

- 토치 밸브를 닫은 상태에서 산소, 아세틸렌의 압력을 각각 소정의 압력까지 올린다(산소 2~4, 아세틸렌 0.2~0.4kgf/cm²). 너무 높게 올린 경우는 토치 밸브를 조금 열고 압력을 내린다.
- 먼저 아세틸렌가스의 토치 밸브를 1/4 회전 정도 열고 점화 라이터로 점화한다. 반드시 전용 점화 라이터를 사용하여 화상에 대비한다.
- 이때 불꽃이 점화됨과 동시에 산소 밸브를 조금씩 연다. 산소 밸브를 늦게 열면 그을음이 발생하므로 주의한다.
- 최종적으로 아세틸렌 밸브와 산소 밸브를 조정하여 중성 불꽃이 되도록 조정한다.

나. 가스 용접용 보호구

가스 용접은 피복 아크 용접과 비교하면 빛은 강하지 않으나 여전히 보안경을 착용하여야 하며 더불어 신체 화상에 대비하기 위해 보호구를 착용하여야 한다.

1) 보안경과 차광렌즈

가스 용접의 보안경은 해로운 광선과 불티 등이 눈에 들어가는 것을 방지하기 위해 사용하며 일반적으로 차광도는 (4~8번)이 사용된다. 즉 3.2mm 이하에서는 4~5번, 3.2~ 12.7mm에서는 5~6번, 12.7mm 이상에서는 6~8번이 사용된다.

2) 보호구

보호 장갑, 앞치마, 팔 덮개 등의 안전 보호구는 검사품을 착용한다.



[그림 3-11] 보안경 및 신체 보호구

다. 용접용 지그

제품을 제작하기 위하여 모재(피용접물) 등을 정확한 치수로 완성하기 위해 사용되는 것을 지그라 하며 그 종류에는 가접 지그, 용접 포지셔너, 용접 머니플레이터, 턴테이블 등이 있다. 이러한 지그의 선택 기준은 우선 모재 등을 고정해 줄 크기와 힘이 있는 견고한 구조여야 되며, 용접 자세를 유리한 자세로 쉽게 변경 가능하여야 한다. 또한, 고정과 분해가 쉬우며 청소가 편리하여야 한다.



[그림 3-12] 턴 테이블

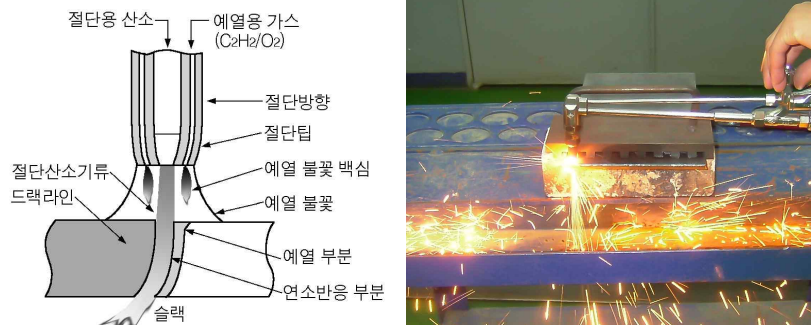
제 4 장 절단

1. 가스 절단²⁰⁾

가. 가스 절단의 개요

가스 절단은 산소와 가열된 금속의 화학적인 반응 때문에 발생한 열이 그 금속을 녹여 절단하는 산화 반응을 이용한 것으로 연료가스로 절단하고자 하는 재료를 예열하고 그 온도 이상으로 유지하여 절단한다.

즉 실제의 절단에서는 고압 산소의 기류로 절단이 이루어지며 연료가스 불꽃은 산화를 일으키기 위하여 모재를 가열시켜주는 역할을 한다.



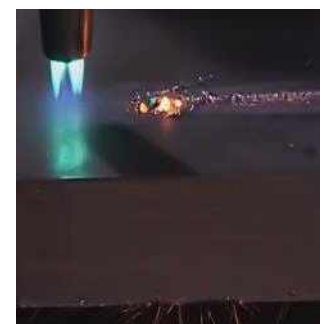
[그림 4-1] 절단의 원리 및 절단 광경

1) 가스 절단의 특징

가스 절단은 가격이 저렴하여 강재 절단 등에서도 많이 사용하고 있는 절단으로 철과 산소와의 반응에서 나오는 직접적인 에너지를 이용하기 때문에 효율이 높다. 가스 절단이 가능하기 위해서는 산화물의 용융 온도는 모재의 용융 온도보다 낮아야 하며 모재의 연소 온도 또한 용융 온도보다 낮아야 원활한 절단이 이루어진다. 또한, 용융 산화물의 유동성은 우수하여야 하고 용융 산화물 중에서 모재 금속 원소의 확산 속도가 빨라야 하며 모재 성분 중 불연소 및 불순물의 생성은 적어야 한다.

(가) 예열

일반적인 연강판의 경우 예열 온도는 800~900℃의 적열 상태로 절단 개시점을 발화점 이상으로 가열한다. 예열을 통하여 절삭하고자 하는 모재 표면의 스케일 등의 불순물 분리를 쉽게 하고 산소와의 산화 반응을 쉽게 한다. 일반적으로 예열 불꽃의 세기가 세면 절단면 모서리가 녹아 둥글게 되고,



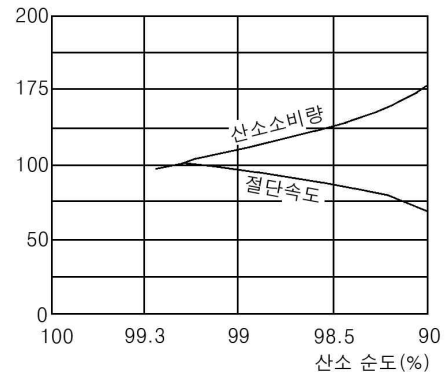
[그림 4-2] 예열 온도가 낮은 경우

20) NCS 분류번호 : 피복아크용접 재료준비 (1601050103_16v2)

절단면은 거칠게 된다. 또, 슬래그의 박리성이 떨어진다. 반대로 약해지면 드래그의 길이가 증가하고, 절단 속도가 늦어진다.

(나) 산소

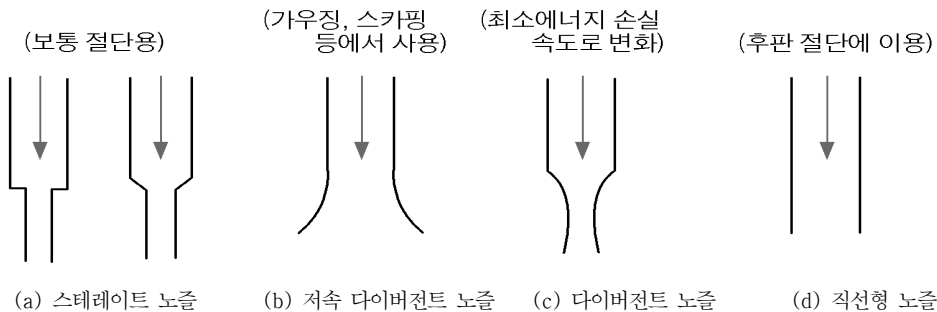
절단에 사용되고 있는 순도는 99.5% 이상의 것이어야 되며 이보다 1% 떨어질 때 절단 속도는 20% 정도 늦어진다. 또 절단 산소의 유량은 절단 산소의 분출구멍 크기가 일정할 경우 공급압력에 비례하여 변하며 공급압력이 일정할 경우는 노즐의 지름에 따라 달라진다.



(다) 노즐 형상

고속 분출을 얻기 위해서는 다이버전트 노즐(절단 속도 20 ~ 25% 향상)을 사용한다.

[그림 4-3] 산소 순도에 따른 영향



[그림 4-4] 노즐 형상

(라) 가스 절단의 양부 판정

가스 절단에서 양호한 절단면을 얻기 위한 조건은 다음과 같다.

- 드래그는 가능한 작고, 일정할 것
- 절단면 표면의 윗면각이 예리하고, 슬래그의 이탈성이 우수할 것

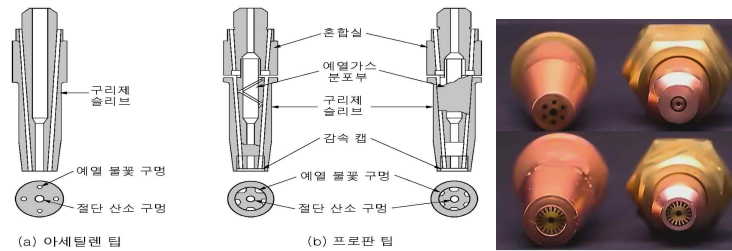
2) 합금 원소가 절단에 미치는 영향

절단하기 위한 재료에는 여러 가지 원소가 포함되어 있어 절단을 어렵게 하는 경우가 있으며, 포함된 원소가 미치는 영향은 다음과 같다.

- 탄소의 경우 0.25% 이하의 강은 절단할 수 있으나 4% 이상의 것은 분말 절단을 해야 한다.
- 고망간 등은 절단이 곤란하다. 하지만 망간의 경우는 예열하면 절단할 수 있다.
- 탄소량이 적은 니켈강은 절단이 쉽다.
- 크롬 5% 이하는 절단이 쉽지만 10% 이상은 분말 절단을 한다.
- 순수한 폴리브덴은 절단이 곤란하다.
- 텅스텐은 20% 이상은 절단이 곤란하다.
- 구리 2%까지는 영향을 받지 않는다.
- 알루미늄 10% 이상은 절단이 곤란하다.

3) 사용 가스의 비교

일반적으로 가스 절단에는 아세틸렌과 프로판을 가연성 가스로 하고 산소와 혼합하여 절단한다. [그림 4-5]와 같이 아세틸렌용 팁은 산소 분출공이 적고 프로판용은 산소 분출공이 많다. 절단은 산소의 산화 반응열을 이용하므로 아세틸렌보다 프로판이 원활한 절단이 이루어진다.



[그림 4-5] 아세틸렌 팁과 프로판 팁의 비교

[표 4-1] 아세틸렌과 프로판의 비교

아세틸렌	프로판
<ul style="list-style-type: none"> • 혼합비 1 : 1 • 점화 및 불꽃 조절이 쉽다. • 예열 시간이 짧다. • 표면의 녹 및 이물질 등에 영향을 덜 받는다. • 박판의 경우 절단 속도가 빠르다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합비 1 : 4.5 • 절단면이 곱고 슬래그가 잘 떨어진다. • 중첩 절단 및 후판에서 속도가 빠르다. • 분출공이 크고 많다. • 산소소비량이 많아 전체적인 경비는 비슷하다.

나. 가스 절단 토치

가스 용접과 모든 장치가 똑같으며, 토치 과열 때는 산소 밸브를 열고 물에 식혀 사용한다. 저압식 및 중압식은 아세틸렌 압력이 보통 0.07kgf/cm^2 이하이면 저압식, $0.07\sim 0.4\text{kgf/cm}^2$ 정도이면 중압식이라고 한다.

[표 4-2] 동심형과 이심형의 비교

동심형(프랑스식)	이심형(독일식)
<ul style="list-style-type: none"> • 동심원의 중앙 구멍으로 부터 고압 산소를 분출하며 동심원의 외곽 구멍으로 예열용 혼합 가스를 분출한다. 절단을 할 때 전후, 좌우 직선 절단을 자유롭게 할 수 있어 많이 사용한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 고압 가스 분출구와 예열 가스 분출구가 분리되어 있고 작은 곡선, 후진 절단은 어려우나 직선의 절단에서는 매우 능률적이고 절단면이 깨끗하다.

다. 자동 가스 절단기

절단 토치를 자동으로 이동시키는 주행 대차를 설치하여 절단하는 것으로 반자동식과 전자동식이 있다.



[그림 4-6] 자동 가스 절단기

- 1) 소형 자동 가스절단기: 보통 1~2개의 팁을 사용하여 한 명이 직선 절단을 수행한다.
- 2) 반자동 가스 절단기: 자유로운 형의 곡선이나 짧은 거리의 직선 절단에 사용한다.
- 3) 형 자동 가스 절단기: 같은 모양의 형상을 대량 절단하는 경우 사용한다.
- 4) 광전식 형 자동 가스 절단기: 소량 및 대량 절단에 적합하고 고정밀이며 원격 조정이 가능하다.

라. 가스 절단 방법

산소 및 아세틸렌 용기의 밸브를 열고 사용압력으로 압력 조정기를 조정한다. 일반적으로 아세틸렌은 0.5kgf/cm^2 이하, 산소는 5kgf/cm^2 이하를 사용한다. 절단 토치의 아세틸렌 밸브를 열어 점화한 뒤 산소 밸브를 열어 불꽃을 조정한다. 또한, 절단용 모재를 중성불꽃을 만들어 팁 끝과 연강 판 사이의 거리는 $1.5\sim 2\text{mm}$ 를 유지하고 900°C 로 적열되었을 때 고압 산소 밸브를 열어 절단한다. 드래그의 길이는 판 두께의 $\frac{1}{5}$ 즉 20% 정도가 좋다.

1) 수동 가스 절단 조건

- (가) 판 두께 9mm의 경우 산소는 $1.2\sim 2.1\text{kgf/cm}^2$, 아세틸렌은 0.21kgf/cm^2 를 사용하여, 팁 지름은 $0.8\sim 1.5\text{mm}$, 절단 속도는 $380\sim 610\text{mm/min}$ 로 절단한다.
- (나) 판 두께가 두꺼워 질수록 팁의 지름과 산소 압력은 크게 하며 절단 속도는 느리게 한다.

2) 자동 가스 절단 조건

- (가) 판 두께 9mm의 경우 산소는 $1.5\sim 2.0\text{kgf/cm}^2$, 아세틸렌은 0.1kgf/cm^2 를 사용하여, 팁 지름은 $0.8\sim 1.0\text{mm}$, 절단 속도는 $450\sim 5500\text{mm/min}$ 로 절단한다.

(나) 판 두께가 두꺼워 질수록 팁의 지름과 산소 압력은 크게 하며 절단 속도는 느리게 한다.

2. 아크 절단

가. 아크 절단의 개요

전극과 모재 사이에 아크를 발생시켜 그 열로 모재를 용융 절단하는 방법으로 절단 온도가 높고 산소 절단보다 비용이 저렴하나 절단면이 거칠다. 일반적으로 정밀도는 가스 절단보다 떨어지나 가스 절단이 곤란한 재료에 사용할 수 있고, 압축 공기, 산소 기류와 함께 쓰면 능률적이다. 용도로는 주로 주철, 망간강, 비철금속 등에 적용된다.

나. 아크 절단의 종류

1) 탄소 아크 절단

(가) 탄소(많이 사용하나 소모성이 크다.), 흑연(전기적 저항이 적고 높은 사용전류에 적합) 전극봉과 금속 사이에 아크를 발생하여 절단한다.

(나) 사용 전원은 직류 정극성이 바람직하지만 때로는 교류도 사용할 수 있다.

2) 금속 아크 절단

(가) 보통은 용접봉에 값이 비싸 잘 쓰이지 않고 있으나, 토치나 탄소 용접봉이 없을때 쓰인다. 탄소 전극봉 대신에 특수 피복제를 입힌 전극봉을 써서 절단한다.

(나) 사용 전원은 직류 정극성이 바람직하지만, 교류도 사용할 수 있다.

3) 산소 아크 절단

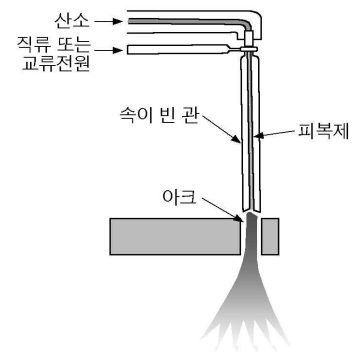
(가) 사용 전원은 직류 정극성이 널리 쓰이나, 때로는 교류도 사용된다.

(나) 중공(속이 빈)의 피복 강전극으로 아크를 발생(예열원)시키고 그 중심부에서 산소를 분출시켜 절단하는 방법으로 절단 속도가 빠르다. 하지만 절단면이 고르지 못하는 단점도 있다.

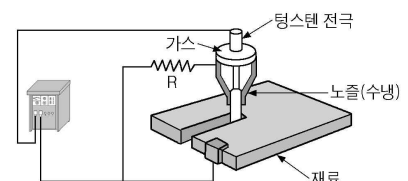
4) 티그 및 미그 절단

(가) 티그 절단

열적 펀치 효과에 의한 플라즈마로 절단하는 방법으로 전원으로는 직류 정극성이 사용된다. 주로



[그림 4-7] 산소 아크 절단



[그림 4-8] 티그 절단

알루미늄, 구리 및 구리 합금, 스테인리스강과 같은 금속 재료의 절단에만 사용하며 가스로는 아르곤과 수소 혼합 가스가 사용된다.

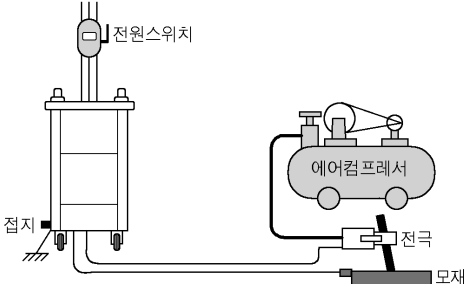
(나) 미그 절단

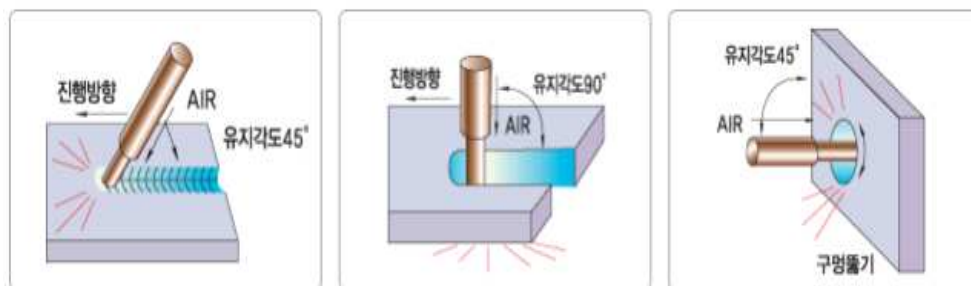
금속 전극에 대전류를 흘려 절단하는 방법으로, 전원으로는 직류 역극성이 사용된다. 보호 가스로는 산소를 혼합한 아르곤가스를 쓰면 효과적이다. 알루미늄과 같이 산화에 강한 금속 절단에 사용된다.

5) 아크 에어 가우징

아크 에어 가우징(arc air gouging)은 탄소 아크 절단에 압축 공기를 병용하여 전극 홀더의 구멍에서 탄소 전극봉에 나란히 분출하는 고속의 공기를 분출시켜 용융 금속을 불어내어 흠을 파는 방법을 말한다. 즉 탄화 흑연(carbon graphite)봉과 모재 사이에 아크(arc)를 발생시키고 그 아크열에 의한 모재의 용융과 동시에 압축 공기로 녹은 금속을 불어내는 원리이다. 용접 현장에서 결함부 제거, 용접 흠의 준비 및 가공 등 여러 가지 용도에 이용되며, 특히 보수용접을 하기 위해 균열 부분이나 용접 결함부를 제거하는 데 적합하며 때로는 절단을 하는 때도 있다.

[표 4-3] 아크 에어 가우징

아크 에어 가우징	특징
	<ul style="list-style-type: none"> • 균열의 발견이 특히 쉽다. • 소음이 없고 경비가 싸다. (단 압축기 소리는 무시한다.) • 철, 비철금속 어느 경우도 사용된다. • 전원으로는 직류 역극성이 사용된다. • 아크 전압 35V, 전류 200 ~ 500A, 압축 공기는 $6 \sim 7\text{kg/cm}^2$(4kg/cm^2 이하로 떨어지면 용융 금속이 잘 불려 나가지 않는다.) • 폭 10mm, 깊이 6mm 정도의 가우징 속도는 900mm/min



(a) 개선 가공

(b) 절단

(c) 구멍 가공

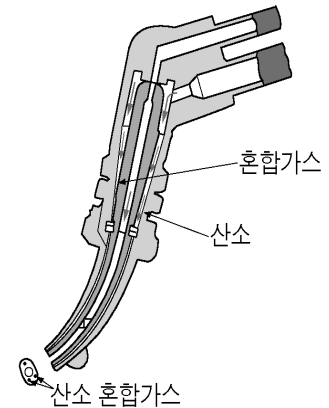
[그림 4-9] 아크 에어 가우징 작업

[표 4-4] 아크 에어 가우징 작업조건

탄소봉의 지름(mm)	사용 전류(A)	가우징 속도(mm/min)	홈의 크기(mm)	
			폭	깊이
5.0	100 ~ 200	900 ~ 1200	7 ~ 9	3 ~ 4
6.0	200 ~ 350	900 ~ 1200	9 ~ 11	4 ~ 5
8.0	250 ~ 400	700 ~ 1000	10 ~ 12	5 ~ 6
9.0	300 ~ 450	400 ~ 700	11 ~ 13	6 ~ 7
11.0	400 ~ 550	300 ~ 400	13 ~ 15	8 ~ 9
13.0	450 ~ 600	200 ~ 300	15 ~ 17	9 ~ 10

3. 가스 가우징²¹⁾

가스 가우징(Gas Gouging)은 토치를 사용하여 용접 부분의 뒷면을 파내든지, U형, H형의 용접 홈을 가공하기 위하여 둥근 홈을 파는 가공법을 말하며, 일명 가스 파내기라고도 하고, 홈의 깊이와 나비의 비는 1:2~3 정도이다. 가스 용접에 절단용 장치를 이용할 수 있다. 단지 팁은 비교적 저압으로서 대용량의 산소를 방출할 수 있도록 슬로우 다이버전트 팁을 사용한다. 토치의 예열 각도는 30~45°를 유지한다.

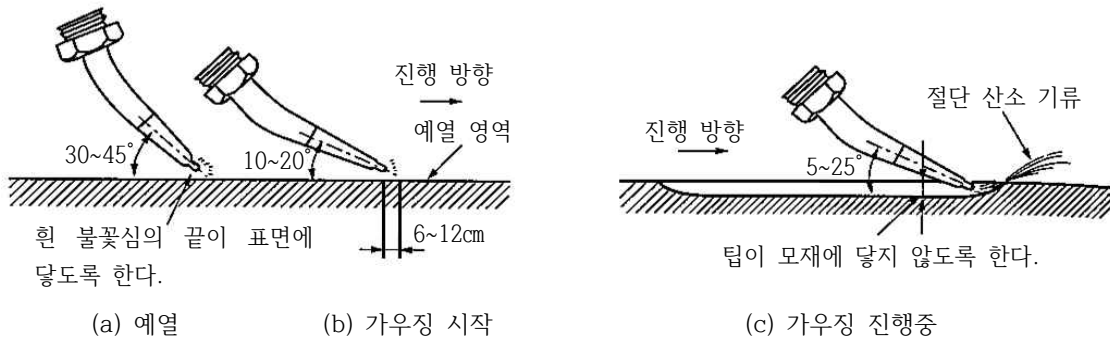


[그림 4-10] 가스 가우징

[표 4-5] 가스 가우징 작업조건

팁지름 (mm)	산소압력 (kgf/cm ²)	가스 소비량(m ³ /h)			속도 (mm/min)	홈나비 (mm)	홈깊이 (mm)
		아세틸렌	예열산소	가우징 산소			
3.3	4.6	1.0~1.1	1.0~1.1	2.2~5.3	25.4~40.4	7.9	3.2~4.8
3.3	4.9	1.0~1.1	1.0~1.1	2.5~2.6	35.6~40.6	7.9	4.0~5.6
3.3	5.3	1.0~1.1	1.0~1.1	2.8~2.9	38.1~45.7	7.9	4.8~6.4
4.8	5.6	1.4~1.6	1.4~1.6	4.8~5.0	40.6~48.3	9.5	4.8~6.4
4.8	5.8	1.4~1.6	1.4~1.6	5.3~5.4	45.7~50.8	11.1	4.8~6.4
4.8	6.3	1.4~1.6	1.4~1.6	6.8~5.9	48.3~55.4	11.1	5.6~7.1
6.4	6.3	1.6~1.7	1.6~1.7	7.9~8.0	48.~55.4	12.7	6.4~9.5
6.4	6.7	1.6~1.7	1.6~1.7	8.7~8.8	58.4~66.0	12.7	6.4~9.5
6.4	7.0	1.6~1.7	1.6~1.7	9.3~9.4	63.5~71.1	12.7	7.9~11.1

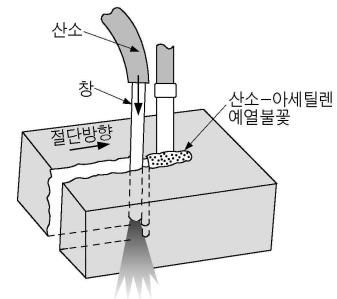
21) NCS 분류번호 : 피복아크용접 결함부 보수용접 (1601050108_16v2)



[그림 4-11] 가스 가우징 작업

4. 산소 창 절단

토치 대신 내경이 3.2~6mm, 길이 1.5~3m의 강관을 통하여 절단 산소를 내보내고 이 강관의 연소하는 발생 열에 의해 절단하는 것으로 아세틸렌가스가 필요 없으며 강과 후판의 절단 및 암석의 천공 등에 쓰인다.



[그림 4-12] 산소 창 절단

5. 플라스마 절단

가. 플라스마 절단 개요

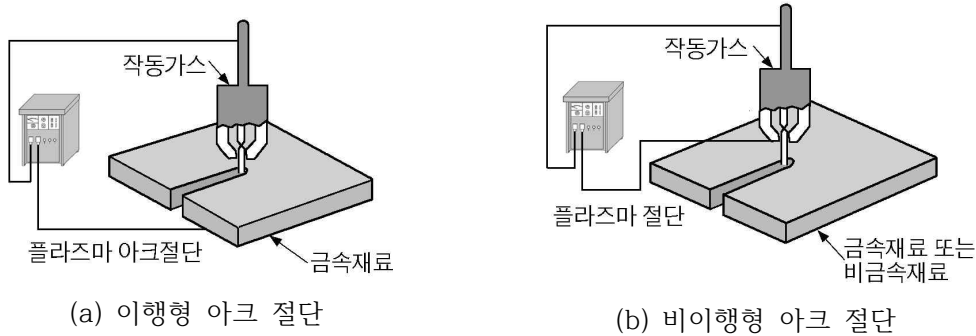
기체를 가열하면 기체 원자의 운동이 대단히 활발하게 되어 원자핵과 전자로 분리되어 (+), (-)의 이온 상태로 된 것을 플라스마라고 하며, 10,000~30,000℃로 높은 에너지를 이용하여 절단한다.

[표 4-6] 플라스마 절단

플라스마 절단	특징
	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스마 절단은 무부하 전압이 높은 직류 정극성을 사용한다. • 알루미늄 등의 경금속에는 아르곤 + 수소, 스테인리스강에는 질소 + 수소 가스를 사용하여 아르곤만 사용할 때보다 속도를 증가시킬 수 있다. • 특수 금속, 비금속, 내화물도 절단할 수 있다. • 절단면에 슬래그가 부착되지 않고 열 영향부가 적어 변형이 거의 없다. • 텅스텐 전극과 모재 사이에서 아크 플라스마를 발생시키는 것을 이행형 플라스마 아크 절단, 텅스텐 전극과 수냉 노즐 사이에서 발생하는 것을 비이행형 플라스마 아크 절단 (플라스마 제트 절단)이라고 한다.

나. 플라즈마 절단의 종류

플라즈마 절단에는 플라즈마 아크 절단(이행형), 플라즈마 제트 절단(비이행형)이 있어 금속 및 비금속의 절단이 가능하다.



[그림 4-13] 플라즈마 절단의 종류

6. 레이저 절단

가. 레이저 절단의 개요

레이저란 유도 방출에 의한 빛의 증폭이라는 의미로, 레이저에서 얻어진 강렬한 에너지를 가진 집속이 강한 단색 광선을 이용한 절단이다.

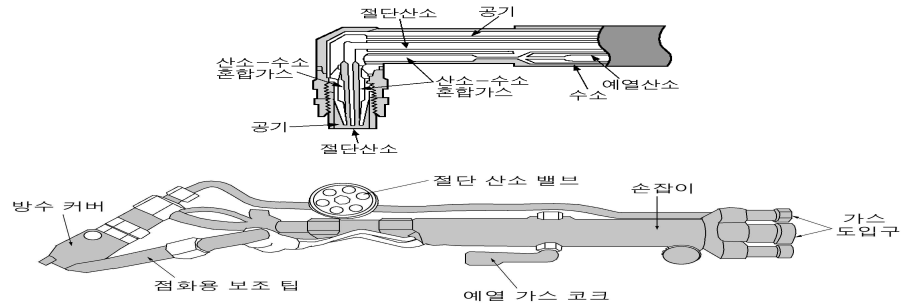
나. 레이저 절단의 특징

- 1) CO₂ 레이저, YAG 레이저, 엑시머 레이저(자외선 레이저)를 열원으로 사용한다.
- 2) 금속 재료뿐만 아니라 목재, 세라믹스 등과 같은 재료도 고정밀도(미크론 단위 가능)를 절단 가능하다.
- 3) 금속을 절단하는 경우 보조 가스로 산소를 사용하지만, 산화가 우려될 때는 질소 가스를 사용할 수도 있다.
- 4) 일반적으로 금속의 경우에는 5~20mm 정도를 절단하지만 수십 mm의 두꺼운 판도 절단이 가능하다.
- 5) 절단 흠이 0.2~0.5mm 정도로 좁고 절단 변형이 작다.

7. 수중 절단

주로 침몰선의 해체, 교량 건설 등에 사용된다. 예열용 가스로는 아세틸렌(폭발에 위험), 수소(수심과 관계없이 사용할 수 있으나 예열 온도가 낮다), 프로판 가스(LPG), 벤

젠이 사용된다. 예열 불꽃은 욕지보다 크게 절단 속도는 느리게 한다. 예열 가스의 양은 4~8배 정도 사용하고, 절단 산소의 압력은 1.5~2배 정도로 한다. 물의 깊이가 깊어지면 수압이 커져 무한정 작업할 수 없으며, 일반적으로 수심 45m 이내에서 작업한다.



[그림 4-14] 수중 절단

8. 분말 절단

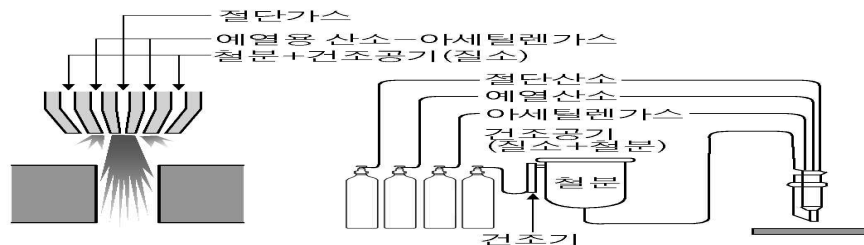
철분 및 플럭스 분말을 자동으로 산소에 혼합 공급하여 산화열 혹은 용제 작용을 이용하여 절단하는 방법으로 2종류가 있다.

가. 철분 절단

철분 절단은 크롬 철, 스테인리스강, 주철, 구리, 청동에 이용된다. 오스테나이트계는 사용하지 않으며, 철분 절단은 200메시(mesh) 정도 철분에 알루미늄 분말을 배합하여 사용한다.

나. 용제 절단

용제 절단은 주로 스테인리스강의 절단에 사용되며, 융점이 높은 크롬-산화물을 제거하는 약품을 절단 산소와 함께 공급하여 절단한다. 철, 비철금속 및 콘크리트 절단에도 쓰인다.



[그림 4-15] 분말 절단

9. 스카핑

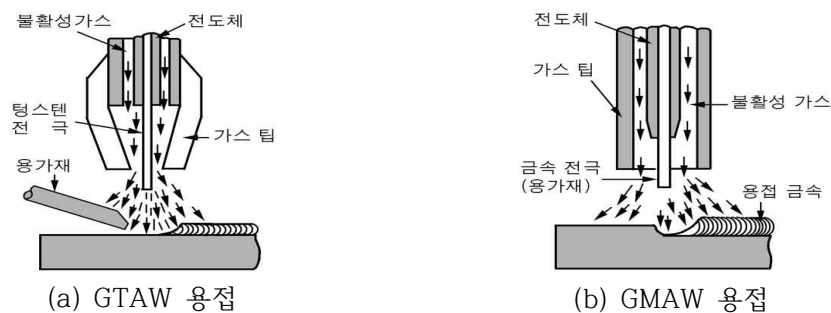
강재 표면의 탈탄 층 또는 흠을 제거하기 위해 사용하는 것으로 가우징과 달리 표면을 얇고 넓게 타원형으로 깎는다. 가우징 토치와 비교하면 능력이 큰 토치를 사용하고 팁은 슬로우 다이버전트형을 사용한다. 일반적으로 스카핑 토치와 공작물과의 표면 각도를 75° 로(의 각도를) 유지한 후 예열 불꽃의 끝을 표면에 접촉하고 불순물이 떨어져 깨끗한 금속면이 나타날 때까지 가열한 다음, 예열 불꽃 아래의 강이 적당한 온도에 도달하면 팁 구멍을 빠르게 25mm 정도 후퇴한 후 토치 각도를 줄이고 산소 밸브를 열어 산소를 분출시키면서 일정 속도로 토치를 전진시킨다.

제 5 장 다양한 용접 방법

1. 불활성 가스 아크 용접

가. 불활성 가스 아크 용접의 개요

아르곤(Ar) 또는 헬륨(He) 등 고온에서 다른 금속과 반응하지 않는 불활성 가스(inert gas) 속에서 텅스텐 전극 또는 금속 전극과 모재와의 사이에 아크를 발생시켜 그 열로 용접하는 방법이다.

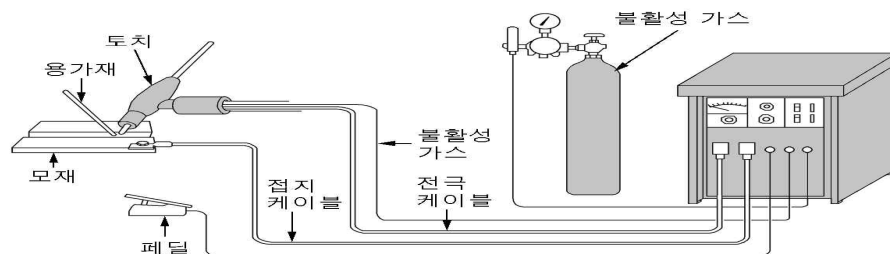


[그림 5-1] 불활성 가스 아크 용접의 종류

불활성 가스 아크 용접은 크게 티그 용접이라고 하는 GTAW 용접과 미그 용접이라고 하는 GMAW 용접 방법이 있다.

나. 불활성 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW: Gas Tungsten Arc Welding)

불활성 가스 텅스텐 아크 용접은 텅스텐 전극을 사용하여 발생한 아크열로 모재를 용융시켜 접합하며, 용가재를 공급하여 모재와 함께 용융시킨다. 보호 가스로는 모재와 텅스텐 용접봉의 산화를 방지하기 위하여 불활성 가스인 아르곤(Ar), 헬륨(He) 등을 사용하므로 TIG(Tungsten Inert Gas) 용접으로 부르기도 한다. 상품명으로는 헬륨-아크 용접, 아르곤 용접 등으로 불린다.



[그림 5-2] 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 장치

1) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 특징

전극은 텅스텐 전극을 사용. 전자 방사 능력을 높이기 위하여 토륨을 1~2% 함유한 토륨 텅스텐 봉이 사용된다. 전극은 비용극식, 비소모식이라 하여 직접 용가재로 사용하지 않고, 용접 전원으로는 직류, 교류가 모두 쓰인다.

2) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접의 장단점

[표 5-1] 불활 성가스 텅스텐 아크 용접의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 용접된 부분이 더 강해진다. • 연성 내부식성이 증가한다. • 플렉스가 불필요하며 비철금속 용접이 쉽다. • 보호 가스가 투명하여 용접사가 용접 상황을 잘 확인할 수 있다. • 용접 스파터를 최소한으로 하여 전자세 용접이 가능하다. • 용접부 변형이 작다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 소모성 용접을 쓰는 용접 방법보다 용접 속도가 느리다. • 텅스텐 전극이 오염될 경우 용접부가 단단하고 메짐성을 가질 수 있다. • 용가재의 끝부분이 공기에 노출되면 용접부의 금속이 오염된다. • 가격이 고가(텅스텐 전극이 가격 상승을 초래, 용접기 가격도 고가)이다. • 후판에는 사용할 수 없다.(3mm 이하에 박판에 사용된다. 주로 0.4 ~ 0.8mm에 쓰임)

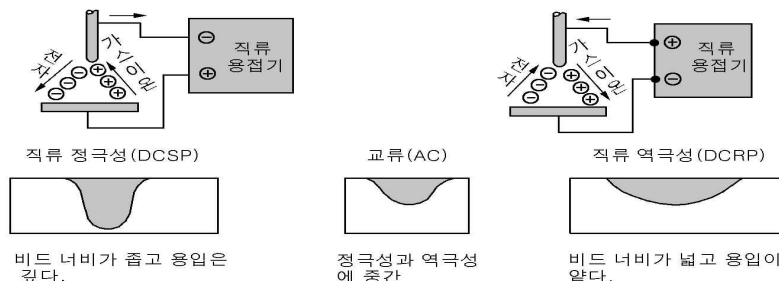
3) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 전원1

불활성 가스 텅스텐 아크 용접은 직류와 교류 모두 사용될 수 있다.

[표 5-2] 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 전원

전원의 종류	특징
직류 정극성	높은 전류, 용접봉은 정극성일 때는 끝을 뾰족하게 가공, 용입이 깊고, 비드 폭은 좁아지며, 용접 속도가 빠르다.
직류 역극성	청정작용이 있다. 특수한 경우 Al, Mg 등의 박판 용접에만 쓰이고 있다. 용입이 얇고, 비드 폭은 넓어진다. 정극성보다 전극이 가열되어 소모되기 쉬워 전극 지름이 4배 정도 큰 사이즈를 사용한다.
교류	아크가 불안정하므로 고주파 약 전류를 이용한다. 용입과 비드 폭은 정극성과 역극성의 중간 정도이며 약간에 청정작용도 있다.

- 청정작용이란 아르곤가스의 이온이 모재 표면 산화막에 충돌하여 산화막을 파괴 제거하는 작용
- 직류 정극성은 폭이 좁고 깊은 용입을 얻고, 직류 역극성은 폭이 넓고 얇은 용입을 얻음



참고

알루미늄의 티그 용접 시 교류전원을 사용하는 이유는 알루미늄의 티그 용접에서는 역극성을 사용하면 용재 없이도 용접이 쉽고 청정작용이 있으나 전극이 가열되어 용착금속에 혼입되는 수가 있고 아크가 불안정하게 되며, 용접 조작이 어렵고, 정극성을 사용하면 청정작용이 없으므로 역극성과 정극성의 혼합이라 할 수 있는 교류를 사용한다.

4) 용접 전류에 고주파 전류를 더했을 때 장점

전극을 모재에 접촉하지 않아도 아크가 발생하고, 아크가 대단히 안정하며, 아크 길이가 길어져도 끊어지지 않는다. 전극을 접촉하지 않아도 되므로 전극의 수명이 길어지며, 일정 지름의 전극에 대하여 광범위한 전류의 사용이 가능하다.

5) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 전극봉

전극봉은 전자 방사 능력이 좋고, 낮은 전류에서도 아크 발생이 쉽고 오염과 훼손 또한 적은 토륨 1~2%를 포함한 텅스텐(용융점이 3,400℃) 전극봉을 사용한다.



[그림 5-3] 텅스텐 전극봉

[표 5-3] 전극봉의 종류

종류	색 구분	용도	KS 등급 기호
순 텅스텐	초록	낮은 전류를 사용하는 용접에 사용, 가격은 저가	YWP
1% 토륨	노랑	전류 전도성이 우수하며, 순 텅스텐보다 가격은 다소 고가이나 수명이 길다.	-
2% 토륨	빨강	박판 정밀 용접에 사용한다.	YWTH-1
지르코니아	갈색	교류 용접에 주로 사용한다.	YWTH-2

티그 용접에서 텅스텐 전극봉의 돌출길이는 맞대기 3~5mm가 적당하다. 필릿 용접에서는 6~9mm가 적당하다.

6) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 토치²²⁾

토치는 공랭식과 수랭식(200A 이상)이 있으며, 그 형태는 직선형 토치, 플렉시블형 토치, T형 토치가 있다.

티그 토치의 가스 팁 재질은 세라믹, 유리 금속으로 높은 열에 잘 견딜 수 있고 용접봉으로부터 열을 빨리 발산할 수 있는 것을 사용되며, 지름은 텅스텐 전극봉 지름의 4~6배로 컵의 크기가 너무 작으면 과열



[그림 5-4] TIG토치 구조

22) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 장비준비 (1601050304_18v2)

되어 잘 깨어지고, 너무 크면 가스 보호 효과가 떨어져 가스 소모가 많다.



(a) 각각에 부속을 배치한다.



(b) 콜릿 바디를 체결한다.



(c) 세라믹 노즐을 콜릿 바디에 체결한다. 세라믹 호수는 적용에 따라 달리한다.



(d) 콜릿 척은 갈라져 있는 부분이 앞쪽으로 향하도록 콜릿 바디 뒤쪽에서 넣어준다.



(e) 전극봉을 콜릿 척에 넣어 준다.



(f) 롱캡을 체결해 준다.



(g) 쇼캡을 체결해 준다.



(h) 전극봉 노출 길이를 조절 후 캡을 돌려 콜릿 척에 전극봉을 고정한다.

[그림 5-5] TIG 토치 조립 순서

7) 용가재(용접봉)

용가재에 길이(length)는 약 1,000mm이고, 지름 크기는 대체로 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0mm가 일반적으로 사용된다. 재료에 맞는 용가재를 선택하면 용접부 제반 성질이 우수하게 용접을 할 수 있다.

[표 5-4] 용가재 특성

분류	품 명	사 용 용 도
탄소강용	T-50	각종 기기 및 구조물에 사용되는 연강 및 50kgf 고장력강의 용접에 쓰인다.
	T-53G	
	T-53	
스테인리스강용	T-308	오스테나이트계 스테인리스강 중에서 대표적인 STS 304의 용접에 사용된다.
	T-308L	STS 304 및 저탄소 18% Cr-8%Ni강 STS 304L용접 기타 STS301~302 사용된다.
	T-308H	탄소 함유량이 많으므로 고온에서 높은 강도를 얻을 수 있다. 내주열강, 클래드강, 스테인리스강과 Cr-Mo강 또는 연강의 이중 금속 용접에 사용한다.
	T-309	99.7% 이상의 순 알루미늄 모재와 내식성이 필요한 경우에 사용한다.
알루미늄	A1070	

8) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접의 보호 가스²³⁾

실드 가스는 주로 아르곤이 사용되나 헬륨이 사용되기도 한다. 아르곤이 헬륨보다 이온화 에너지가 작아 아크의 발생이 쉬우며, 공기보다 무거워서 아래 보기 용접 자세에서 용융부의 보호성이 양호하며 가격도 아르곤가스가 저렴하다. 헬륨을 사용하면 고온의 아크로 인하여 용입이 증가하여 열전도가 높은 알루미늄 합금 등을 용접하는데 적당하다. 아르곤 용기의 색은 회색이며 충전기압은 약 140kgf/cm²이다.

[표 5-5] 아르곤과 헬륨의 비교

비교 내용	아르곤(Ar)	헬륨(He)
아크 전압	낮다.	높다.
아크 발생	쉽다.	어렵다.
아크 안정	우수	불량
청정작용	우수(DCRP와 AC)	거의 없다.
용입(모재 두께)	얕다(박판)	깊다(후판)
열 영향부	넓다.	좁다.
가스 소모량	적다.	많다.
사용 용접법	수동 용접	자동 용접

- 가스 퍼징(gas purging)이란 일정한 이면 비드를 얻기 위해 용접기 전면과 같이 뒷면에도 아르곤 또는 헬륨을 공급해서 용착금속의 산화를 방지하는 것(가스 공급량 27ℓ/min)이다.
- 티그 용접에서 아크 원더링(흔들림)의 원인으로는 아르곤가스에 공기가 혼입되었을 때, 전극의 끝이 불량할 때, 전극의 전류 밀도가 낮은 경우, 자기에 의한 영향을 받을 때 아크 원더링이 발생한다.
- 불활성 가스 용접 시 용접 전·후에도 가스를 약간씩 유출해야 하는 이유는, 용접 전에는 도관이나 토치에 있는 공기를 배출시키기 위해서이고, 용접 후에는 가열된 상태의 용접부 및 텅스텐 전극이 산화 혹은 질화되는 것을 방지하기 위해서이다.

9) 가스 노즐

가스 노즐은 세라믹 노즐 또는 가스 캡이라 부르고, 재질은 세라믹(ceramic) 또는 동 제품으로 만들어진다. 용접물의 재질, 용접 전류, 이음의 형태, 사용 가스 등에 따라 적당한 노즐을 선택하여야 한다. TIG 토치 세라믹 종류로 노즐의 크기는 가스 분출 구멍의 크기로 정해지며 일반적으로 4~13mm의 크기의 노즐이 주로 사용된다.



10) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 작업

(가) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접기

불활성 가스 텅스텐 아크 용접 수행 전 용접 장비의 기능 [그림 5-6] 세라믹 노즐들을 정확히 알고 임해야 원활한 용접을 진행할 수 있다.

23) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 재료준비 (1601050303_18v2)

[표 55-6] TIG 용접기 조정 장비 기능

번호	명 칭	기 능	번호	명칭	기능
①	전원 스위치(NFB)	본체 전원을 ON/OFF	⑩	크레이터 전류	크레이터 용접선택 때 크레이터 전류 조절이 가능
②	펄스 전류 노브	펄스 전류를 조정	⑪	후류가스	용접 후 가스 방출시간 조절이 가능
③	용접 전류 노브	본체 용접 전류를 조정	⑫	업 슬로프	초기 전류에서 본 전류로 올라가는 시간 조절이 가능
④	전원 램프	전원 투입을 하면 램프가 점등	⑬	펄스 주파수	펄스 주파수를 조절이 가능
⑤	이상램프	본체의 이상 유.무를 확인	⑭	다운 슬로프	본 전류에서 크레이터 전류로 내려가는 시간 조절이 가능
⑥	전류 메타	전류값 확인	⑮	크리닝 제어	비드 폭이나 깊이 용접성 조절
⑦	용접선택 노브	TIG, ARC, 크레이터 선택이 가능	⑯	펄스선택 스위치	펄스 종류를 선택
⑧	초기 전류 노브	용접 전류를 조정	⑰	냉각 방식선택 스위치	토치 냉각방식 선택 및 가스 점검
⑨	펄스폭 전류 노브	펄스전류 용접 때 펄스폭을 조정	⑱	교류, 직류선택 스위치	모재 종류에 따라 출력전류의 선택



- 용접기의 따라 사양은 달라질 수 있다.

(나) 가스 유량 조절²⁴⁾

가스 용기와 압력 게이지 연결 방법 및 유량 체크를 다음과 같은 순서대로 연결한 후 가스 유량을 설정한다.



(a) 가스 용기와 압력 게이지에 연결부를 밀착해 준다.



(b) 연결부를 손으로 돌려서 체결을 해준다.



(c) 체결된 부분을 스패너 및 공구를 이용하여 연결 부분을 완벽히 체결한다.



(d) 가스 용기의 주 밸브를 시계방향으로 틀어 가스를 공급해 준다.



(e) 용접기의 스위치를 가스 체크로 선택을 하고 유량게이지를 확인해 본다.



(f) 용접작업 전류에 맞게 유량 게이지를 조절을 해 준다.



(g) 가스 체크 확인 후 스위치를 원래 상태로 한다.



(h) 토치의 스위치를 눌러서 이상 유무 체크를 한다.



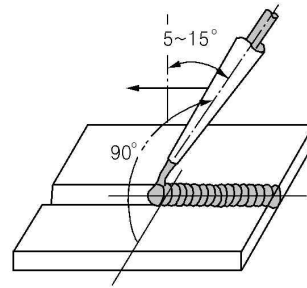
(i) 유량 체크를 확인 후 불(ball)밸브가 계속 움직이면 가스누출을 부위를 알아내고 점검 및 수리해야 한다.

[그림 5-7] 아르곤 용기 및 압력 게이지 설치 후 가스 유량 조절하기

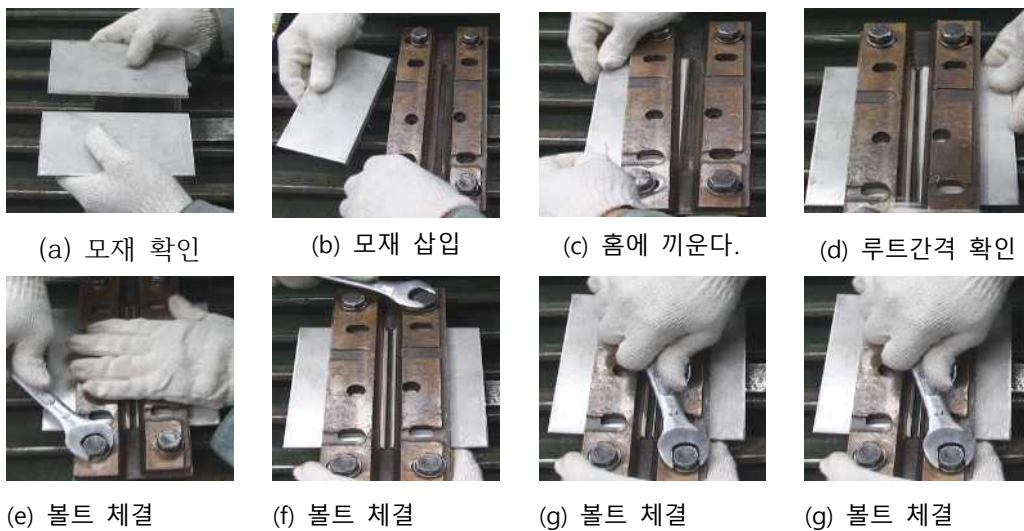
24) NCS 분류번호: 가스팅스텐아크용접 장비준비 (1601050304_18v2)

(다) 불활성 가스 텅스텐 아크 용접 방법²⁵⁾

용융점이 낮은 금속 즉 납, 주석 또는 주석의 합금 등의 용접에는 이용되지 않는다. 아크를 발생하는 방법은 모재와 접촉에 의한 방법, 고전압에 의한 방법, 고주파에 의한 방법(직류일 때 아크 발생 초기만 사용하며, 교류일 때는 사용 중에도 발생)이 있다. 티그 용접에서 제어 장치에는 아르곤가스 개폐 제어 장치, 용접 와이어의 기동 정지 및 속도 제어 장치, 용접 전류의 조절 장치, 반자동식 와이어 공급 속도 원격 제어 장치 등이 있다.



[그림 5-8] 토치 각도



[그림 5-9] 이면 백판과 시험편 고정



(a) 티그 용접 F 자세 (b) 티그 용접 V 자세 (c) 티그 용접 H 자세 (d) 티그 용접 O 자세

[그림 5-10] 티그 용접 자세

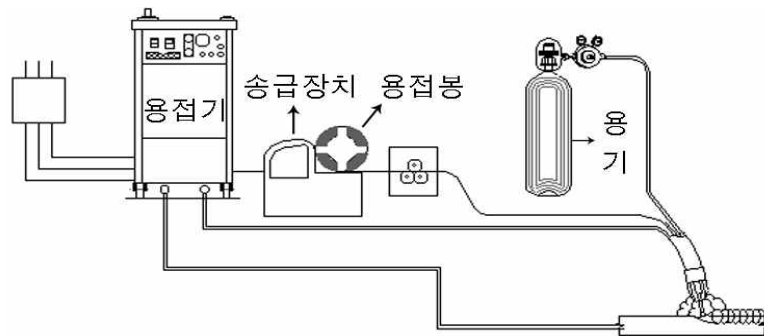
참고

아르곤 펄스 용접의 장점으로서는 이면 비드 용접, 전자세 용접이 쉬우며, 두께의 차이가 있는 용접 및 이종 합금의 용접이 쉽다. 또한, 용접 조건이나 이음의 정밀도에 여유가 크며, 아크의 안정성과 지향성이 강해서 용접의 작업성이 향상된다. 용접 입열과 열확산의 균형이 좋아 고품질의 용접이 가능하며, 박판(0.5mm)의 용접이 쉽다. 끝으로 용접 비드가 좋고 용접 변형 및 용접결함이 적다.

25) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 맞대기용접 (1601050311_18v3)

다. 불활성 가스 금속 아크 용접(GMAW: Gas Metal Arc Welding)

가스 메탈 아크 용접은 기본적으로 용가재로서 작용하는 소모 전극 와이어를 일정한 속도로 용융지에 공급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하도록 하는 용접법이다. 상품명으로는 에어코우메틱, 시그마, 필터 아크, 아르곤노오트 용접법 등으로 불린다.



[그림 5-11] 불활성 가스 금속 아크 용접

[표 5-7] 불활성가스 금속 아크 용접의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 용접기 조작이 쉬워 손쉽게 용접할 수 있다. • 용접 속도가 빠르다. • 슬래그가 없고 스파터가 최소로 되기 때문에 용접 후 처리가 불필요하다. • 용착 효율이 높다(수동 피복 아크 용접 60% MIG는 98%). • 전자세 용접이 가능하며, 용입이 크며, 전류 밀도도 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 장비가 고가여서 연강 용접에는 부적합하고, 이 동해서 사용하기 곤란하다. • 토치가 용접 부에 접근하기 곤란한 경우 용접하기 어렵다. • 슬래그가 없으므로 메집이 발생할 우려가 있다. • 옥외에서 사용하기 힘들다. • 박판 용접(3mm 이하)에는 사용이 곤란하다.

1) 불활성 가스 금속 아크 용접의 특징

- (가) 전극이 녹는 용극식, 소모식이다.
- (나) 토치는 공랭식(200A 이하), 수랭식이 있다.
- (다) 전류 밀도가 티그 용접의 2배, 일반 용접의 4~6배로 매우 크고 용적 이행은 스프레이형이다.
- (라) 전자세 용접이 가능하고 판 두께가 3~4mm 이상의 알루미늄·구리합금, 스테인리스강, 연강 용접 등에 이용된다.
- (마) 아크 길이는 6~8mm를 사용하며 전진법을 주로 사용한다.
- (바) 헬륨가스는 아르곤가스를 사용할 때보다 용입 및 속도를 증가시킬 수 있다.
- (사) 전원은 정전압 특성을 가진 직류 역극성이 주로 사용된다. 정극성의 경우 역극성 보다 용융 속도는 2배 정도 크나, 큰 용적이 불연속적으로 용융지에 떨어져 아크가 불안정하여 잘 사용하지 않는다.

2) 차폐 가스의 종류

[표 5-8] 불활성 가스 금속 아크 용접의 사용 가스

종 류	용도 및 특징
Ar	전류 밀도가 크고, 청정 능력이 좋다.
He	용입이 비교적 얇고, 비드 폭이 넓어진다. Al, Mg 같은 비철금속에 이용
Ar + He(25%)	용입이 깊고, 아크 안정성이 우수하다. 후판에 사용되며, 모재 두께가 두꺼울수록 헬륨의 함량을 증가시키면 된다.
Ar + CO ₂	아크가 안정되고, 용융금속의 이행을 빨리 촉진해 스파터를 줄일 수 있다. 연강, 저합금강, 스테인리스강의 용접에 이용된다.
Ar + He(90%) + CO ₂	단락형 이행으로 주로 오스테나이트계 스테인리스강 용접에 사용된다.
Ar + O ₂ (1~5%)	언더컷을 방지할 수 있고, 스테인리스강 용접에 주로 사용된다.

3) 불활성 가스 금속 아크 용접의 용융 금속 이행 형태²⁶⁾

용융 금속의 이행 형태에 영향을 주는 인자는 용접봉 크기, 용접 전류 및 전압, 보호가스, 용접봉의 돌출 길이 등이다.

[표 5-9] 불활성 가스 금속 아크 용접의 용융 이행 형태

이행 형태	특징
단락형	<ul style="list-style-type: none"> • 큰 용융 쇳물이 용융지에 접촉하고 표면 장력에 의해 모재로 1초에 20 ~ 200회 이행한다. • 비교적 낮은 전류에서 발생한다. • 탄산가스를 차폐 가스로 사용할 때 일어난다. • 박판 용접에 적합하다. • 전자세 용접이 가능하다.
입적 이행	<ul style="list-style-type: none"> • 용접봉 끝에서 쇳물 방울이 와이어 지름의 2~3배 크기로 되어 모재로 이행한다. • 모든 종류의 차폐 가스에서 발생한다. • 낮은 전류 밀도에서 발생한다. • 아크가 불안정해지고 용입이 얇으며, 스파터가 많이 발생한다. • 위보기 자세에는 사용할 수 없다.
스프레이형	<ul style="list-style-type: none"> • 용접봉의 지름과 같거나 작은 용적이 급속한 분무 형태로 이행한다. • 높은 전류 밀도에서 발생한다. • 차폐 가스로서 불활성 가스를 80% 이상 사용할 때 일어난다. • 용접 입열이 크고 용입이 깊어서 3.2mm 이상의 후판에 좋다. • 전자세 용접이 가능하다.

26) NCS 분류번호 : 가스메탈아크용접 비드쌓기 (1601050410_16v2)

4) 불활성 가스 금속 아크 용접 작업²⁷⁾

(가) 사용 토치는 공랭식(200A 이하), 수냉식이 있다.

(나) 아크 길이는 6~8mm를 사용하며 전진법을 주로 사용하며, 일반적으로 진행각은 10~15° 작업각은 30~35°로 한다.

[표 5-10] 불활성 가스 금속 아크 용접의 전진법과 후진법의 비교

전진법	후진법
<ul style="list-style-type: none"> • 용접선이 잘 보이므로 운봉을 정확하게 할 수 있다. • 비드 높이가 낮고 평탄한 비드가 형성된다. • 스파터가 비교적 많으며 진행 방향으로 흩어진다. • 용착금속이 아크보다 앞서기 쉬워 용입이 알아진다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접선이 노즐에 가려 운봉을 정확하게 하기 어렵다. • 높이가 약간 높고 폭이 좁은 비드를 얻을 수 있다. • 아크가 안정적이며, 스파터 발생이 적다. • 용융금속이 앞서나가지 않아 깊은 용입을 얻는다. • 비드 형상이 잘 보이기 때문에 비드의 폭과 높이 등을 제어하기 쉽다.

(다) 용접에 영향을 주는 변수

불활성 가스 금속 아크 용접에 영향을 주는 변수는 전류, 전압, 와이어 돌출 길이 등을 들 수 있다.

[표 5-11] 불활성 가스 금속 아크 용접의 영향을 주는 변수

종 류	용도 및 특징
전류	용접 전류와 와이어 공급 속도는 돌출길이가 일정하면 거의 정비례한다. 같은 지름의 와이어에서 전류가 증가하면 전류 밀도가 커져서 용입과 와이어의 용융 속도는 증가한다.
전압	용접 금속에 이행 형태에 큰 영향을 주는 요소로 단락형 용접에서는 비교적 낮은 전압인 데 비하여 분무형 이행은 높은 전압이어야 한다. 용접 전류와 와이어 용융 속도가 증가하면 아크 안정을 위하여 전압을 다소 증가하여야 한다. 적정 전압보다 아크 전압이 높아지면 비드 폭이 넓어지고, 표면 덧살은 낮아지며, 스파터가 많아진다.
돌출길이	전류 접촉팁에서 와이어 끝까지 거리를 말하며, 만일 돌출길이가 증가하면 용가재의 용착 속도를 증가시켜 비드 높이를 증가시키고, 용접 전류와 용입을 감소시킨다. 돌출길이가 감소할 때는 비드 높이를 감소시키며, 용접 전류와 용입을 증가시킨다. 소전류 영역(200A 미만)은 10~15mm 정도, 대전류 영역(200A 이상)은 15~25mm 정도로 한다.
용접봉 지름	같은 전류에서 용접봉 지름이 작아지면 전류 밀도가 커지므로 용입이 깊어지고, 동시에 용접봉의 용착 속도가 증가하므로 용접 속도에도 영향을 준다.
용접 속도	모재 두께가 증가할수록 용접 속도는 늦게 해야 한다. 같은 이음 형상과 재료 두께에서는 전류가 증가하면 용접 속도는 증가한다. 일반적으로 전진법으로 하면 용접 속도는 빨라진다.
모재의 기울임	모재 기울임에 따라 상향용접에 비드와 하향 용접의 비드가 달라진다.

27) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 맞대기용접 (1601050311_18v3)

(라) 불활성 가스 금속 아크 용접에서 와이어를 공급하는 방식

와이어 공급 장치는 직류 전동기 감속 장치, 공급 롤러와 와이어 공급 속도 제어 장치로 구성되어 있다.

[표 5-12] 불활성 가스 금속 아크 용접의 와이어 공급 방식

종 류	특징
미는 방식(push)	반자동용접 장치에 주로 사용, 연한 재질의 경우 구부러질 우려가 있어 공급 튜브의 길이가 3m 이상일 경우 강은 0.6mm 이상, 알루미늄은 1.2mm 이상의 와이어를 사용
당기는 방식(pull)	전자동용접 장치, 주로 작은 지름의 연한 와이어를 사용
밀고 당기는 방식(push-pull)	양호한 공급이 되지만 토치의 조작이 불편
이중 미는 방식(double push)	푸시식 공급 장치와 용접 토치 중간에 보조 푸시 전동기를 사용하여 긴 공급 튜브를 사용할 수 있으며 조작이 편리

• 공급 기구는 전동기, 감속장치, 공급 롤러로 구성되어 있다.

(마) 불활성 가스 금속 아크 용접 토치

주로 단단한 와이어를 사용하는 커브형, 연한 비철금속 와이어를 사용하는 피스톨형이 있다.

(바) 불활성 가스 금속 아크 용접 제어 보호 가스, 용접 전류 및 냉각수를 순환을 제어하는 기능 등을 포함한다.



(a) 커브형

(b) 피스톨형

[그림 5-12] 불활성가스 금속 아크 용접 토치

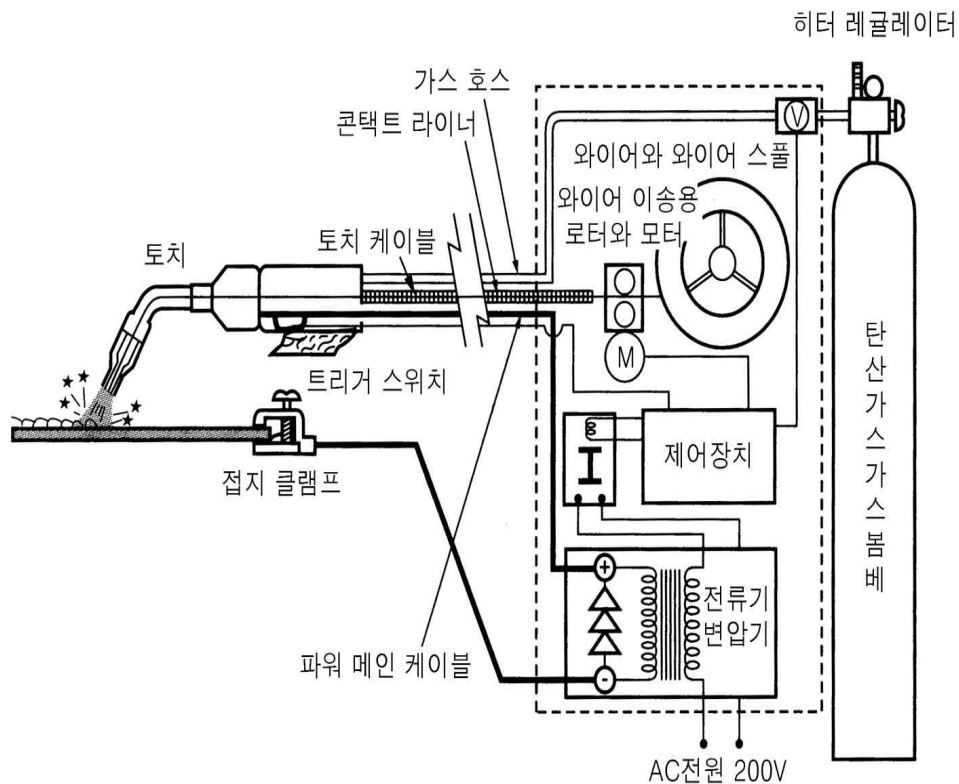
[표 5-13] 불활성 가스 금속 아크 용접 제어

종류	특징
예비가스 유출 시간	아크를 처음 발생할 때 보호 가스를 흐르게 하여 아크를 안정하게 하며 결함을 방지하기 위한 기능
스타트 시간	아크가 발생 되는 순간 용접 전류와 전압을 크게 하여 아크 발생을 쉽게 하는 핫 스타트 기능과 와이어 공급 속도를 아크가 발생하기 전에는 천천히 공급하여 와이어가 튀는 것을 방지하는 슬로우 다운 기능
크레이터 충전시간	용접 종점부인 크레이터 처리를 위해 토치 스위치를 누르면 용접 전류와 전압이 낮아져 크레이터를 채우는 기능으로 전류와 전압 값은 조절 가능
변백 시간	크레이터 처리 기능에 의해 낮아진 전류가 서서히 줄어들면서 아크가 끊어지는 슬로프다운 기능으로 이면 용접부가 흘러내리는 것을 방지
가스 지연 유출 시간	예비가스 유출 시간과는 반대로 용접 후 5~25초 동안 가스가 흘러나와 크레이터 부위의 산화를 방지하는 기능

2. 이산화탄소 아크 용접²⁸⁾

가. 이산화탄소 아크 용접의 개요

이산화탄소 아크 용접(CO_2 gas arc welding)법은 소모성 전극인 와이어를 일정한 속도로 모재에 공급하면서 와이어를 통해 전류를 통전하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하는 용접 공정이다.

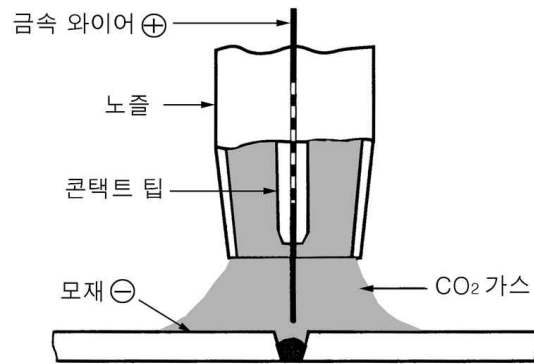


[그림 5-13] 이산화탄소 아크 용접

나. 이산화탄소 아크 용접의 원리

이산화탄소 아크 용접은 GMAW(Gas Metal Arc Welding) 공정에서 값비싼 아르곤(Ar)이나 헬륨(He) 가스 대신 이산화탄소(CO_2 gas)를 사용한 용극식 용접 방식이다. 보호 가스로는 이산화탄소 외에 산소 또는 아르곤과의 혼합 가스를 사용하고, 용접 전원은 직류 정전압 또는 상승 특성과 같은 출력 특성을 갖춘 용접기가 사용된다.

28) NCS 분류번호 : CO_2 용접 장비 준비 (1601050204_18v2)



[그림 5-14] 이산화탄소 아크 용접의 원리

다. 이산화탄소 아크 용접의 장단점

이산화탄소 아크 용접법은 여러 가지 특징을 가지고 있으며 다음과 같은 장단점이 있다.

[표 5-14] 이산화탄소 아크 용접의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 용접봉을 갈아 끼우는 작업이 불필요하므로 능률적이다. • 슬래그가 없으므로 슬래그 제거 시간이 절약된다. • 용접재료의 손실이 적으며 용착 효율이 95% 이상이다(SMAW: 약 60%). • 전류 밀도가 높으므로 용입이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 장비가 무거워서 이동하기 곤란하고, 구조가 복잡하고 고장률이 높으며 가격이 비싸다. • 용접 토치가 용접부에 접근하기 곤란한 조건에서는 용접할 수 없다. • 바람이 부는 옥외에서는 보호 가스가 보호 역할을 충분히 못 하므로 방풍막을 설치해야 한다.

라. 이산화탄소 아크 용접의 와이어

이산화탄소 아크 용접에 사용되는 와이어는 표면이 구리로 되어있다. 이것은 와이어가 콘택트 팁을 통하여 공급될 때 통전 효과를 높이고 녹을 방지하는 역할을 하며, 또한 연속적으로 원활하게 공급시키기 위하여 와이어가 릴(wire reel)에 감겨 있다.

용접용 와이어의 종류에는 탈산제의 공급 방식에 따라 용제가 들어있지 않은 솔리드 와이어(solid wire)와 용제가 와이어 속에 내장된 복합 와이어(flux cored wire)로 구분되고 있다.

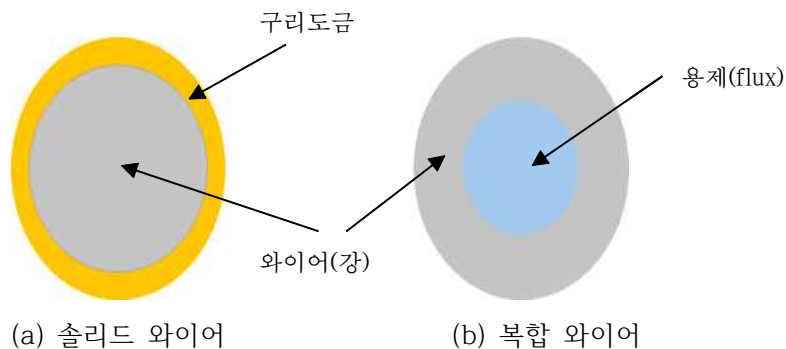
1) 솔리드 와이어

솔리드 와이어는 실체(나체) 와이어라고도 하며 단면 전체가 균일한 강(steel)으로

되어있다. 이 와이어는 단락이행에 의한 박판이나, 전자세와 고전류에 의한 후판의 용접에까지 널리 사용된다. 이산화탄소에 아르곤가스를 혼합하면 아크가 더욱 안정되고 스패터도 감소하는 등 용접 품질의 향상을 기대할 수 있다.

2) 복합 와이어

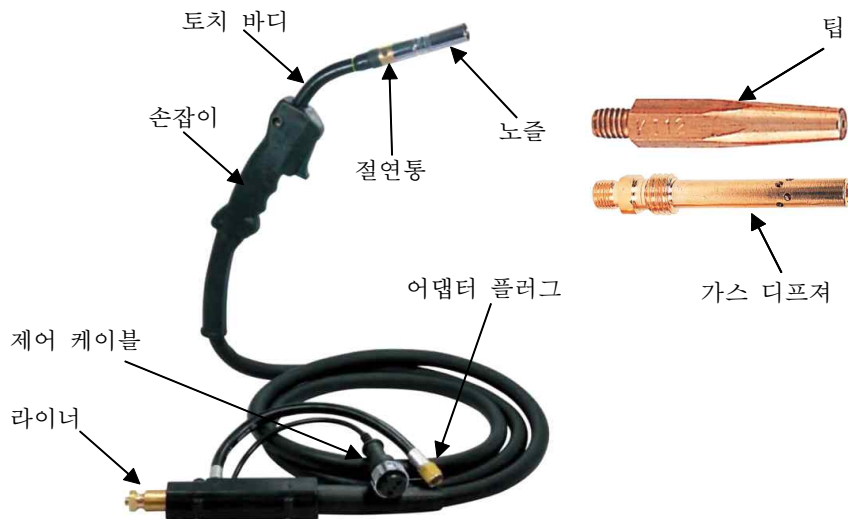
복합 와이어(flux cored wire)는 용제에 탈산제, 아크 안정제 등 합금 원소가 포함되어 있어 양호한 용착금속을 얻을 수 있고, 아크도 안정되어 스패터도 적으며, 비드의 외관이 아름다워서 많이 이용되고 있다.



[그림 5-15] 이산화탄소 아크 용접 와이어

마. 이산화탄소 아크 용접 토치

이산화탄소 아크 용접기의 토치는 전자동식과 반자동식이 있으며, 전자동식은 주행 대차(auto carriage)에 설치되어 있다. 이산화탄소 아크 용접은 용융풀에서 방사열이 높으므로 대체로 수랭식을 사용하나 박판용의 반자동용 토치는 보수와 취급이 쉬운 공랭식이 주로 사용된다.



[그림 5-16] 이산화탄소 아크 용접 토치의 구조

바. 이산화탄소 아크 용접의 보호 가스 설비

보호 가스 설비는 가스 용기(gas cylinder), 히터(heater), 조정기(regulator), 유량계(flow meter) 및 가스 연결용 호스(hose) 등으로 구성되어 있다. 가스 유량은 낮은 전류에서는 10~15ℓ/min 가 적당하고, 높은 전류에서는 20~25ℓ/min 정도가 필요하다.

이산화탄소의 압력은 이산화탄소 실린더 내부의 고압 상태에서 압력 조정기를 통해 저압 상태인 배출 압력으로 조정된다. 이때 상당한 열을 주위로부터 흡수하여 압력 조정기와 유량계가 동결될 수 있어서 이를 방지하기 위하여 이산화탄소 압력 조정기에는 히터가 부착되어 있다.



[그림 5-17] 이산화탄소 아크 용접기 압력 게이지

사. 이산화탄소 아크 용접의 전원²⁹⁾

이산화탄소 아크 용접기는 일반적으로 교류전원(AC)에서 동력을 공급받아 교류 전류를 정류시켜 직류(DC) 전류로 사용한다.

용접 전원의 특성은 직류 정전압 특성이나 상승 특성의 용접 전원이 이용되고 있다. 이산화탄소 아크 용접법에는 수동식, 반자동식, 전자동식이 있으나 주로 반자동식과 전자동식이 이용되고 있다.

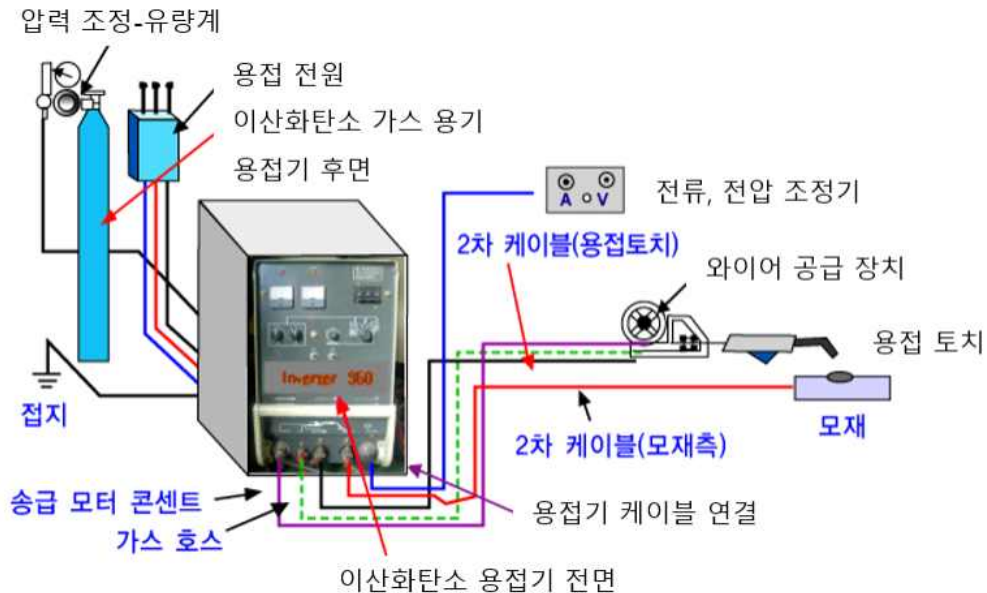
아. 이산화탄소 아크 용접기의 제어 장치

이산화탄소 아크 용접기의 제어 장치에는 와이어 공급 제어 장치, 보호 가스 제어 장치, 그리고 냉각수 공급 제어 장치 등이 하나의 제어 상자(control box)에 넣어

29) NCS 분류번호 : CO₂용접 장비 준비 (1601050204_18v2)

조작되고 있다.

와이어의 공급은 토크가 크고, 적응성이 우수한 구동 모터에 의해 감속기 롤러를 통하여 일정한 속도로 공급되며, 보호 가스의 공급은 용접 토치의 스위치 작동으로 전자 밸브를 작동시켜 제어하게 되어있다.



[그림 5-18] 이산화탄소 아크 용접 장치의 구성

참고

뒷담 재료(backing materials)

이산화탄소 아크 용접에 있어서 용접부의 뒷면에 뒷담재(backing)를 부착하여 표면 용접과 동시에 이면 비드를 형성할 수 있어서 이면 가우징 및 이면 용접을 생략할 수 있는 장점이 있어 작업시간을 단축할 수 있다.

뒷담재에는 구리 뒷담재, 글라스 테이프, 세라믹(ceramic) 제품이 주로 사용되고 있으며, 홈(groove)의 형상이나 재료의 두께에 따라 다양한 모양의 뒷담재가 사용되고 있다.

자. 이산화탄소 아크 용접 작업³⁰⁾

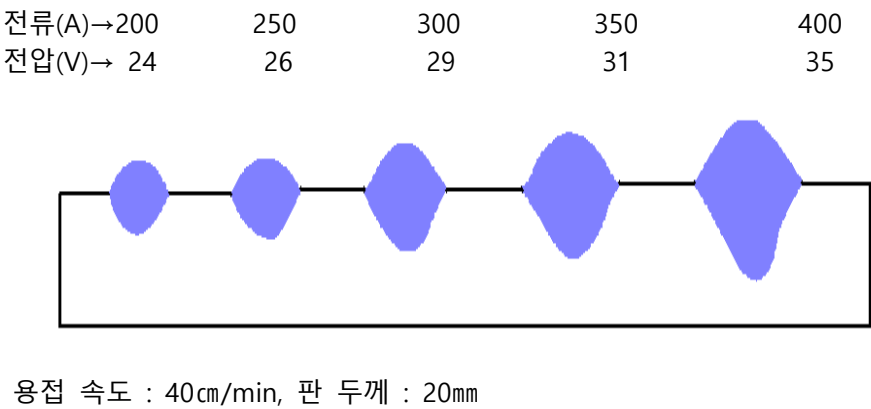
이산화탄소 아크 용접은 특히 이음부를 청정하게 해야 한다. 이음부 및 와이어에 있는 기름, 페인트, 수분, 녹 등 이물질들을 제거하고 용제가 내장된 복합와이어의 경우는 반드시 건조 후 사용해야 한다.

차. 용접 전류

용접 전류는 용착 속도와 용입 깊이를 결정하는 중요한 변수이다. 용접 전류는 와

30) NCS 분류번호 : 솔리드와이어용접 비드 쌓기 (1601050211_18v3)

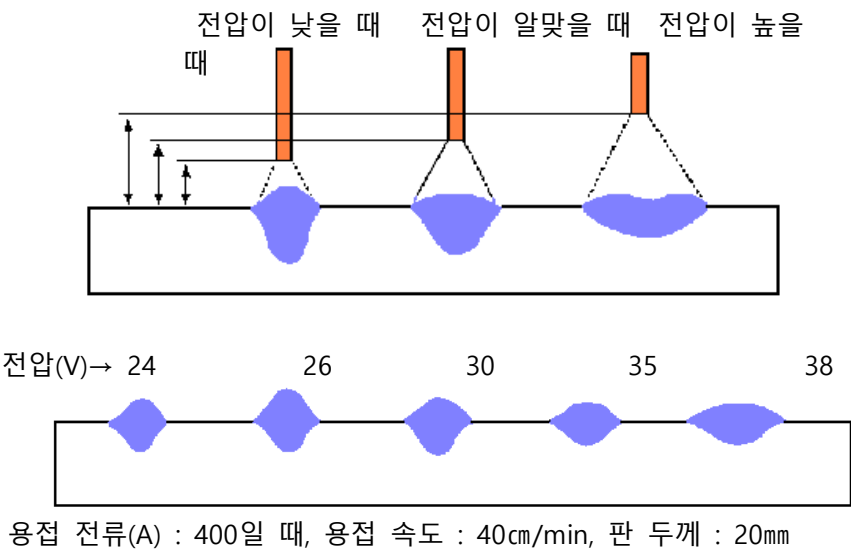
이어 공급 속도에 비례하기 때문에 이산화탄소 아크 용접에서는 와이어 공급 속도를 조정함으로써 용접 전류를 제어한다. 용입(penetration)을 결정하는 가장 큰 요인으로 전류를 증가함에 따라 용착 속도가 증가하고 모재에 가해지는 아크열이 증가하기 때문에 용입 깊이가 증가한다.



[그림 5-19] 용접 전류와 용입과의 관계

카. 아크 전압

아크 전압은 아크 길이와 비례하기 때문에 용접 비드의 형상에 영향을 미치는 주요한 변수이다. 용접 전압이 증가하면 텃살은 낮아지고 비드 폭이 넓어져서 납작한 비드 형상을 하게 되기 때문에 양호한 비드 형상을 얻기 위해서는 적절한 아크 전압을 사용해야 한다.

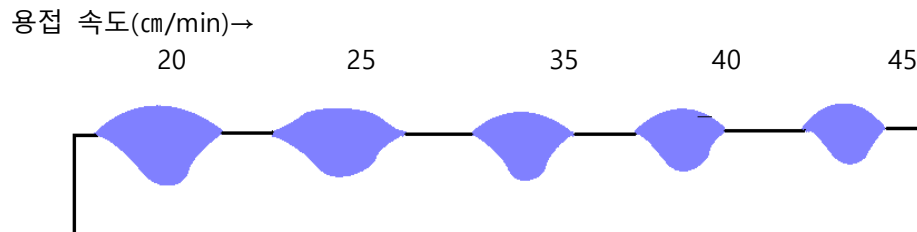


[그림 5-20] 아크 전압과 비드 형상

타. 용접 속도

용접 속도는 아크가 용접 이음부를 따라 진행하는 속도이다. 용접 속도는 용접 전류, 아크 전압과 함께 용입 깊이, 비드 형상 및 아크 안정성 등에 영향을 미친다.

일반적으로 용접 속도가 너무 빠르면 단위 길이당 투입되는 에너지가 작아지므로 용입은 감소하고, 용접 속도가 감소하면 용입은 증가한다.

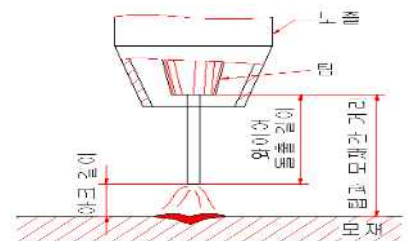


용접 전류[A] 400일 때, 용접 전압[V] 35일 때, 판 두께 20mm

[그림 5-21] 용접속도와 용입과의 관계

파. 와이어 돌출길이

수동 용접의 경우는 용접봉의 소모와 함께 홀더를 모재로 접근시키지 않으면 아크 길이가 길게 되지만, 반자동 용접에서는 와이어가 자동으로 연속으로 공급되기 때문에 용접 토치의 노즐과 모재 간의 거리를 일정하게 유지하면 아크 길이가 일정하게 된다.



[그림 5-22] 와이어 돌출길이

그러나 용접 중 노즐의 높이를 크게 올리면 아크의 안정성, 용입, 비드 외관 등에 영향을 미치기 때문에 주의해야 한다.

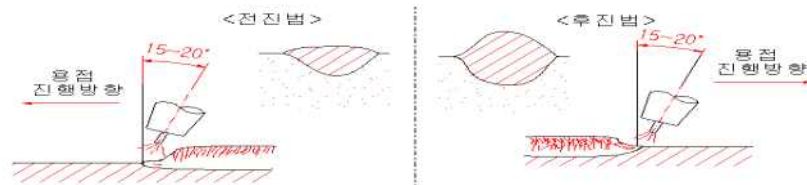
와이어 돌출 길이(wire stick out)를 상당히 길게 하면 와이어에 저항 열이 발생하여 아크의 안정성이 나빠게 되고 작업하기 어렵다. 또한, 스파터의 발생이 증가해서 비드 외관도 나빠게 되고 작업하기 어려우며 용입도 감소한다. 이 경우 가스의 보호 효과도 나빠게 되어 기공(블로홀) 등의 결함이 생기기도 한다.

반대로 와이어 돌출길이를 짧게 하면, 용접 전류는 증가하고 아크 길이가 조금 짧아진다. 극단적으로 돌출길이를 짧게 하면, 와이어가 용융지 속으로 돌입하므로 아크가 불안정하게 된다.

이처럼 용접 중 와이어 돌출길이는 너무 짧아도 안정된 아크 및 깨끗한 비드를 얻기 어려우므로 보통 적정 값을 유지해야 한다. 적정한 와이어 돌출길이는 일반적으로 와이어 지름의 약 10~25배 정도라고 알려졌지만, 사용하는 용접 전류가 높을수록 길게 하는 것이 바람직하다.

하. 전진법과 후진법

용접 진행 방향에 대한 토치 각도에 따라 전진법과 후진법으로 구분한다.



[그림 5-23] 전진법과 후진법

거. 용접결함 및 대책

이산화탄소 아크 용접은 기공, 균열 등에 결함이 발생할 수 있어 그 대책이 필요하다.

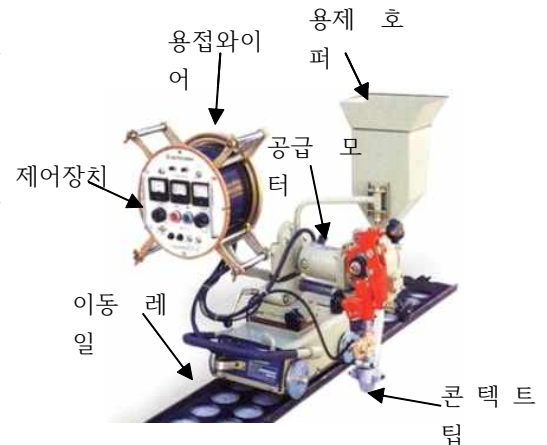
[표 5-15] 이산화탄소 아크 용접 결함

종류	특징
다공성	<ul style="list-style-type: none"> • 질소에 의한 다공성 <ul style="list-style-type: none"> - 질소 함유량이 3% 이상이면 다공성이 일어난다. - 발생 원인은 보호 가스 내의 질소보다, 공기로부터 흡수된 질소가 그 원인이다. • 수소에 의한 다공성 <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 가스 아크 용접에서 다공성의 원인은 수분이나 유지 등이다. - 습기 찬 공작물, 녹슨 모재 표면에서 다공성이 특히 많이 발생한다. - 상업용 가스의 수분 함량은 0.015% 이하여서 용접 불량률이 거의 없다. • 일산화탄소에 의한 다공성 <ul style="list-style-type: none"> - 실리콘이나 망간 등의 탈산제 첨가로 CO에 의한 다공성을 방지한다.
균열	<ul style="list-style-type: none"> • 주로 이음매 부분에서 발생하며, 세로 길이로 나타난다. • 저 합금강의 열 영향부에서는 수소가 균열의 원인이 된다.
용입 부족	<ul style="list-style-type: none"> • 요구하는 용융의 깊이가 부족한 결함을 말한다. • 용접 입열이 너무 낮을 때 일어나며, 와이어 공급 속도를 높이고, 전류를 높이면 방지된다.
용융 부족	<ul style="list-style-type: none"> • 충분히 모재를 녹여주지 못하여 생기며, 자동화 용접에서 발생한다. • 토치 각을 용융지로 직접 향하게 하거나, 온돌레 용접에서 위쪽으로 토치 방향을 변화시키면 방지된다.
슬래그 혼입	<ul style="list-style-type: none"> • 와이어에 포함된 탈산제는 슬래그 혼입을 상승시킨다. • 특히 복합 와이어에서 슬래그 혼입은 낮은 전류의 사용으로 인한 운봉 불량 상태에서 일어난다.
언더컷	<ul style="list-style-type: none"> • 용융부와 나란한 홈이나 채워지지 않은 면적을 언더컷이라고 한다. • 언더컷은 용접 속도를 감소시킴으로써 방지할 수 있다.
스패터	<ul style="list-style-type: none"> • 가스 노즐이나 전류 접촉관에서 작용하여 용접 구역으로 방출된다. • 스패터는 다공성 및 용입 부족의 원인이 될 수도 있다.

3. 서브머지드 아크 용접(Submerged Arc Welding)

가. 서브머지드 아크 용접의 원리

용접부 표면에 입상의 플럭스를 공급 살포하고, 그 플럭스 속에 연속적으로 전극 와이어를 공급하여 와이어 끝과 모재 사이에 아크를 발생시키는 용접법이다. 발생한 아크열은 와이어, 모재 및 플럭스를 용융시키며, 용융된 플럭스는 슬래그를 형성하고 용융금속은 용접 비드를 형성한다. 서브머지드 아크 용접은 용접 아크가 플럭스 내부에서 발생하여 외부로 노출되지 않기 때문에 잠호용접이라고도 부른다.



[그림 5-24] 서브머지드 아크 용접 헤드

나. 서브머지드 아크 용접의 장단점

서브머지드 아크 용접의 장단점은 다음과 같다.

[표 5-16] 이산화탄소 아크 용접의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> 고전류 사용이 가능하여 용착 속도가 빠르고 용입이 깊다. 용접 속도가 수동 용접보다 10 ~ 20배, 용입은 2 ~ 3배 정도 커서 능률적이다. 기계적 성질이 우수하다. 유해 광선이 적게 발생하여 작업 환경이 깨끗하다. 비드 외관이 아름답다. 열효율이 높다. 용접 조건만 일정하면 용접사의 기량 차에 의한 품질에 영향을 주지 않아 신뢰도를 높일 수 있다. 용접 흠의 크기가 작아도 되며 용접재료의 소비 및 용접 변형이 작다. 한 번 용접으로 75mm까지 용접할 수 있다. 용제(flux)사용으로 불순물이 제거되어 우수한 품질을 얻을 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 장비의 가격이 고가이다. 자동용접으로 사용되어 용접선이 짧거나 복잡한 경우 수동보다 능률이 떨어질 수 있다. 용접 상태를 육안으로 확인이 곤란하여 치명적인 결함을 식별할 수 없다. 대부분 아래보기 자세로 사용되며 적용 자세에 제한을 받는다. 탄소강, 저합금강 스테인리스강 등에 주로 사용되나 적용 소재에 제약을 받는다. 용접 흠의 정밀도가 좋아야 한다. 용제(flux)가 공기 중에 있는 습기를 흡수할 수 있어 유의하여야 한다. 입열량이 커서 용접 금속 결정립의 조대화로 충격값이 커진다.

참고

서브머지드 아크 용접의 흠의 정밀도는 루트 간격 0.8mm 이하, 루트 면 7 ~ 16mm 흠 각도 오차 $\pm 5^\circ$, 루트 오차 $\pm 1\text{mm}$ 가 요구된다.

다. 서브머지드 아크 용접의 용제³¹⁾

1) 서브머지드 용접의 용제 조건

- (가) 적당한 용융 온도 및 점성을 가져 양호한 비드를 얻을 수 있을 것
- (나) 용착금속에 적당한 합금 원소의 첨가할 수 있고 탈산, 탈황 등의 정련 작용으로 양호한 용착금속을 얻을 수 있을 것
- (다) 적당한 입도를 가져 아크의 보호성이 좋을 것
- (라) 용접 후 슬래그의 박리성이 좋을 것

2) 서브머지드 아크 용접의 용제 역할

- (가) 아크 안정 및 절연 작용을 한다.
- (나) 용접부의 오염을 방지하며 급랭 되는 것을 방지한다.
- (다) 탈산 정련 작용 및 합금 원소를 첨가한다.

3) 서브머지드 아크 용접의 용제의 종류

서브머지드 아크 용접의 용제는 소결형, 용융형, 혼성형이 있다. 소결형 용제는 용융형에 70~80% 정도의 용입으로 얇고, 비드 폭이 넓어지므로 가능한 흠을 깊게 하고 전류를 높이며 전압을 낮게 하여 작업을 한다. 또한, 소결형 용제는 용융형 용제와 비교하면 겉보기 비중이 매우 작아 살포량을 용융형보다 20~50% 높게 해야 한다. 다만, 용제의 살포량이 너무 많으면 가스가 밖으로 배출되지 못해 기공 발생 우려가 있고, 너무 적으면 아크가 노출되어 용접부를 보호할 수 없어 비드가 거칠고 기공이 생길 수 있음에 유의한다.

[표 5-17] 용제의 종류

소결형(sintered flux)	용융형(fused flux)
<ul style="list-style-type: none"> 광물성 원료 및 합금 분말을 규산나트륨과 같은 점결제를 원료가 용융되지 않을 정도의 저온 상태에서 소정의 입도로 소결하여 만들었다. 착색이 가능하여 식별할 수 있으나 흡습성이 강해 장기 보관 때 변질의 우려가 있다. Fe-Si, Fe-Mn, 망간철 등을 함유시켜 직접 탈산 작용이 가능하다. 기계적 강도를 요구하는 곳에 합금제 첨가가 쉬워 사용되나 비드 외관은 용융형에 비해 거칠다. 용융형보다 비교적 넓은 재질에 응용 사용되고 있다. 용융형보다 슬래그 박리성이 좋고 미분 발생이 거의 없다. 다층 용접에는 적합하지 못하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 외관은 유리 형상의 형태로 광택을 가진다. 흡습성이 적어 보관이 편리하다. 화학 성분에 따라 미국 LINDE사의 상표 G20, G50, G80 등으로 표시 용제에 합금 첨가제가 거의 들어가지 않아 용접 후 원하는 기계적 성질에 따라 적당한 와이어를 선정하여야 한다. 입자는 입도로 표시(20 × 200, 20 × D : 20 메시(mesh)에서 200메시까지, 20메시 미분까지 포함) 입자가 가늘수록 고전류를 사용하며, 용입이 얇고 비드 폭이 넓은 평활한 비드를 얻을 수 있다. 전류가 낮을 때는 굵은 입자를, 전류가 높을 때는 가는 입자를 사용한다.

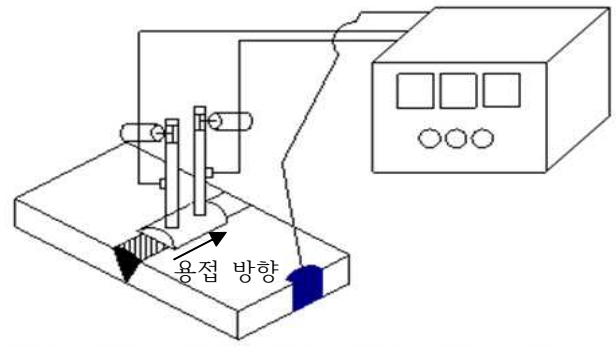
혼성형 용제(bonded flux)는 용융형과 소결형을 혼성된 것이다.

31) NCS 분류번호 : 서브머지드아크용접 재료준비 (1601050503_14v1)

라. 전극 서브머지드 아크 용접 종류³²⁾

1) 텐덤식

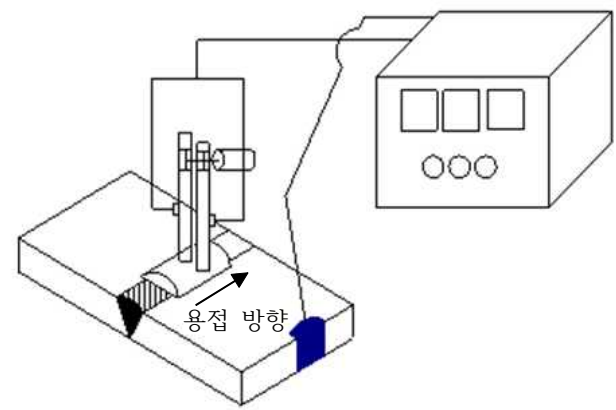
- (가) 2개의 전극을 독립 전원에 접속한다.
- (나) 용접선에 따라 전극의 간격을 10~30mm 정도로 하여 2개의 전극 와이어를 동시에 녹게 하다.
- (다) 비드 폭이 좁고 용입이 깊고, 용접 속도가 빠르다.
- (라) 전원이 다른 2개의 장비를 각각 제어해야 하므로 조정이 번거로운 단점이 있다.
- (마) 전원의 조합은 교류와 직류, 교류와 교류가 좋으며 직류와 직류는 자기 불림 현상이 생기므로 사용하지 않는다.
- (바) 파이프라인 용접에 사용



[그림 5-25] 텐덤식

2) 횡 병렬식

- (가) 2개 이상의 용접봉을 나란히 옆으로 배열한다.
- (나) 한 종류의 전원(직류와 직류, 교류와 교류)으로 용접하는 방법이다
- (다) 용입은 중간 정도이며 비드 폭이 넓어진다.
- (라) 비교적 흠이 크거나 아래 보기 자세로 큰 필릿 용접을 할 때 사용한다.

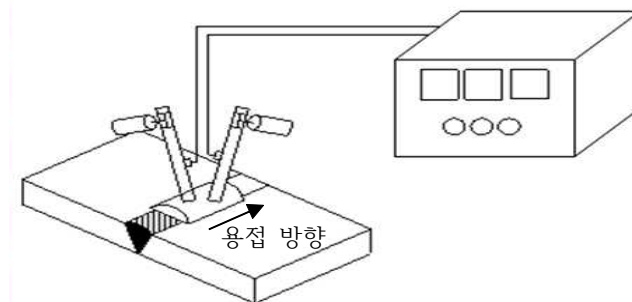


[그림 5-26] 횡 병렬식

32) NCS 분류번호 : 다전극 서브머지드아크용접 예열 및 본용접작업 (1601050515_16v2)

3) 횡 직렬식

- (가) 2개의 용접봉 중심이 한 곳에 만나도록 배치한다.
- (나) 두 개의 와이어에 전류를 직렬로 연결하여 한쪽 전극 와이어에서 다른 쪽 전극 와이어로 전류가 흐르면 두 전극에서 아크가 발생하고 그 복사열에 의해 용접이 이루어진다.
- (다) 아크 복사열에 의해 용접한다.
- (라) 용입이 매우 얇다.
- (마) 자기 불림이 생길 수가 있다.
- (바) 스테인리스강 등의 덧붙이 용접에 흔히 사용한다.



[그림 5-27] 횡 직렬식

- 4) 용접비용 절감 및 생산성 향상을 위해 고능률의 용접이 요구된다. 와이어를 1개 사용하여 작업하게 되면 전류를 증가하면 용입이 증가된다. 그러나 다전극에서는 전류를 각각 분리하여 공급할 수 있어 고능률 용접이 가능하다. 예를 들어 텐덤식의 경우 언더컷이나 결함이 있는 비드를 발생하지 않는 상태로 용접 속도를 2~3배 높일 수 있다.

마. 서브머지드 아크 용접 조건

1) 용접 전류

서브머지드 아크 용접에서 전류를 증가하면 와이어의 용융량이 증가하여 용입이 증가한다. 일반적으로 와이어 지름에 따라 사용 가능한 전류가 결정되고 사용전류는 와이어의 용융 속도를 결정한다.

[표 5-18] 와이어 지름에 따른 전류 범위

와이어 지름(mm)	전류 범위(A)	와이어 지름(mm)	전류 범위(A)
1.2	150~500	4.0	400~900
2.4	300~600	4.8	500~1200
3.2	300~800	5.6	600~1300

※ 사용환경에 따라 달라질 수 있음.

2) 용접 전압

용접 전압은 용접 속도에 거의 영향을 주지 않지만 비드 모양에는 영향을 준다. 즉 아크 길이를 결정하는 변수로써 전압이 증가하면 아크 길이가 증가하면서 비드 폭이 넓어진다. 다른 조건이 일정하다고 할 때 용접 전압만을 높이면 비드 폭이 넓어지고 플럭스 소모량이 증대된다. 이로 인해 슬래그 박리성에 영향을 줄 수 있다.

3) 용접 속도

용접 속도는 용접 입열량과 관계가 있다. 즉 용접 속도가 빨라지면 입열량이 감소하고 단위 길이당 용융되는 와이어의 양이 적어지므로 비드 크기 또한 감소한다.

4) 와이어 돌출길이

와이어 돌출길이가 증가하면 저항열이 증가하여 용착 속도가 증가한다. 일반적으로 서브머지드 아크 용접에서 와이어의 돌출길이는 와이어 지름의 8배 정도가 적당하다.

5) 용제 살포량

용제 살포량이 많아지면 아크가 깊이 묻히게 되어 비드 표면이 거칠어지고 용접 중 발생하는 가스의 배출이 원활하지 않아 용융금속에 기공 등의 용접결함을 일으키는 원인이 된다. 반대로 용제 살포량이 너무 적으며 아크가 새어 나와 스패터가 발생할 수 있으며, 공기 중에 질소, 산소 등에 영향으로 기공 등이 또한 발생할 수 있다.

6) 와이어 지름

와이어 지름이 크게 되면 전류 밀도가 낮아져 용입이 감소하며, 반대로 지름이 작아지게 되면 단위 면적당 흐르는 전류가 커져 전류 밀도는 높아지므로 용입이 깊게 된다.

(가) 일반적으로 와이어 지름에 따른 사용전류 값은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 전류} = \text{와이어 지름} \times (100 \sim 200)$$

(나) 와이어 종류는 맨 용접봉과 플럭스 코드 용접봉과 비슷한 형태로 공급된다.

(다) 크기는 1.2 ~ 12.7mm가 있으며 보통은 2.4 ~ 7.9mm가 사용된다. 또한, 무게에 따라 12.5kg(S), 25kg(M), 75kg(L)이 있다.

(라) 와이어에 동을 도금하는 이유는 팁이나 콘택트 조의 전기적 접촉 양호 및 녹스는 것을 방지하며, 공급 롤러와 접촉을 원활하게 하기 위해서이다.

(마) 와이어의 표기 방법은 다음과 같다.

• E M 6 K
 E: 전극의 첫 자
 M: 중망간(L: 저망간, H: 고망간)
 6: 탄소 함유량(0.06%)
 K: 원소재의 탈산 처리 유무)

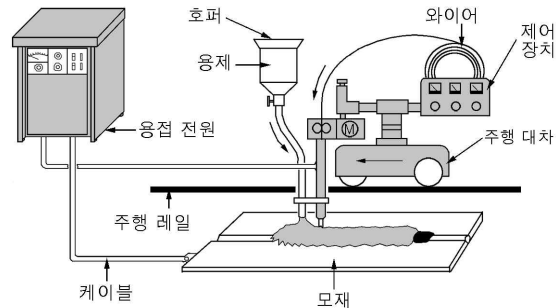
바. 서브머지드 아크 용접 작업

1) 용접 장치³³⁾

용접용 와이어를 공급하는 공급 모터의 공급 롤러에 의해 연속적으로 공급되면서 콘택트 팁에서 전류를 공급받아 용접될 수 있도록 구성되어 있다.

(가) 용접용 와이어 공급 장치, 콘택트 팁, 제어 장치, 용제 호퍼를 일괄하여 용접 헤드라고 한다.

(나) 용접 헤드는 용접선과 평행하게 놓인 안내 레일 위에 주행 대차에 실려 이동하면서 용접을 진행한다.



[그림 5-28] 서브머지드 아크 용접장치

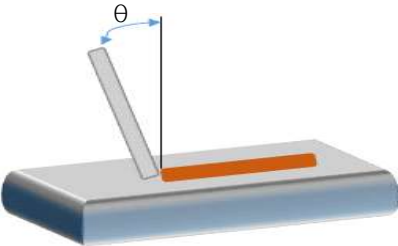
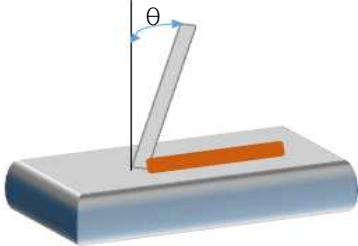
참고

서브머지드 아크 용접기에서 아크 길이를 항상 일정하게 유지하기 위한 장치는 전압 제어 상자이며 원리는 아크 길이가 길어지면 높은 전압이 방전관의 그리드에 전해지고, 출력 측의 고전압이 나타나며 와이어의 공급 전동기의 전압이 높아져 회전이 빨라지면서 아크 길이가 짧아진다. 반대로 길이가 짧아지면 공급 전동기의 전압이 낮아져 회전이 늦어져 아크 길이가 길어진다. 이러한 반복으로 아크 길이를 일정하게 유지할 수 있다.

2) 용접 방법

와이어 각도를 용접 진행 방향에 따라 눕혀진 것을 전진법이라고 하며, 반대로 눕혀진 것을 후진법이라고 한다.

[표 5-19] 전진법과 후진법

전진법	후진법
<ul style="list-style-type: none"> · 용융금속이 아크보다 선행하여 모재 면에 아크가 직접 발생하지 않음 · 용입이 얇고 비드 폭이 넓고 편평함 · 언더컷 발생이 적음 · 고속 용접에 적합함 · 깊은 홈에는 슬래그가 앞지르게 되어 슬래그 섞임의 우려가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 용융금속을 밀어내므로 모재 위에 아크가 직접 발생함 · 용입이 깊고 비드 폭이 좁고 높음 · 홈이 깊이가 깊은 용입이 요구되는 사용
	

33) NCS 분류번호 : 단일전극 서브머지드아크용접 용접장비 준비 (1601050512_16v2)

3) 용제 살포

용제 두께는 양을 서서히 증가하면서 불빛이 새어 나오지 않도록 한다. 낮은 전류에서 굵은 입자, 높은 전류에서는 가는 입자의 용제를 각각 사용한다. 낮은 전류에서는 냉각 속도가 빠르므로 가는 입자를 가진 용제를 사용할 경우 용접할 때 발생하는 가스가 대기 중으로 방출되지 못해 기공이 발생할 수 있고, 반대로 높은 전류에서는 굵은 입자를 사용하면 대기로부터 용접부 보호가 불충분하게 되어 기공 및 표면 상태가 거칠어지고, 언더컷 등이 발생할 수 있다.

4) 점화방법

스틸 울 사용(steel wool), 탄소봉 점화, 전극봉 점화, 통전 방식 점화, 용접 금속에 의한 점화, 고주파 점화 등이 있다.

참고

스틸 울(steel wool)의 아크 스타트를 원활히 하고자, 용접 시점의 와이어 끝에 모재와 접촉한 상태에서 용접을 시작하며 철을 실처럼 가늘고 길게 깎아 만들어진 것으로 수세미 모양을 하고 있다. 스틸 울은 한번 사용할 때마다 조금씩 떼어내 공 모양으로 만든 다음 사용하며, 녹슨 스틸 울은 사용할 수 없어서 녹이 슬지 않는 스테인리스강으로 만들어진 것도 있다.

5) 서브머지드 아크 용접 순서³⁴⁾

다음과 같은 순서로 용접을 진행한다.



용접기의 전원을 ON 한다.



주행 대차 스위치를 자동운전으로 한다.



용제 조절 손잡이를 열어 용제가 나올 수 있도록 한다.



용접 조건을 설정한다. 전압, 주행 대차 속도 조절을 한다.



와이어 상하 조절 위치를 작동하여 아크 길이를 맞춘다.



스 조건 설정이 마친 후 운행정행 대차 이동 버튼을 동시에 ON한다.



운행 중에는 와이어가 용접이 끝나면 주행 위치를 작동하여 아크 용접 시작 버튼을 정지하고



확 대차 버튼을 정지하고 다음에 바로 용접 시작 버튼을 OFF 한다.



용접한 결과이다.



사용한 용제를 청소기 흡입구를 용제에 가까이 하여 흡입한다.



작업이 끝나면 시작의 역순으로 전원을 차단



한다.

[그림 5-29] 서브머지드 아크 용접 순서

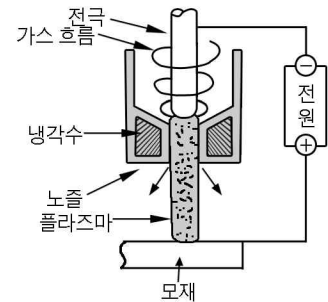
34) NCS 분류번호 : 단일전극 서브머지드아크용접 예열 및 본용접작업 (1601050514_16v2)

4. 플라스마 아크 용접

가. 플라스마 아크 용접의 원리

가스 분자가 전기적 에너지에 의하여 양이온과 음이온(전자)으로 유리되어 전류를 통할 수 있는 상태를 플라스마 상태라고 하는데 발생된 온도는 10,000 ~ 30,000℃ 정도이다.

일반 아크 용접에서도 아크 기둥은 플라스마 상태이다. 플라스마 아크 용접은 고속으로 분출되는 비이행형 아크(플라스마 제트)를 이용한 용접법으로서 GTAW 용접법의 특수한 형태라고 할 수 있다. 플라스마 용접에서는 보호가스 이외에도 플라스마 가스가 별도로 공급되고 있고, 텅스텐 전극봉은 수냉형 수축 노즐 내부에 위치한다.



[그림 5-30] 플라스마 발생 원리

플라스마 용접과 GTAW 용접에 가장 큰 차이점은 텅스텐 전극에 위치가 다르다는 데 있다. 플라스마 아크 용접은 수축 노즐 내에 있으나, TIG 용접은 노즐 밖에 노출되어 있다. 그러므로 TIG에서는 거리가 멀어지면 열을 받는 모재 부위가 넓어져 단위 면적당 용접 입열이 감소하나 플라스마는 아크의 집중성이 좋아 노즐과 모재 사이의 거리가 멀어져도 영향을 받지 않는다.

- 열적 펀치 효과: 냉각으로 인한 단면 수축으로 전류 밀도 증대
- 자기적 펀치 효과: 방전 전류에 의해 자장과 전류 작용으로 단면이 수축하여 전류 밀도 증대

나. 플라스마 아크 용접 장단점

플라스마 아크 용접의 장단점은 다음과 같다.

[표 5-20] 플라스마 아크 용접 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 아크 형태가 원통이고 지향성이 좋아 아크 길이가 변해도 용접부는 거의 영향을 받지 않는다. • 용입이 깊고 비드 폭이 좁으며 용접 속도가 빠르다. • V형 등으로 용접할 것도 I형으로 용접할 수 있으며, 1층 용접으로 완성할 수 있다. • 전극봉이 토치 내의 노즐 안쪽에 들어가 있으므로 모재에 부딪칠 염려가 없으므로 용접부에 텅스텐 오염의 염려가 없다. • 용접부의 기계적 성질이 우수하다. • 작업이 쉽다.(박판, 덧붙이, 납땜에도 이용되며 수동 용접도 쉽게 설계) 	<ul style="list-style-type: none"> • 설비비가 고가이다. • 용접 속도가 빨라 가스의 보호가 불충분하다. • 무부하 전압이 높다. • 모재 표면을 깨끗이 하지 않으면 플라스마 아크 상태가 변하여 용접부에 품질이 저하된다.

다. 사용 가스와 전원

1) 사용 가스

- (가) Ar: 아크 안정성이 우수, 하지만 용접부에 기공과 언더컷 결함을 수반할 수 있다.
- (나) H₂: 아르곤과 비교하면 열전도율이 크므로 열적 펀치 효과를 촉진하고 가스의 유출속도를 증대시킨다.
- (다) 모재에 따라 질소 또는 공기도 사용할 수 있다.
- (라) 일반적으로 플라스마 가스로써 아르곤을 사용하고, 보호 가스로는 아르곤에 수소(2~5%)를 사용하는 것이 일반적이다.

2) 전원

전원은 일반적으로 직류가 사용된다.

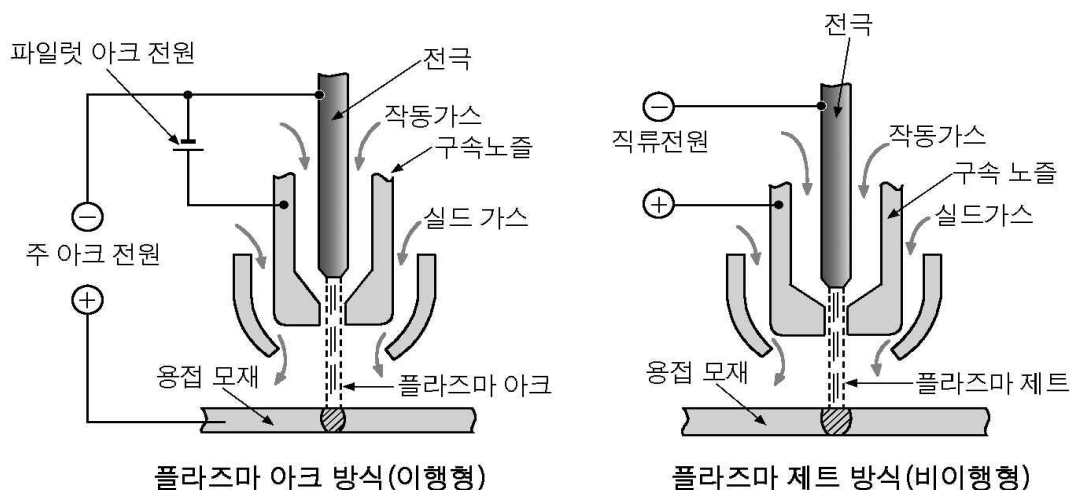
라. 플라스마 용접의 종류³⁵⁾

1) 플라스마 아크 용접(이행형)

텅스텐 전극에 (-)극, 모재에 (+)극을 연결하는 직류 정극성의 특성을 가지며, 모재가 전기 회로 일부이므로 반드시 전기 전도성을 가져야 하며 깊은 용입을 얻을 수 있다.

2) 플라스마 제트 용접(비이행형)

모재 대신에 수축 노즐에 (+)극을 연결하여 이행형과 비교하면 열효율이 낮고 수축 노즐이 과열될 우려가 있으나, 비전도체인 경우에도 적용할 수 있으므로 비금속의 용접이나 절단에 이용된다.



[그림 5-31] 플라스마 용접의 종류

35) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 재료준비 (1601050303_18v2)

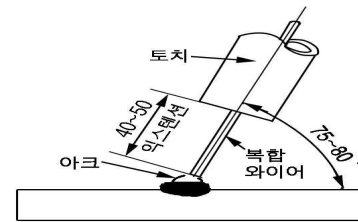
마. 용도

탄소강, 스테인리스강, 티타늄, 니켈합금, 구리 등에 적합하다.

5. 년 실드 아크 용접

가. 년 실드 아크 용접의 원리

옥외에서 사용할 수 있도록 용제(flux)가 첨가된 복합 와이어를 사용하여 용접을 진행한다.



나. 년 실드 아크 용접의 장단점

[그림 5-32]
년 실드 아크 용접

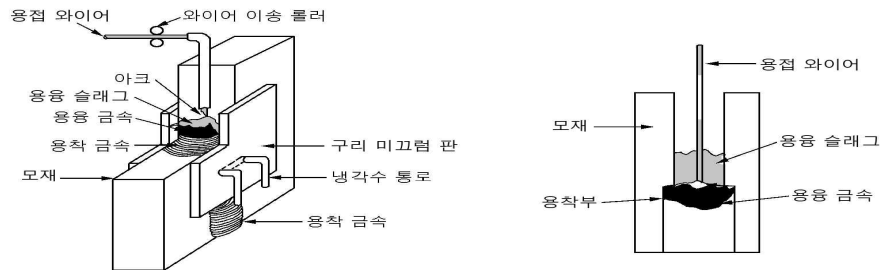
[표 5-21] 년 실드 아크 용접 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> · 보호 가스나 용제가 필요 없다. · 바람이 있는 옥외에서 사용할 수 있다. · 전원으로는 교류 및 직류를 모두 사용할 수 있다. · 전자세 용접이 가능하다. · 용접 비드가 아름답고 슬래그의 박리성이 우수하다. · 용접 장치가 간단하고 운반이 편리하다. · 아크를 중단하지 않고 연속 용접을 할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 용착금속에 기계적 성질이 다소 떨어진다. · 와이어 가격이 고가이다. · 아크 빛이 강하며, 보호 가스 발생이 많아 용접선이 잘 안 보인다.

6. 일렉트로 슬래그 용접(Electro Slag Welding, ESW)

가. 일렉트로 슬래그 용접의 원리

서브머지드 아크 용접에서와 같이 처음에는 플럭스 안에서 모재와 용접봉 사이에 아크가 발생하여 플럭스가 녹아서 액상의 슬래그가 되면 전류를 통하기 쉬운 도체의 성질을 갖게 되면서 아크는 꺼지고 와이어와 용융 슬래그 사이에 흐르는 전류의 저항 발열을 이용하는 자동용접법이다.



[그림 5-33] 일렉트로 슬래그 용접의 원리

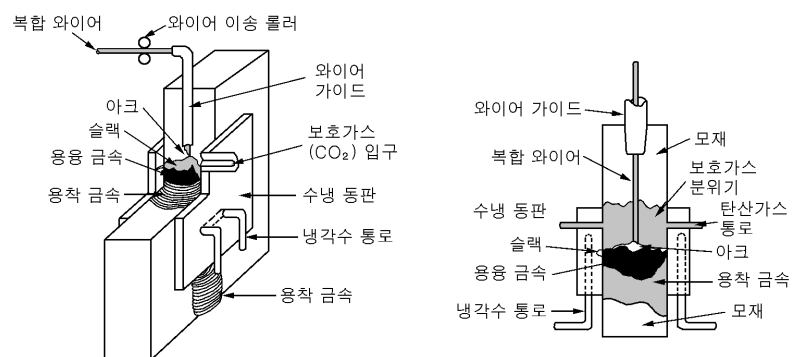
나. 일렉트로 슬래그 용접 특징

- 1) 전기 저항 열($Q = 0.24I^2Rt$)을 이용하여 용접(주울의 법칙 적용)한다.
- 2) 두꺼운 판의 용접법으로 적합하다.(단층으로 용접이 가능)
- 3) 매우 능률적이고 변형이 작다.
- 4) 홈 모양은 I형이기 때문에 홈 가공이 간단하다.
- 5) 변형이 적고, 능률적이고 경제적이다.
- 6) 아크가 보이지 않고 아크 불꽃이 없다.
- 7) 기계적 성질이 나쁘다.
- 8) 노치 취성이 크다.(냉각 속도가 늦기 때문에)
- 9) 가격이 고가이다.
- 10) 용접 시간과 비교하여 보면 준비 시간이 길다.
- 11) 용도로는 보일러 드럼, 압력 용기의 수직 또는 원주 이음, 대형 부품 로울 등에 후 판 용접에 쓰인다.

7. 일렉트로 가스 용접(Electro Gas Welding, EGW)

가. 일렉트로 가스 용접의 원리

엔클로스 용접이라고도 하는 일렉트로 가스 용접은 수직 자세의 맞대기 이음부를 CO₂ 중에서 미그 용접과 같은 방법을 적용하여 용접하는 미그 용접의 특수한 형태라고 말할 수 있다.



[그림 5-34] 일렉트로 가스 용접

일렉트로 슬래그 용접과 같이 수직 자동용접이나 플릭스를 사용하지 않고 실드 가스(탄산가스)를 사용하며, 용접봉과 모재 사이에 발생한 아크열에 의하여 모재를 용융 용접하는 방법으로 용융금속이 흘러 내지리 않도록 수냉 구리판을 설치한다.

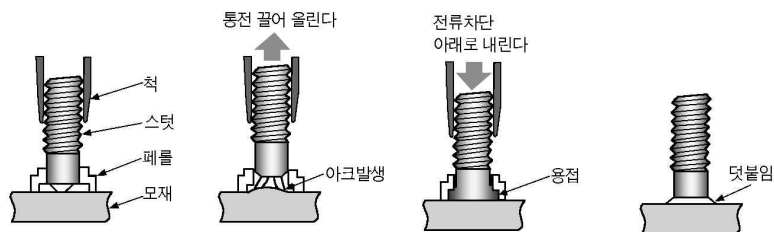
나. 일렉트로 가스 용접 특징

- 1) 일렉트로 슬래그 용접보다는 두께가 얇은 중후판(40 ~ 50mm)에 적당하다.
- 2) 용접 속도가 빠르고 용접 홈은 가스 절단 그대로 사용한다.
- 3) 용접 후 수축, 변형, 비틀림 등의 결함이 없으나 용접 금속의 인성은 떨어진다.
- 4) 용접 속도는 자동으로 조절된다.
- 5) 스파터 및 가스의 발생이 많고 용접 작업할 때 바람의 영향을 많이 받는다.
- 6) 정전압 특성의 직류 전원(역극성)이나 수하 특성의 교류전원도 사용된다.

8. 스테드 용접

가. 스테드 용접의 원리

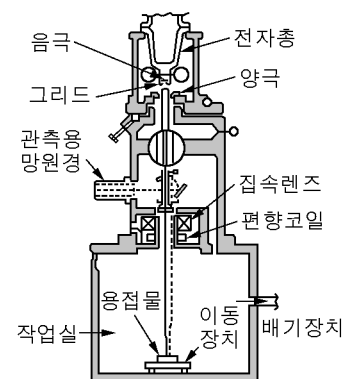
스테드 용접은 크게 저항 용접에 의한 것, 충격 용접에 의한 것, 아크 용접에 의한 것으로 구분되며, 아크 용접은 모재와 스테드 사이에 아크를 발생시켜 용접한다.



[그림 5-35] 넬슨식 아크 스테드 용접의 원리

나. 스테드 용접 특징

- 1) 1~2초 정도의 아크가 발생하는 자동 아크 용접이다.
- 2) 볼트, 환봉, 핀 등을 용접한다.
- 3) 셀렌 정류기의 직류 용접기를 사용한다. 교류도 사용할 수 있다.
- 4) 짧은 시간에 용접되므로 변형이 극히 작다.
- 5) 철강재 이외에 비철금속에도 쓸 수 있다.
- 6) 아크를 보호하고 집중하기 위하여 도기로 만든 폐물을 사용한다.



[그림 5-36]
전자 빔 용접

9. 전자 빔 용접

가. 전자 빔 용접의 원리

고진공 중에서 전자를 전자 코일로써 적당한 크기로 만들어 양극 전압에 의해 가속시켜 접합부에 충돌시켜 그 열로 용접하는 방법이다.

나. 전자 빔 용접의 특징

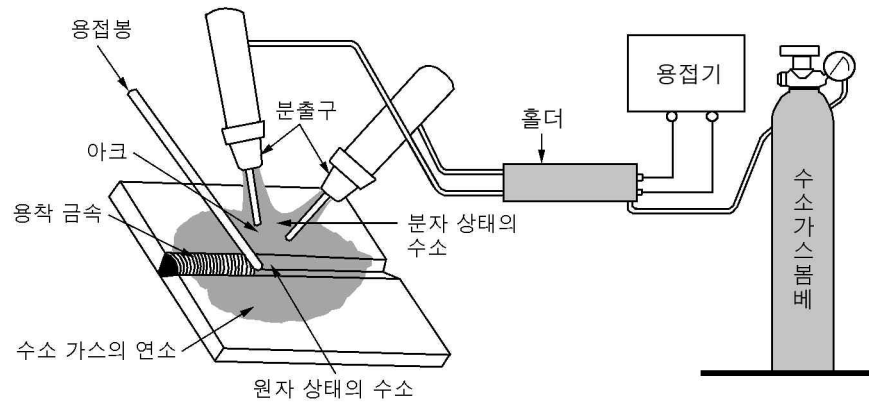
- 1) 용접부가 좁고 용입이 깊다.
- 2) 얇은 판에서 두꺼운 판까지 광범위한 용접이 가능하다. 특히 정밀제품 자동화에 좋다.
- 3) 고용용접 재료 또는 열전도율이 다른 이종 금속과의 용접이 쉽다.
- 4) 용접부가 대기의 해로운 원소가 차단되어 양호한 용접부를 얻을 수 있다.
- 5) 고속 용접이 가능하므로 열 영향부가 적고, 완성 치수에 정밀도가 높다.
- 6) 고진공형, 저진공형, 대기압형이 있다.
- 7) 저전압 대전류형, 고전압 소전류형이 있다.
- 8) 피용접물의 크기에 제한을 받으며 장치가 고가이다.
- 9) 용접부의 경화 현상이 일어나기 쉽다.
- 10) 배기 장치와 X선 방호가 필요하다.

10. 원자 수소 용접

가. 원자 수소 용접의 원리

수소 가스 분위기 중에서 2개의 텅스텐 용접봉 사이에 아크를 발생시키면 수소 분자는 아크의 고열을 흡수하여 원자 상태 수소로 열해리 되며, 다시 모재 표면에서 냉각되어 분자상태로 결합할 때 방출되는 열(3,000 ~ 4,000℃)을 이용하여 용접하는 방법이다.





[그림 5-37] 원자 수소 용접

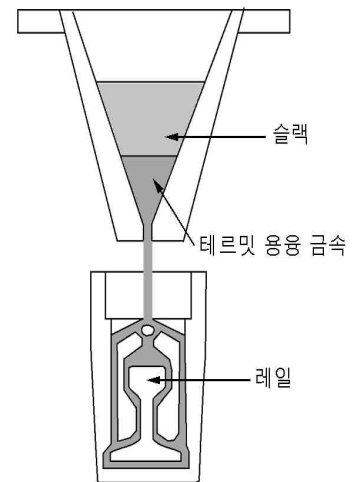
나. 원자 수소 용접의 특징

- 1) 용접부의 산화나 질화가 없으므로 특수 금속 용접이 쉽다.
- 2) 연성이 좋고 표면이 깨끗한 용접부를 얻는다.
- 3) 발열량이 많아 용접 속도가 빠르고 변형이 작다.
- 4) 기술적이 어려움이 있다.
- 5) 비용의 과다 등으로 차차 응용 범위가 줄어들고 있다.
- 6) 특수 금속(스테인리스강, 크롬, 니켈, 몰리브덴)에 이용한다.
- 7) 고속도강, 바이트 등 절삭공구의 제조에 사용

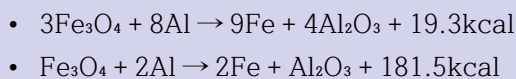
11. 테르밋 용접

가. 테르밋 용접의 원리

알루미늄 분말과 산화철 분말(FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4)을 1:3~4로 혼합한 것으로 테르밋 반응(화학 반응), 즉 산화철의 산소를 알루미늄이 빼앗아갈 때 일어나는 반응과 함께 발생된 열($2,800^\circ\text{C}$)을 이용하여 용접한다. 테르밋 반응을 위해 $1,000^\circ\text{C}$ 의 고온이 필요하므로 점화제로는 마그네슘과 과산화바륨이 사용되고 있다.



[그림 5-38] 테르밋 용접



나. 테르밋 용접의 특징

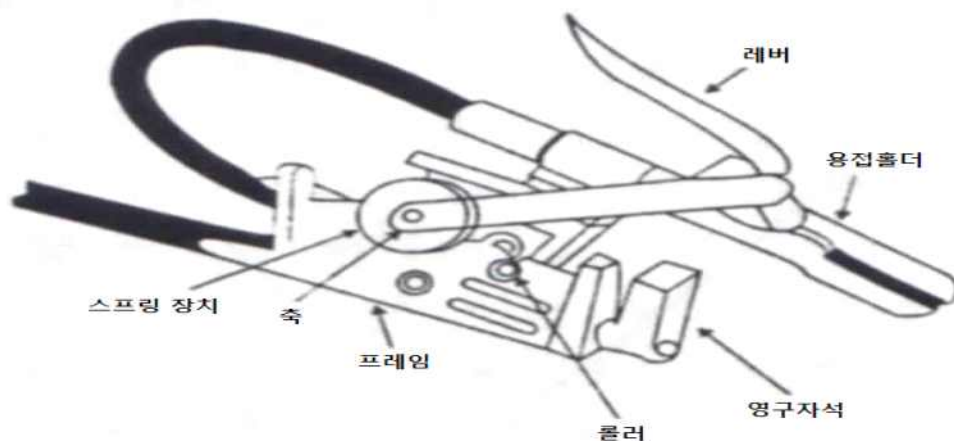
- 1) 용융 테르밋 용접과 가압 테르밋 용접이 있다.
- 2) 작업이 간단하고 기술습득이 쉽다.
- 3) 전력이 불필요하다.
- 4) 용접 시간이 짧고 용접 후의 변형도 적다.
- 5) 용도로는 철도 레일, 덧붙이 용접, 큰 단면의 주조, 단조품의 용접에 적합하다.

12. 그레비티 용접

그레비티 용접은 모재와 일정한 경사를 갖는 슬라이드바를 따라 용접 홀더가 하강하게 되어있다. 아크가 발생하면 용접봉은 점점 소모되면서 중력에 의하여 서서히 하강하기 때문에 자동적으로 용접이 진행된다. 구조가 복잡하여 사용법은 약간 어려우나 용입과 비드 외관이 양호하다.

13. 오토콘 용접

오토콘 용접은 영구 장치 및 스프링을 이용한 간단한 용접 장치를 사용하여 용접하는 방법으로서 고능률 및 수평 필릿 전용 용접법이다. 이 장치는 특수 스프링으로 홀더에 압력을 가하여 용접봉이 자동으로 모재에 밀착되도록 설계되어 있다. 용입은 약간 얕으나 구조가 간단하여 사용이 쉽고 비드 외관이 양호하다.



[그림 5-39] 오토콘 용접 장치의 구조

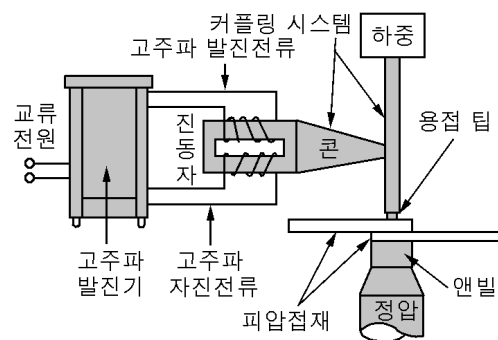
[표 5-22] 그래비티 용접과 오토콘 용접의 비교

비교 내용	그래비티 용접	오토콘 용접
장치	약간 복잡하고 부피가 크며 무거움	간단하며 부피가 작고 가벼움
사용법	약간 어려움	쉬움
운봉 속도	조절 가능	조절 불가능
용접 자세	아래보기 및 수평 필릿	아래보기 및 수평 필릿
모재 두께	제한 없음	제한 없음
용입	보통	약간 얇음

14. 초음파 용접

가. 초음파 용접의 원리

초음파(18kHz 이상)를 진동 에너지로 변환하여 접합 재료에 전달, 압축 공기 이용 가압 및 마찰에 의한 열로 접합하는 방법으로, 압접으로 이중 재료나 판재 두께는 0.01 ~ 2mm, 플라스틱류는 1 ~ 5mm 정도로 주로 얇은 판 용접에 이용된다.



[그림 5-40] 초음파 용접

나. 초음파 용접의 특징

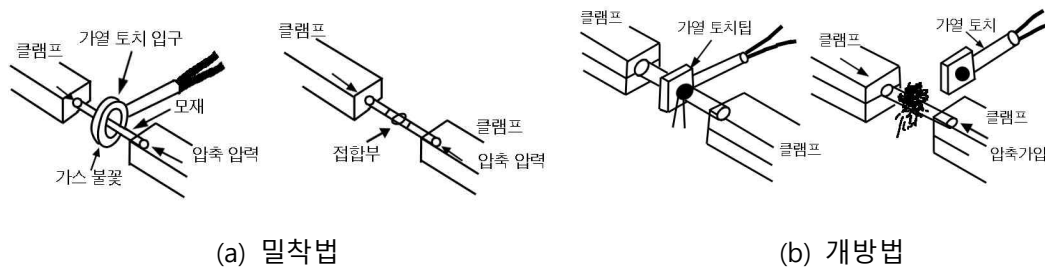
- 1) 냉간 압접에 비해 주어지는 압력이 낮아 변형이 작다.
- 2) 압연한 그대로의 용접이 된다.
- 3) 이중 금속의 용접도 가능하다.
- 4) 극히 얇은 판, 즉 필름도 쉽게 용접한다.

- 5) 판의 두께에 따라 용접 강도가 현저히 달라진다.
- 6) 용접 장치로는 초음파 발전기, 진동자, 진동 전달 기구, 압접 팁으로 구성된다.
- 7) 접합 재료의 종류 및 판의 두께에 따라 접합 조건이 달라지나 접합부의 외부 변형을 적게 한다는 의미에서 가급적 단시간으로 한다.

15. 가스 압접

가. 가스 압접의 원리

접합부를 가스 불꽃으로 재결정 온도 이상 가열하고 축 방향으로 가압하여 접합하는 방법이다.



[그림 5-41] 가스 압접의 방법

- 1) 밀착법은 용융시키지 않고 축 방향으로 압력을 가해 접합하므로 접합면의 상태가 큰 영향을 줄 수 있어 기계 가공으로 접합면에 부착된 각종 산화물 및 기타 용접을 방해할 오염물질을 제거한 후 압접한다.
- 2) 개방법은 밀착법과는 다르게 접합면을 용융시켜 압접하므로 접합면의 상태가 영향을 주지 않는다. 국부적으로 가열하기 때문에 열효율이 높다.

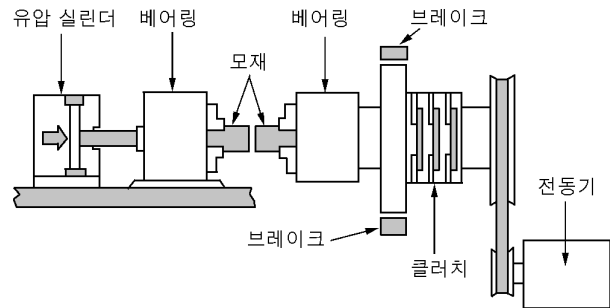
나. 가스 압접의 특징

- 1) 이음부에 탈탄층이 전혀 없다.
- 2) 전력 및 용접봉 용제가 필요 없다.
- 3) 장치가 간단하고 설비비 및 보수비가 싸다.
- 4) 작업이 거의 기계적이다.
- 5) 종류로는 밀착 맞대기 방법, 개방 맞대기 방법이 있다.

16. 마찰 용접

가. 마찰 용접의 원리

접합하고자 하는 재료를 접촉하고 하나는 고정하며 다른 하나를 가압, 회전하여 발생하는 마찰열로 적당한 온도가 되었을 때 접합한다.



나. 마찰 용접의 특징

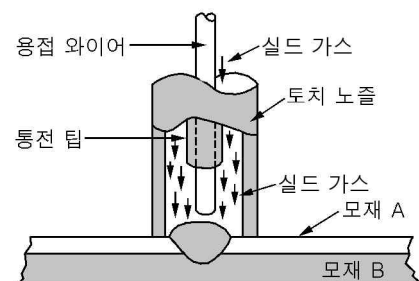
[그림 5-42] 마찰 용접

- 1) 컨벤셔널형과 플라이 휘일형이 있다.
 - (가) 컨벤셔널형: 한쪽 재료를 고속 회전시키고 나머지 다른 쪽을 일정한 압력으로 접촉해 접촉면에 마찰열을 발생시킨 후 압접 온도에 도달했을 때 회전을 정지하고 압력을 가하여 압접하는 방법이다.
 - (나) 플라이휠형: 한쪽 재료를 지지하는 회전축에 적당한 중량의 플라이휠을 붙여 고속 회전시켜 에너지를 주고, 다른 재료를 일정한 압력 하에서 접촉해 압접 온도까지 상승하면 플라이휠의 에너지를 방출시켜 없어지면 자연 정지되어 용접되는 방식이다.
- 2) 자동화가 쉬우며 숙련이 필요 없다.
- 3) 이종 금속 및 금속과 비금속의 용접도 가능하다.
- 4) 용접 시간이 짧고 능률적이며, 용제나 용접봉이 필요 없다.
- 5) 유해 가스의 발생이나 불꽃의 비산이 거의 없어 안전하다.
- 6) 용접부의 치수 정밀도가 높고, 전력 소비 또한 적다.
- 7) 접합 재료의 단면은 원형으로 제한한다.
- 8) 상대 운동을 해야 하는 것은 곤란하다.

17. 아크 점 용접

가. 아크 점 용접의 원리

아크의 높은 열과 집중성을 이용하여 접합부의 한쪽에서 0.5~5초 정도 아크를 발생시켜 융합하는 방법이다.



[그림 5-43] 아크 점 용접

나. 아크 점 용접의 특징

- 1) 1~3mm 정도 위판과 3.2~6mm 정도 아래판에 맞추어서 용접(6mm까지는 구멍을 뚫지 않고 시공 가능)한다.
- 2) 극히 얇은 판을 사용할 때는 용락을 방지하기 위하여 구리 받침쇠를 사용하여 용락을 방지한다.
- 3) 종류로는 불활성 가스 텅스텐 아크 점 용접법(비용극식)과, 용극식(불활성 가스 금속 아크 용접법, 이산화탄소 아크 용접, 피복 아크 용접)이 있다.

18. 단락이행 용접(short arc welding)

가. 단락이행 용접의 원리

불활성 가스 금속 아크 용접과 비슷하나 1초 동안 100회 이상 단락하여 아크 발생 시간이 짧고 모재의 열 입력도 적어진다.

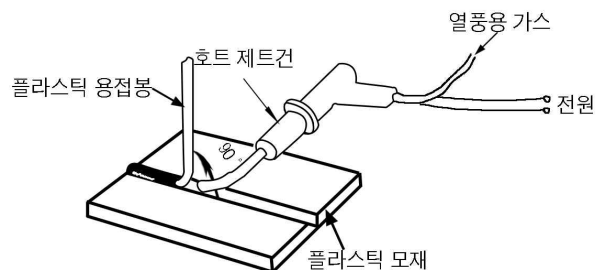
나. 단락이행 용접의 특징

- 1) 가는 솔리드 와이어를 이용한다.
- 2) 용적 이행은 스프레이형이다.
- 3) 0.8mm 정도 박판 용접에 이용한다.
- 4) 와이어 종류는 0.76mm, 0.89mm, 1.14mm 정도로 규소 - 망간계가 사용된다.

19. 플라스틱 용접

가. 플라스틱 용접의 원리

용접 방법으로는 열기구 용접, 마찰 용접, 열풍 용접, 고주파 용접 등을 이용할 수 있으나 열풍 용접이 주로 사용되고 있다.



[그림 5-44] 플라스틱 용접

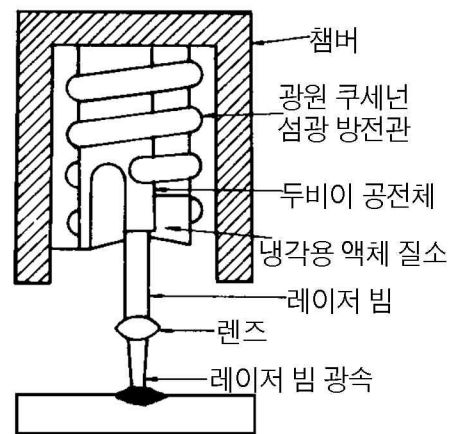
나. 플라스틱 용접의 특징

- 1) 전기 절연성이 좋다.
- 2) 가볍고 비강도가 크다.
- 3) 열가소성만 용접할 수 있다.

20. 레이저 빔 용접

가. 레이저 빔 용접의 원리

유도 방사에 의한 빛의 증폭이란 뜻으로, 레이저에서 얻어진 접속성이 강한 단색 광선으로 강렬한 에너지를 가지고 있으며, 이때의 광선 출력을 이용하여 접합한다.



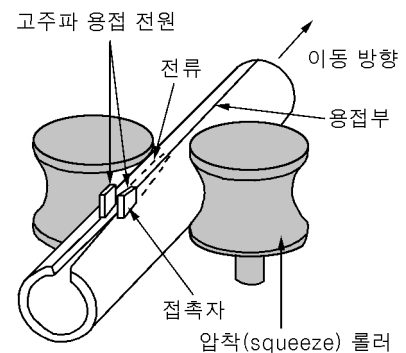
나. 레이저 빔 용접의 특징

- 1) 용접 장치는 고체 금속형, 가스 방전형, 반도체형이 있다.
- 2) 아르곤, 질소, 헬륨으로 냉각하여 레이저 효율을 높일 수 있다.
- 3) 원격 조작이 가능하고 육안으로 확인하면서 용접할 수 있다.
- 4) 에너지 밀도가 크고, 고융점을 가진 금속에 이용된다.
- 5) 정밀 용접도 가능하다.
- 6) 불량 도체 및 접근하기 곤란한 물체도 용접할 수 있다.

[그림 5-45] 레이저 빔 용접

21. 고주파 용접

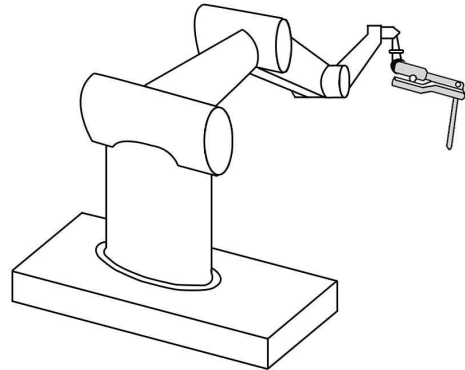
고주파 전류를 도체의 표면에 집중적으로 흐르는 성질인 표피 효과와 전류 방향이 반대인 경우는 서로 근접해서 생기는 성질인 근접 효과를 이용하여 용접부를 가열 용접하는 방법으로 고주파 유도 용접과 고주파 저항 용접이 있다.



[그림 5-46] 고주파 용접

22. 로봇 용접³⁶⁾

인간의 손작업을 대신하여 용접하는 것으로 크게 저항 용접용 로봇과 아크 용접용 로봇이 있으며, 직교 좌표형 및 다관절형이 있다. 로봇 용접은 사람이 하기에 위험한 작업이나 또는 단순 반복 작업 등에 이용되고 있으며, 원활히 사용하기 위해서는 포지셔너, 턴테이블, 센서, 주행 대차, 컨베이어 장치 등 주변 장치가 필요하다.



[그림 5-47] 로봇 용접

23. 전기 저항 용접

가. 전기 저항 용접의 개요

도체에 전류를 흐르게 하면 도체 내부의 전기 저항 때문에 열 손실을 일으킨다. 일반적인 전기 회로에서는 이와 같은 손실을 최소화하는 방향으로 기술을 발전시키고 있으나, 저항 용접은 오히려 발열 손실을 적극적으로 이용하는 용접 방법이다.

- 1) 용접물에 전류가 흐를 때 발생하는 저항 열로 접합부가 가열되었을 때 가압하여 접합한다.
- 2) 저항 용접의 3대 요소는 용접 전류, 통전 시간, 가압력이다.
 - (가) 용접 전류 : 저전압 대전류 방식으로 전압은 1~10V 정도이지만 전류는 수만 또는 수십만 암페어이다.
 - (나) 통전 시간 : 열전도가 큰 것은 대전류를 사용하여 통전 시간을 짧게 하고, 연강 등은 대전류를 사용하지 않고 통전 시간을 길게 한다.
 - (다) 가압력 : 모재와 모재, 전극과 모재 사이에 접촉 저항은 전극의 가압력이 클수록 작아진다.

나. 이음 형상에 따라 분류

- 1) 겹치기 저항 용접: 점 용접, 시임 용접, 프로젝션 용접
- 2) 맞대기 저항 용접: 엽셋 용접, 플래시 용접, 퍼커션 용접

36) NCS 분류번호 : 로봇용접 준비 (1601050603_13v1)

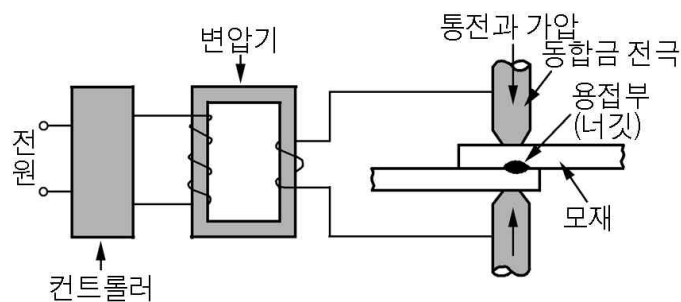
다. 전기 저항 용접의 특징

- 1) 용접사의 기능에 무관하다.
- 2) 용접 시간이 짧고 대량 생산에 적합하다.
- 3) 용접부가 깨끗하다.
- 4) 산화 작용 및 용접 변형이 작다.
- 5) 가압 효과로 조직이 치밀하다.
- 6) 설비가 복잡하고 가격이 비싸다.
- 7) 후열 처리가 필요하다.
- 8) 이종 금속의 접합은 가능하나 어렵다.

라. 전기 저항 용접의 종류

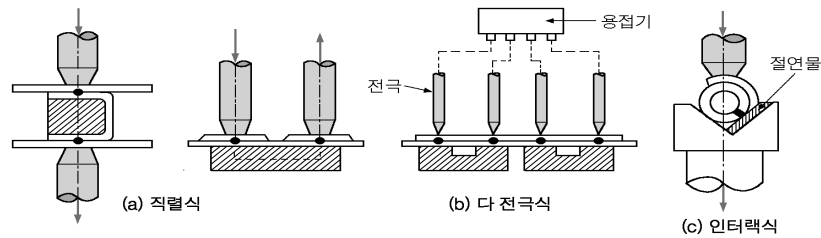
1) 점 용접

- (가) 열 영향부가 좁으며 돌기가 없다.
- (나) 박판 용접 및 대량 생산에 적합하다.
- (다) 바둑알 모양처럼 생긴 것을 너깃이라 한다.
- (라) 용융점이 높은 재료, 열전도가 큰 재료 및 전기적 저항이 작은 재료는 용접이 곤란하다.
- (마) 구멍을 가공할 필요가 없고 숙련이 필요하지 않다.



[그림 5-48] 전기 저항 점 용접

- (바) 과정 : 접촉 저항에 의한 온도 상승 → 접촉부의 변화, 변형 및 저항 감소 → 용융 → 용접부의 가압력에 의해서 용접부 생성
- (사) 종류: 단극식, 직렬식, 다전극식, 맥동, 인터랙 점 용접이 있다.



[그림 5-49] 점 용접법의 종류

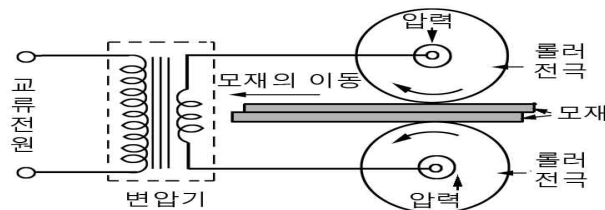
- (1) 단극식 : 전극 1쌍으로 한 개의 점 용접부를 만드는 방법
- (2) 직렬식 : 2개 이상의 용접점을 한 개의 전류회로를 이용하여 만드는 방법으로 전류 손실이 많고 용접부 표면이 불량할 우려가 있다.
- (3) 다전극식 : 2점 이상 다수의 점 용접을 행하는 것으로 작업의 향상 및 용접 변형 등을 방지할 수 있다.
- (4) 맥동식 : 모재의 두께가 다른 경우 또는 두꺼운 모재의 경우 열평형을 이루기 어려울 때 전극의 과열을 막기 위하여 전류를 사이클 단위로 단속하여 용접하는 방법이다.
- (5) 인터랙식 : 용접점의 부분에 직접 두 개의 전극이 닿지 않고 용접 전류가 피용접물 일부를 통하여 다른 곳으로 전달되어 용접하는 방식이다.

(아) 전극의 종류로는 R형, P형, F형, C형, E형 그 밖에 CF형, RF형, CR형 등이 있다.

- (1) R형 : 전극의 끝이 라운딩 되어 있으며, 용접부의 품질이 우수하고 F형보다 전류는 10%, 가압력은 5%를 줄일 수 있다.
- (2) P형 : R형 보다 용접부의 품질과 수명은 떨어지나 널리 사용되고 있다.
- (3) F형 : 표면이 평평하여 전극 측에 눌린 흔적이 거의 없이 사용 가능하다.
- (4) C형 : 원추형의 끝이 갈라지는 형으로 가장 널리 사용된다.
- (5) E형 : 앵글재와 같이 용접 위치가 나쁠 때, 보통 팁으로는 용접이 어려운 경우에 사용한다.

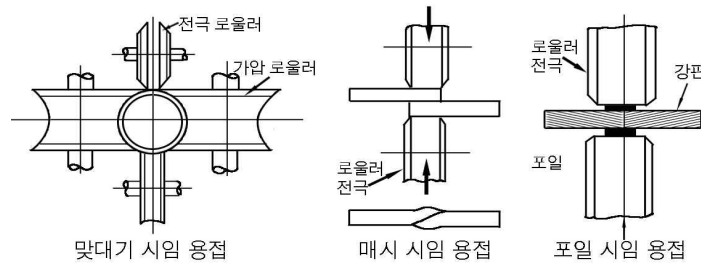
2) 시임 용접

(가) 점 용접보다 가압력은 1.2~1.6배, 용접 전류는 1.5~2.0배 증가한다.



[그림 5-50] 시임 용접

- (나) 단속 통전법, 연속 통전법, 맥동 통전법 등이 있다.
- (다) 이음 형상에 따라 원주 심, 세로 심이 있다.
- (라) 용접 방법에 따라 맞대기 시임, 매시 시임, 포일 시임, 롤러 시임이 있다.
- (1) 맞대기 시임: 판 끝을 맞대어 놓고 가압하여 통전을 두 개의 롤러 사이에 끼워서 시임 용접을 하는 방법
 - (2) 매시 시임: 이음부를 판 두께 정도로 겹치고 겹쳐진 판 전체를 롤러로 가압하여 시임 용접을 하는 것으로 1.2mm 이하 박판에 사용
 - (3) 포일 시임: 맞대어 놓은 모재에 같은 종류의 얇은 판인 포일을 대고 가압하여 시임 용접을 하는 방법으로 비교적 두꺼운 판의 용접이 가능
 - (4) 롤러 시임: 통전의 단속 간격을 길게 하여 롤러 전극을 이용하여 점 용접을 연속으로 하는 방법

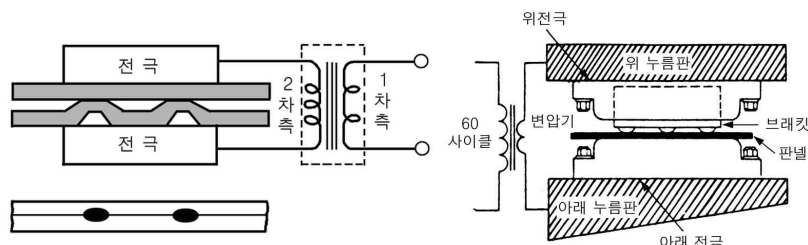


[그림 5-51] 시임 용접의 종류

(마) 가·수·유밀성을 요하는 0.2~4mm 정도 얇은 판에 이용된다.

3) 돌기 용접(프로젝션 용접)

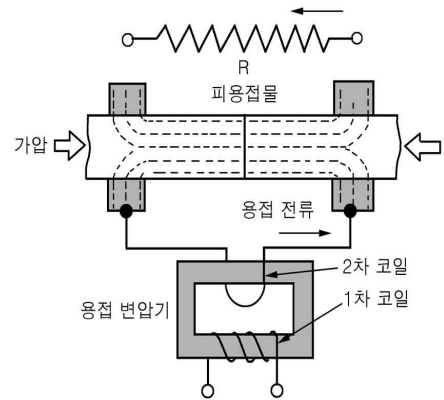
- (가) 접합재의 한쪽에 돌기를 만들어 압접 하는 방법이다.
- (나) 이종 금속판 두께가 다른 것의 용접이 가능하다.
- (다) 전극의 소모가 적다(수명이 길다. 작업 능률이 높다).
- (라) 용접 설비비가 비싸다.
- (마) 돌기의 정밀도가 높아야 한다.
- (바) 용접기 설비가 비싸다.
- (사) 돌기를 내는 쪽은 두꺼운 판, 열전도와 용융점이 높은 쪽에 만든다.
- (아) 돌기 지름은(판 두께 $\times 2 + 0.7$), 높이는(판 두께 $\times 0.4 + 0.25$)로 구한다.



[그림 5-52] 돌기 용접의 원리

4) 업셋 용접

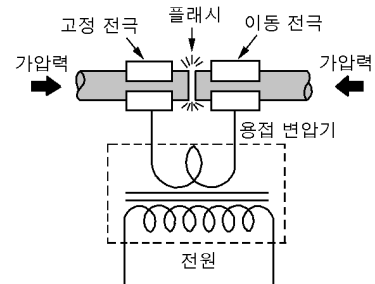
- (가) 용접재를 맞대어 가압하고 전류를 통하면 접촉 저항으로 발열되어 일정한 온도에 달했을 때 축 방향으로 강한 압력을 가해 접합한다.
- (나) 불꽃의 비산이 없다.
- (다) 플래시 용접에 비해 열영향부가 커진다.
- (라) 비대칭 단면적이 큰 것, 박판 등의 용접은 곤란하다.
- (마) 용접부의 접합 강도는 우수하다.
- (바) 용접부의 산화물이나 개재물이 밀려 나와 건전한 접합이 이루어진다.



[그림 5-53] 업셋 용접

5) 플래시 용접

- (가) 용접물에 간격을 두어 설치하고 전류를 통하여 발열 및 불꽃 비산을 지속시켜 접합면이 골고루 가열되었을 때 가압하여 접합하는 방법이다.
- (나) 예열 → 플래시 → 업셋 순으로 진행된다.
- (다) 열 영향부 및 가열 범위가 좁다.
- (라) 이음의 신뢰도가 높고 강도가 좋다.
- (마) 용접 시간, 소비 전력이 적다.
- (바) 용접면에 산화물의 개입이 적다.
- (사) 종류가 다른 재료의 용접이 가능하다.
- (아) 강재, 니켈, 니켈 합금 등에 적합하다.



[그림 5-54] 플래시 용접

6) 충격 용접(퍼커션 용접)

축전기에 축전된 전기에너지를 짧은 시간(1,000분의 1초 이내)에 방출시켜 금속 용접면에 매우 짧은 시간에 방전시켜 이때 발생된 열로 가압하여 접합한다.

제 6 장 용접의 자동화

1. 자동제어

어떤 목적의 상태 또는 결과를 얻기 위해 대상에 필요할 조작을 가하는 것을 말한다. 사람이 대상물을 직접 제어하는 수동제어와 사람 대신에 기기에 의하여 제어되는 자동제어가 있다.

[표 6-1] 자동화 시스템이 구성 5요소

자동화 시스템 구 성	세탁기 	인 간 	로 봇 	NC 공작기계 
메커니즘	세탁조 등	골격	매니플레이터	기계의 구조
액추에이터	모 터	근육	모 터, 실린더	서보 모터
파워 서플라이	전 기	내 장	전기, 펌프	전기
센 서	각종 센서 스위치	5개 감각기관	센서, 리밋스위치	센서 리밋스위치
컴퓨터	마이콤	두뇌	컴퓨터, PLC	컴퓨터, PLC

가. 신호와 제어

제어하고 싶은 내용을 정보라 하고 정보를 전달하는 것을 신호라 하고, 이때 사용되는 것으로는 전압, 전류, 온도 등이 있다. 제어계는 정성적 제어와 정량적 제어가 있으며, 정성적 제어는 디지털 신호라 하고 정량적 제어를 아날로그 신호로 한다.

[표 6-2] 자동제어의 종류

구 분	종 류	
정성적 제어	시퀀스(순차) 제어	유접점
		무접점
	프로그램 제어	PLC
정량적 제어	개방 회로 방식 제어	
	담임 회로 방식 제어	되먹임 제어

1) 시퀀스 제어

미리 정해 놓은 시간적 순서에 따라 제어하는 것으로 작업을 진행하는 도중 오차가 발생하여도 수정 불가능하다. 명령처리부, 조작부, 제어대상, 표시경보부, 검출부 등으로 구성되어 있다.

- (가) 유접점(릴레이) : 전기적 노이즈에 대해 안정적으로 동작하며, 개폐 용량이 크며 과부하에 잘 견딘다. 온도 특성이 양호하며 입력과 출력이 분기 가능하며 동작 상태의 확인이 쉽다. 하지만 소비 전력이 크고 동작 속도가 느리다. 또한, 접점의 마모, 진동, 충격 등에 약하며 소형화가 어렵다.
- (나) 무접점(논리게이트) : 소형이며 가볍고 동작 속도가 빠르다. 고감도 성능을 가지며 많은 사용에도 수명이 길고 열악한 환경에 잘 견디며 다수 입력 소수 출력에 적당하다. 하지만 전기적 노이즈 및 온도 변화에 약하며 신뢰성이 좋지 못하다. 또한, 별도의 전원 및 관련 회로가 필요하다.

2) 프로그램 제어(PLC: Programmable Logic Controller)

시퀀스 제어의 유접점 제어에서 무접점 제어로 변화면서 컴퓨터 기술이 접목된 것을 PLC에 의한 제어라고 한다. 이는 프로그램 변경만으로 회로의 수정이 가능한 장점이 있어 기존의 시퀀스 제어를 대신에 하고 있다.

[표 6-3] 프로그램 제어 방식의 종류

구분	시퀀스 제어	프로그램 제어(PLC)
제어 방식	하드 와이어드 로직	소프트 와이어드 로직
제어 기능	릴레이, 카운터, 타이머	CPU, 메모리, 연산장치
제어 특징	한정된 수명, 저속도 제어	높은 신뢰성, 고속도 제어
제어 변경	기기간 접속 변경 변경의 어려움, 제어반 재사용 불가	프로그램 변경 변경이 용이함, 제어반 재사용 가능

3) 되먹임(feedback) 제어

시퀀스 제어의 단점을 보완하기 위해 사용되는 것으로 오픈 방식(open loop control)과 클로즈드 방식(closed loop control), 하이브리드 방식(hybrid loop control)이 있는데, 이중 가장 간단한 것은 오픈 방식으로 제어 동작이 출력과 관계없이 신호의 통로가 열려 있는 제어 계통을 의미한다. 반면 클로즈드 방식은 오픈 루프보다 정확성이 증가하고 시스템의 특성 변화에 대한 입력 대 출력비의 감도가 감소하여 불안정한 상태로 되는 경향도 있을 수 있다.

나. 동제어의 장점

- 1) 연속 작업을 할 수 있고, 품질이 균일하고 우수한 제품을 생산할 수 있다.
- 2) 원자재 등을 절감할 수 있어 원가가 절감된다.

- 3) 인간이 불가능한 고속 작업 및 정밀 작업이 가능하다.
- 4) 인간에게 부정당한 환경에서 작업 가능하여 위험한 사고의 방지가 가능하다.
- 5) 투자 자본의 절약과 노력의 절감이 가능하다.

다. 용접 자동화의 필요성

작업자의 기능과 양심에 따라 용접부의 품질이 좌우되는 결점을 보완할 수 있다. 또한, 생산성 및 용접의 품질을 향상할 수 있다. 즉 생산과 동시에 품질을 검사할 수 있다. 용접 자동화의 장점은 다음과 같다.

- 1) 생산성이 증대되고 품질이 향상되며 원가가 절감된다.
- 2) 수동 용접보다 공정수를 절감할 수 있다.
- 3) 제어로 아크 길이, 전류값, 비드 높이와 폭, 용입 등을 정확히 제어할 수 있다.

2. 자동화 로봇 용접³⁷⁾

가. 로봇의 개요

로봇(robot)은 ‘일한다’라는 뜻의 체코어인 로보타(robota)로부터 어휘가 만들어졌다. 전통적으로 로봇이라 하면 산업현장에서 제조에 사용되는 산업용 로봇을 의미한다.

[표 6-4] 로봇의 정의

구 분	정 의
한국공학한림원	컴퓨터에 의하여 동작하는 장치 또는 센서를 통하여 인식한 정보를 컴퓨터를 통하여 제어하며, 의미를 전달하고 다수의 액추에이터를 이용하여 동작하는 기기나 장치
국제표준기구	3개 이상의 축이 있고, 자동제어에 의해 동작하며, 재 프로그래밍이 가능하고, 다목적 매니플레이션 기능을 가지는 기계

산업용 로봇은 자동차, 의료, 항공, 우주 등 모든 산업 부분에서 사용되고 있으며 특히 용접 분야에서 로봇이 많이 사용되고 있다.

나. 로봇 사용의 장단점

로봇을 사용하게 되면 다음과 같은 장단점이 있다.

37) NCS 분류번호 : 로봇용접 준비 (1601050603_13v1)

[표 6-5] 로봇 사용의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> • 노동환경을 개선할 수 있다. • 제품의 신뢰성을 높일 수 있다. • 단순 반복 작업 경우 생산량이 늘어난다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 투자비가 높다. • 미숙련자의 기술 습득을 막는다. • 인간 소외 문제가 발생할 수 있다.

1) 로봇의 종류

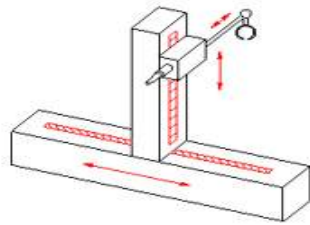
(가) 일반적 분류: 학습 제어 로봇, 시퀀스 로봇, 지능 로봇, 플레리 백 로봇, 조종 로봇, 수치 제어 로봇, 감각 제어 로봇, 적응 제어 로봇

- (1) 학습 제어 로봇: 학습 제어 기능을 가진 로봇으로 작업 경험 등을 반영시켜서 적정한 작업을 하는 제어 기능을 가진 로봇이다.
- (2) 시퀀스 로봇: 시퀀스란 순차적이라는 의미로 미리 설정된 정보 즉 순서, 조건, 위치 등을 동작의 간 단계를 차례대로 진행해 가는 로봇이다.
- (3) 지능 로봇: 인공 지능에 의해 인식 능력, 학습 능력, 환경 적응 능력 등을 인공적으로 실현해 작업에 응용하는 로봇이다.
- (4) 플레이 백 로봇: 사람이 로봇을 작동시킴으로써 순서, 조건, 위치 및 기타의 정보를 교시하고 그 정보에 따라 작업을 할 수 있는 로봇이다.
- (5) 조종 로봇: 로봇에 시킬 작업의 일부 또는 전부를 사람이 직접 조작하는 로봇이다.
- (6) 감각 제어 로봇: 감각 정보를 활용하여 동작을 제어하는 로봇이다.
- (7) 수치 제어 로봇: 로봇을 수치 언어 등으로 교시하여 그 정보에 따라 작업을 할 수 있는 로봇이다.
- (8) 적응 제어 로봇: 환경의 변화 등에 따라 제어 등의 특성에 필요한 조건을 만족 하도록 변화시키는 제어 기능을 가진 로봇이다.

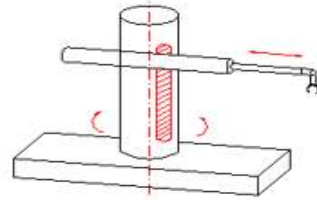
(나) 제어로부터의 로봇 : 서보 제어 로봇, 논 서보 제어 로봇, CP 제어 로봇, PTP 제어 로봇

- (1) 서보 제어 로봇: 서보 기구에 의해 제어되는 로봇이다.
- (2) 논 서보 제어 로봇: 서보 기구 이외의 수단에 의해 제어되는 로봇이다.
- (3) CP 제어 로봇: 전체 궤도 또는 전체 경로가 지정되어 제어되는 로봇이다.
- (4) PTP 제어 로봇: 경로상의 통과점이 몇 개씩 뛰어넘어 지정되어 제어되는 로봇이다.

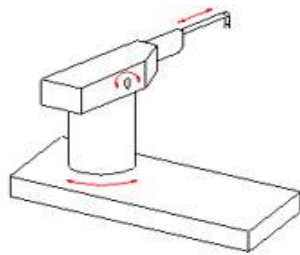
(다) 동작 방법에 따른 분류: 직각 좌표 로봇, 원통 좌표 로봇, 극좌표 로봇, 관절 로봇



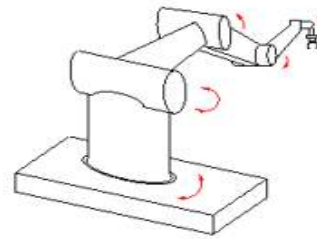
(a) 직각 좌표 로봇



(b) 원통 좌표 로봇



(c) 극좌표 로봇



(d) 다관절 로봇

[그림 6-1] 동작 방법에 따른 로봇 분류

2) 로봇의 구성

구동부, 제어부, 검출부, 동력원으로 구성되어 있다.

(가) 작업 기능(구동부): 동작 기능, 구속 기능, 이동 기능

(나) 제어 기능(제어부): 동작 제어 기능, 교시 기능

(다) 계측 인식 기능(검출부): 계측 기능, 인식 기능

참고

머니플레이터(Manipulator): 인간의 팔과 유사한 동작을 제공하는 기계적인 장치로 관절의 움직임을 자유도라 부르며 산업용 로봇은 4~6의 자유도를 갖는다.

3) 동력원: 전기, 유압, 공압이 있다. 이 중 가장 큰 힘이 생기는 것은 유압식이며 그다음으로 전기식, 공압식의 순을 갖는다.

4) 액추에이터(Actuator)³⁸⁾

에너지를 기계적인 움직임으로 변환하는 기기다. 전기식 액추에이터는 서보 모터를 사용하여 소형화, 고성능화로 가장 많이 사용되며, 공압식 액추에이터는 단순한 정지-정지 운동에 사용되고, 유압식 액추에이터는 큰 동력이 필요할 때 사용되나 고가이고 정확도가 낮은 단점이 있다. 전기 기계식 액추에이터는 서보 모터, 스테핑 모

38) NCS 분류번호 : 로봇용접장비 세팅 (1601050604_13v1)

터, 펄스 모터, 솔레노이드, 타이밍 벨트 등이 대표적이다.

5) 제어기(Controller)

제어기는 로봇의 운동과 시퀀스를 총괄하는 통신과 정보처리 장치로 필요한 입력을 받아 로봇의 구동을 일치하도록 모터 혹은 액추에이터에 출력 신호를 보내는 것을 말한다. 제어 시스템은 비서보 시스템, 서보 시스템, 서보 제어 방식으로 구분한다.

6) 로봇의 경로 제어

(가) PTP(Point To Point) 경로 제어

작업 공간 내의 어떤 지점에서 다른 지점으로 움직이기 위해 사용되며 점용접, 조립, 연삭, 검사, 운반 등의 응용 사용되고 간단한 기계의 장착 및 탈착에 사용된다. 교시 펜던트 버튼을 눌러 제어 로봇을 프로그램한다.

(나) CP(Continuos-Path) 경로 제어

PTP 경로 제어보다 더 많은 지점이 필요하고 그 경로는 호, 원 또는 직선을 가질 수 있어 매끄러운 경로를 만들 수 있다. 로봇 팔의 그리퍼에 의하여 프로그램되며 프로그래머가 머니플레이터를 움직이는 정확한 경로와 속도를 기억하여야 한다.

(다) 교시 방법

플레이 백 방식 로봇, 지능 로봇 등 다양하게 분류되며 전동식에 의한 플레이 백 로봇 방식이 가장 일반적으로 사용된다. 이는 작업자가 머니플레이터를 움직여 미리 작업의 순서, 위치 및 이외의 정보를 기억시키고 그것을 재생시켜 그 작업을 반복하게 된다. 즉 로봇은 교시를 받아 기억하고 재생하는 순서로 동작하게 되는 것이다.

(라) 로봇의 센서

센서는 외부 정보를 인식하여 컨트롤러에 전달하여 제어할 수 있도록 돕는 것으로 크게 아크 용접에 사용되는 센서는 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 또한, 프로그램으로 되어있어 정밀하지 못하나 가격이 저렴한 소프트웨어적 센서와 추적이 정확하나 고가이고 일반적으로 비접촉식 센서인 하드웨어적 센서가 있다.

다. 아크 용접 로봇의 종류

아크 용접 로봇은 로봇, 제어부, 아크 발생 장치(용접 전원), 용접물 구동장치인 포지셔너, 제어를 위한 각종 센서, 이동장치인 갠트리, 컬럼, 트랙, 작업자를 위한 안전장치와 지그 등으로 구성되어 있다.

1) 용접 전원

아크 용접 로봇은 자동화 용접과 같아 용접기의 아크 전압 안정화가 중요하다.

2) 포지셔너

용접물을 고정하여 작업을 원활히 수행하게 도와주는 포지셔너는 직선형과 회전형

이 있다.

(가) 용접 자세를 최적화할 수 있다.

(나) 로봇 손목에 의해 제어되는 각의 변화를 줄일 수 있다.

(다) 용접의 접근성을 향상할 수 있다.

(라) 로봇의 작업 영역 한계를 확장할 수 있다.

3) 트랙

로봇을 단일 방향으로 이동하는 트랙 위에 올려놓고 이동함으로써 작업 공간을 확대할 수 있다.

4) 갠트리

철 구조물에 로봇이 매달린 형상으로 용접을 하는 기구이다. 칼럼이나 트랙보다 용접물의 크기에 제한을 받지 않는다.

5) 칼럼

수직과 수평 방향으로 이동하여 효율적인 배치가 가능하다. 고정형, 이동형, 회전형, 이동 및 회전 겸용이 있다.

라. 아크 용접 로봇의 프로그래밍

1) 프로그래밍 방법 : 티치 펜던트 방법, 작업자에 의한 직접 티칭 방법, 로봇 언어에 의한 프로그래밍, 시뮬레이터에 의한 프로그래밍

2) 용접용 로봇의 사용 분야

(가) GMAW(Gas Metal Arc Welding CO₂, MIG, MAG)

(나) GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)

(다) LBW(Laser Beam Welding)

제 7 장 각종 금속의 용접

1. 탄소강 용접³⁹⁾

가. 탄소강의 개요

철과 탄소의 합금으로 0.05~2.1%의 탄소를 함유한 강을 말한다. 탄소강의 성질은 함유된 성분, 열처리 또는 가공방법에 따라 다르나 표준상태에서는 주로 탄소의 함량에 크게 영향을 받는다.

나. 탄소강의 성질

1) 물리적 성질과 화학적 성질

- (가) 탄소강의 물리적 성질은 순철과 시멘타이트의 혼합물로서 그 근사값을 알 수 있으며, 탄소 함유량에 따라 변한다.
- (나) 비중과 선팽창 계수는 탄소의 함유량이 증가함에 따라 감소
- (다) 비열, 전기 저항, 보자력 등은 탄소의 함유량이 증가함에 따라 증가
- (라) 내식성은 탄소의 함유량이 증가할수록 저하
- (마) 시멘타이트 자신은 페라이트보다 내식성이 우수하나 페라이트와 시멘타이트가 공존하게 되면 시멘타이트는 페라이트의 부식을 촉진한다.
- (바) 탄소강에 0.15 ~ 0.25% 정도의 구리를 첨가하면 내식성이 개선된다.
- (사) 탄소강은 알칼리에는 거의 부식되지 않으나 산에는 약하다. 탄소량이 0.2% 이하의 탄소강은 산에 대한 내식성이 있으나 그 이상의 탄소강은 탄소가 많을수록 내식성이 저하된다.

2) 기계적 성질

- (가) 아공석강에서는 탄소 함유량이 많을수록 경도와 강도가 증가하지만, 연신율과 충격 값은 매우 낮아진다.
- (나) 과공석강에서는 망상의 시멘타이트가 생겨 변형이 잘 안 되며, 경도 또한 증가된다. 하지만 강도는 오히려 급속히 감소한다.

다. 탄소강의 종류

- 1) 저탄소강: 탄소량이 0.3% 이하의 강으로 가공성이 우수하고 단점은 양호하다. 하지만 열처리가 불량하다. 극연강, 연강, 반연강이 있다.

39) NCS 분류번호 : 피복아크용접 재료준비 (1601050103_16v2)

- 2) 고탄소강: 탄소량이 0.3% 이상의 강으로 경도가 우수하고 열처리가 양호하다. 하지만 단점이 불량하다. 반경강, 경강, 최경강이 있다.
- 3) 기계 구조용 탄소 강재: 0.08 ~ 0.23% 저탄소강, 일반 기계 부품으로 사용한다.
- 4) 탄소 공구강: 고탄소강(0.6 ~ 1.5%), 킬드강으로 제조한다.
- 5) 주강 : 수축률이 주철의 2배. 용점(1,600℃)이 높고 강도는 크나 유동성이 작다. 응력, 기포가 발생하여 조직이 역세므로 주조 후 풀림이 필요하다.
- 6) 쾌삭강: 강에 S, Zr, Pb, Ce 등을 첨가하여 절삭성을 향상한 강이다.
- 7) 침탄강: 표면에 C를 침투시켜 강인성과 내마멸성을 증가시킨 강이다.

[표 7-1] 탄소강의 성분 원소에 의한 영향

성분 원소	영 향
C	<ul style="list-style-type: none"> • 인장강도, 경도 항복점 증가 • 연신율, 충격값, 비중, 열전도도는 감소
Mn (0.2 ~ 0.8)	<ul style="list-style-type: none"> • 인장강도, 경도, 인성, 점성 증가, 연성 감소 • 주조성과 담금질성 향상, 고온 가공성 증가 • 황화철(FeS)의 생성을 막아 황의 해(적열 취성)를 제거하며 일반적으로 탈산제로 쓰임, 결정립의 성장 방해
Si 림드강 (0.1% 이하) 킬드강 (0.2 ~ 0.4)	<ul style="list-style-type: none"> • 인장강도, 탄성한도, 경도 증가 • 주조성(유동성) 증가하지만 단점성은 저하함 • 연신율, 충격 값 저하함 • 결정립 조대화, 냉간 가공성 및 용접성 저하함 • 탈산제
S 쾌삭강 (0.08 ~ 0.35%)	<ul style="list-style-type: none"> • 인성, 변형률, 충격치가 저하하며 용접성을 저하함 • 고온 가공성을 해침, 적열 취성 원인 • 일반적인 강에서는 0.03% 이하로 제한 • 0.25% 정도 첨가하여 절삭성을 향상
P 공구강 (0.025% 이하)	<ul style="list-style-type: none"> • 연신율 감소, 균열 발생, 충격값 저하, 청열 취성 원인 • 결정립을 거칠게 하며 냉간 가공성 저하
H	<ul style="list-style-type: none"> • 헤어 크랙 및 은점의 원인, 내부 균열의 원인
Cu	<ul style="list-style-type: none"> • 부식 저항 증가(내식성 향상), 압연할 때 균열 발생

라. 탄소강의 용접 방법

- 1) 저탄소강은 용접 균열의 발생이 적고 용접이 쉽다. 일반적으로 판 두께 25mm까지는 예열이 필요하지 않다.
- 2) 중탄소강의 경우 탄소량이 증가함에 따라 저온 균열이 발생할 수 있어 100~200℃의 예열을 하여야 하고 탄소량이 0.4% 이상이면 후열 처리도 필요하다. 일반적으로 저수소계 용접봉을 사용한다.
- 3) 고탄소강은 탄소량이 0.5% 이상이어서 용접부가 경화되어 균열이 발생하기 쉬워 용접이 어렵다. 따라서 200℃ 이상의 예열 처리와 650℃ 이상으로 후열 처리를 하여야

한다. 일반적으로 저수소계 용접봉을 사용하거나 강도가 문제가 안 될 때 오스테나이트계 용접봉을 사용할 수도 있다. 균열을 방지하기 위하여 전류는 낮게 하고, 용접 속도는 느리게 하며, 용접 후 신속히 풀림 처리를 한다.

- 4) 저합금 고장력강은 연강에 합금 원소를 첨가한 것으로 일명 하이텐실이라고 부르며 연강보다 항복점 높은 인장강도를 가지고 있어 교량, 압력 용기 등에 사용되고 있다. 고장력강은 저수계 용접봉을 사용하며 아크 길이는 가능한 한 짧게, 위빙 폭은 용접봉 지름의 3배 이내로 하며, 비드 시작점에서 기공 발생의 위험이 있으므로 용접 시작점보다 20~30mm 앞에서 아크를 발생하여 아크열에 의한 예열 후 용접 시작점으로 후퇴하여 시작점부터 용접한다. 필요한 경우 엔드탭을 사용하기도 한다.

2. 주철의 용접

가. 주철의 개요

주철의 탄소 함유량은 2.0~6.68%의 강으로, 실용적 주철의 탄소 함유량은 2.5~4.5%의 강이다. 철강보다 용융점(1,150~1,350℃)이 낮아 복잡한 것이라도 주조하기 쉽고 또 값이 싸기 때문에 일반 기계 부품과 몸체 등의 재료로 널리 쓰인다. 비중은 7.1~7.3으로 흑연이 많아질수록 낮아진다. 일반적으로 전·연성이 작고 가공이 안 된다.

나. 주철의 장단점

주철은 다음과 같은 장단점을 가진다.

[표 7-2] 주철의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> · 용융점이 낮고 유동성(주조성)이 좋다. · 마찰 저항성이 우수하다. · 내식성이 있다. · 가격이 저렴하며 절삭 가공이 된다. · 압축강도가 크다.(인장강도의 3~4배) 	<ul style="list-style-type: none"> · 인장강도와 충격값이 작다. · 상온에서 가단성 및 연성이 없다. · 용접이 곤란하다.

다. 주철의 성질

1) 물리적 성질

(가) 비중은 규소와 탄소가 많을수록 작아지며, 용융 온도는 낮아진다.

(나) 흑연편이 클수록 자기감응도가 나빠진다.

- (다) 투자율을 크게 하기 위해서는 화합 탄소를 적게 하고 유리 탄소를 균일하게 분포시킨다.
- (라) 규소와 니켈의 양이 증가할수록 고유 저항이 높아진다.

2) 화학적 성질

- (가) 염산, 질산 등의 산에는 약하나 알칼리에는 강하다.
- (나) 물에 대한 내식성이 매우 좋아 상수도용 관으로 사용한다. 하지만 물이 급속하게 충돌하는 곳에서는 주철은 심하게 침식된다.
- (다) 바닷물에 대해서는 비교적 내식성이 좋으나 파도 등의 충격을 받으면 침식이 쉽게 일어난다.

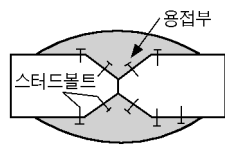
3) 기계적 성질

- (가) 주철은 경도를 측정하여 그 값에 따라 재질을 판단할 수 있으며 주로 브리넬 경도(HB)로 사용한다. 페라이트가 많은 것은 HB = 80 ~ 120, 백주철의 경우에는 HB = 420 정도이다.
- (나) 주철은 깨지기 쉬운 큰 결점이 있다. 하지만 고급 주철은 어느 정도 충격에 견딜 수 있다. 저탄소, 저규소로 흑연량이 적고 유리 시멘타이트가 없는 주철은 다른 주철에 비하여 충격값이 크다.
- (다) 주철의 기계적 성질은 탄소강과 같이 화학 성분만으로는 규정할 수가 없으므로, KS규격에서는 인장강도를 기준으로 분류하고 있으며, 회주철의 경우는 98 ~ 440MPa 범위이다. 하지만 탄소, 규소의 함유량과 주물 두께의 영향을 같이 나타내기 위하여 편의상 탄소 포화도를 사용하며 얇은 주물을 제외하고는 포화도 $Sc = 0.8 \sim 0.9$ 정도의 것이 가장 큰 인장강도를 갖는다.
- (라) 압축강도는 인장강도의 3 ~ 4배 정도이며, 보통 주철에서는 4배 정도이고 고급 주철일수록 그 비율은 작아진다.
- (마) 주철 조직 중 흑연이 윤활제 역할을 하고, 흑연 자신이 윤활유를 흡수, 보유하므로 내마멸성이 커진다. 크롬을 첨가하면 내마멸성이 증가한다.
- (바) 회주철에는 흑연의 존재로 진동을 받을 때 그 에너지를 속히 흡수하는 특성이 있으며, 이 성능을 감쇠능이라 한다. 회주철의 감쇠능은 대단히 양호하며 강의 5 ~ 10배에 달한다.

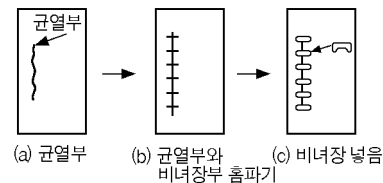
라. 주철의 용접

- 1) 수축이 크고 균열이 발생하기 쉽고 기포 발생이 많으며, 급열 급랭으로 용접부의 백선화로 절삭 가공이 곤란하다.
- 2) 일산화탄소 가스가 발생하여 용착금속에 기공이 생기기 쉽다.
- 3) 장시간 가열로 흑연이 조대화 된 경우 주철 속에 흙, 모래(내용 누락)
- 4) 예열 및 후열(500~550℃)을 한다.

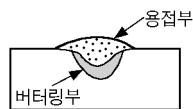
- 5) 붕사 15%, 탄산수소나트륨 70%, 탄산나트륨 15% 알루미늄 분말 소량의 혼합제가 널리 쓰인다.
- 6) 주철 용접의 보수 방법
 - (가) 스티드법: 스티드 볼트를 사용하여 보수하는 방법이다.
 - (나) 비너장법: 강봉을 박고 용접하는 방법이다.
 - (다) 버터링법: 모재와 용합이 잘되는 용접봉으로 적당히 용착하는 방법이다.
 - (라) 로킹법: 스티드 볼트 대신에 둥근 고랑을 파는 방법이다.



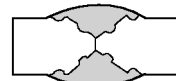
(a) 스티드법



(b) 비너장법



(c) 버터링법



(d) 로킹법

[그림 7-1] 주철 보수용접의 종류

- 7) 주철을 용접할 때 주의 사항
 - (가) 보수용접을 행하는 경우는 본바닥이 나타날 때까지 잘 깎아낸 후 용접한다.
 - (나) 파열의 끝에 작은 구멍을 뚫는다.
 - (다) 용접 전류는 필요 이상 높이지 말고, 직선 비드를 사용하며, 깊은 용입을 얻지 않는다.
 - (라) 될 수 있는 대로 가는 지름의 것을 사용한다.
 - (마) 비드 배치는 짧게 여러 번 한다.
 - (바) 피닝 작업을 하여 변형을 줄인다.
 - (사) 가스 용접을 할 때는 중성불꽃 및 탄화불꽃을 사용하며, 플럭스를 충분히 사용한다.
 - (아) 두꺼운 판에 경우에는 예열과 후열 후 서냉한다.

3. 스테인리스강의 용접⁴⁰⁾

가. 스테인리스강의 개요

철강의 녹스는 것을 방지하기 위하여 만들어진 내식성의 강의 말한다.

나. 스테인리스강의 종류

스테인리스강은 페라이트계, 마텐자이트계, 오스테나이트계로 구분할 수 있다.

[표 7-3] 스테인리스강의 종류

분 류	종류(성분 원소)	특 징
스테인리스강 (SUS)	페라이트계 (Cr 13%)	<ul style="list-style-type: none"> 강인성 및 내식성이 있다. 열처리로 경화가 가능하다. 용접은 가능하다. 자성체이다.
	마텐자이트계	<ul style="list-style-type: none"> 13Cr을 담금질하여 얻는다. 18Cr보다 강도가 좋다. 자경성이 있으며 자성체이다. 용접성이 불량하다.
	오스테나이트계 (Cr(18)-Ni(8))	<ul style="list-style-type: none"> 내식, 내산성이 13Cr 보다 우수 용접성이 SUS중 가장 우수 담금질로 경화되지 않는다. 비자성체

다. 스테인리스강의 용접

- 1) 0.8mm까지는 피복 아크 용접을 이용할 수 있다. 피복 아크 용접 때 탄소강보다 10 ~ 20% 낮은 전류를 사용한다. 전류는 직류 역극성이 주로 사용된다.
- 2) 불활성 가스 아크 용접이 주로 이용되며, 박판(0.4 ~ 0.8mm)은 TIG, 후판은 MIG용접으로 직류 역극성을 사용하여 용접한다.
- 3) 스테인리스강에 용접에서는 용입이 쉽게 이루어지도록 하는 것이 중요하다.

[표 7-4] 판 두께 및 자세에 따른 스테인리스강 용접봉 지름 및 전류

판 두께	자세(F)		자세(V 및 O)	
	용접봉 지름(mm)	전류(A)	용접봉 지름(mm)	전류(A)
1.5	2.0	40	2.6	35
3.0	3.2	90	3.2	65
4.0	4.0	125	3.2	80

40) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 재료준비 (1601050303_18v2)

- 4) 일반적으로 가장 큰 문제는 열영향, 산화, 질화, 탄소의 혼입 등이며, 특히 용융점이 높은 산화크롬의 생성을 피해야 한다.
- 5) 크롬 니켈 스테인리스강의 용접(18 - 8 스테인리스강)은 탄화물이 석출하여 입계 부식을 일으켜 용접 쇠약을 유발하므로 냉각 속도를 빠르게 하든지, 용접 후에 용체화 처리를 하는 것이 중요하다.

참고

용체화 처리(고용화 열처리) : 강의 합금 성분을 고용체로 용해하는 온도 이상으로 가열하고 충분한 시간 동안 유지한 다음 급랭하여 합금 성분의 석출을 저해함으로써 상온에서 고용체의 조직을 얻는 조작

라. 스테인리스강의 용접 방법

- 1) 페라이트계(13Cr) 스테인리스강의 용접
 - (가) 예열 온도는 200℃ 정도, 중간 온도는 80% 정도로 한다.
 - (나) 용접 중에는 그대로 유지하고 필요에 따라 용접 후 후열 처리를 하면서 서냉한다.
 - (다) 가능한 낮은 전류 및 가능 용접봉을 사용하여 용접 입열을 억제한다.
- 2) 마텐자이트계 스테인리스강의 용접
 - (가) 예열 온도는 200 ~ 400℃ 와 중간 온도의 유지가 필요하다.
 - (나) 용접 직후 냉각되기 전에 700 ~ 800℃ 로 가열 유지한 후에 공냉한다.
 - (다) 후열 처리가 어려운 경우 고급 스테인리스강 봉을 사용한다.
- 3) 오스테나이트(18Cr - 8Ni) 스테인리스강의 용접 때 주의 사항
 - (가) 예열하지 않는다.
 - (나) 중간 온도가 320℃ 이상을 넘어서는 안 된다.
 - (다) 용접봉은 모재와 같은 것을 사용하며, 될수록 가는 것을 사용한다.
 - (라) 낮은 전류치로 용접하여 용접 입열을 억제한다.
 - (마) 짧은 아크 길이를 유지한다.(길면 카바이드 석출)
 - (바) 크레이터를 처리한다.

4. 알루미늄과 그 합금의 용접

가. 알루미늄의 개요

알루미늄(Al)은 은백색을 띠며 전연성이 우수하여 가공하기 좋은 비철금속으로 비중은 가벼운데 강도가 좋아 다양한 용도에 사용되고 있다.

나. 알루미늄의 성질

1) 물리적 성질

- (가) 비중 2.7, 용융점 660℃으로 변태점이 없으며 색깔은 은백색이다.
- (나) 열 및 전기의 양도체로 전기 전도율은 구리의 60% 이상이므로 송전선으로 많이 사용한다. 전기 전도율을 감소시키는 불순물로 Si, Cu, Ti, Mn 등을 들 수 있다.

2) 화학적 성질

- (가) 알루미늄은 대기 중에서 쉽게 산화되지만 그 표면에 생기는 산화알루미늄(Al_2O_3)의 얇은 보호 피막으로 내부의 산화를 방지한다.
- (나) 내식성을 저하하는 불순물로는 구리, 철, 니켈 등이 있다.
- (다) 마그네슘과 망간 등은 내식성에 거의 영향을 끼치지 않는다.
- (라) 황산, 묽은 질산, 인산에는 침식되며 특히 염산에는 침식이 대단히 빨리 진행된다.
- (마) 80% 이상의 진한 질산에는 침식에 잘 견디며, 그 밖의 유기산에는 내식성이 좋아 화학 공업용으로 널리 쓰인다.

3) 기계적 성질

- (가) 전·연성이 풍부하며 400~500℃에서 연신율이 최대이다.
- (나) 풀림 온도 250~300℃이며 순수한 알루미늄은 주조가 안 된다.
- (다) 알루미늄은 순도가 높을수록 강도, 경도는 저하하지만, 철, 구리, 규소 등의 불순물 함유량에 따라 성질이 변한다.
- (라) 다른 금속에 비하여 냉간 또는 열간 가공성이 뛰어나므로 판, 원판, 리벳, 봉, 선 등으로 쉽게 소성 가공할 수 있다. 경도와 인장강도는 냉간 가공도의 증가에 따라 상승하나 연신율은 감소한다.

다. 알루미늄의 용접성

- 1) 열전도가 커서 단시간에 용접 온도를 높이는 데 높은 온도의 열원이 필요하다.
- 2) 용접 후 응고 수축이 강의 1.5배 정도로 커서 변형 및 균열이 생기기 쉽다.
- 3) 용융점은 660℃ 정도로 낮고, 액체로 가열 온도 판정이 곤란하여 지나친 용융이 되기 쉽다. 아울러 산화알루미늄은 2,050℃의 용융점을 가져 용접이 어렵다.
- 4) 알루미늄의 비중은 2.7로 알루미늄보다 비중 4.0보다 가벼워 알루미늄이 용융되어 표면으로 떠오르기 어렵다.
- 5) 용융 응고할 때 수소 가스를 흡수하여 기공이 발생하기 쉽다.

라. 알루미늄합금

알루미늄합금은 1000~7000계로 구분할 수 있다.

[표 7-5] 알루미늄 합금의 종류

종류	특징
1000계(순 Al계)	순도 99.0~99.9%의 고순도 알루미늄으로 기계적 강도는 다른 알루미늄합금보다 떨어지나 내식성, 전기 및 열 전도성이 우수하고 가공성도 좋으며 용접성도 우수하다.
2000계(Al-Cu)	Al-Cu계와 Al-Cu-Mg계로 나눌 수 있다. Al-Cu계는 내식성이 떨어지며 Al-Cu-Mg계는 시효성이 우수하다.
3000계(Al-Mn)	비열처리형으로 실용합금으로는 Mn을 1.0~1.5%를 함유한 것을 사용한다. 순 Al과 비교하면 가공성과 내식성은 비슷, 강도는 약간 높으며, 용접성도 양호하다.
4000계(Al-Si)	용접재료, 외장용 패널 재료 등으로 사용된다. Si 함유량이 12%까지는 Si량의 증가에 따라 용접성이 저하된다.
5000계(Al-Mg)	Mg을 첨가함에 따라 인장강도와 변형에 대한 저항성이 증가되지만 가공성은 떨어진다.
6000계(Al-Mg-Si)	강도, 내식성 및 가공성은 우수하고 용접성도 나쁘지 않다. 하지만 용접부가 용접열에 의해 연화되는 단점이 있다.
7000계(Al-Zn-Mg)	Zn을 주로 첨가하고 Mg은 소량 첨가한다. 용접성이 우수하여 용접 구조물에 사용된다. 또한 상온시효성이 우수하다.

마. 알루미늄 용접 방법⁴¹⁾

1) 가스 용접법

- (가) 아세틸렌 과잉불꽃을 사용하여 200~400℃의 예열을 한다.
- (나) 박판의 경우 스킵법을 사용하여 변형을 막는다.
- (다) 염화리튬 15%, 염화칼륨 45%, 염화나트륨 30%, 플루오린화칼륨 7%, 황산칼륨 3%의 용제를 사용한다.
- (라) 용접 속도는 될 수 있는 대로 빨리 진행한다.
- (마) 용접 후 2%의 질산 또는 10%의 더운 황산으로 씻은 후 물로 씻어낸다.
(또는 찬물이나 끓인 물을 사용하여 씻는다.)

2) 피복 아크 용접법

- (가) 직류 역극성을 사용한다.
- (나) 알루미늄, 알루미늄-규소, 알루미늄-망간계 용접봉을 사용한다.
- (다) 피복제 중 수분은 기공 발생의 원인이 되므로 200~500℃로 건조 후 사용한다.

3) 불활성 가스 아크 용접

- (가) 고주파 교류(ACHF)를 전원으로 주로 사용한다.
- (나) 아크 발생 때 고주파를 사용하게 되면 모재와의 텅스텐 전극과 모재의 접촉을 피할 수 있고, 열의 집중성이 좋아 능률적이고 예열이 필요하지 않다.

41) NCS 분류번호 : 가스텅스텐아크용접 비드쌓기 (1601050310_18v3)

5. 구리와 그 합금의 용접

가. 구리의 개요

구리(Cu)는 인류가 최초로 사용한 금속이라고 할 수 있다. 철과 비교하면 비중은 크기 때문에 무거우나 용융점이 낮고 가공성이 우수한 장점이 있어 과거부터 많이 사용되어 왔다.

나. 구리의 성질

1) 물리적 성질

- (가) 비자성체이며 전기와 열의 양도체이다. 은 다음으로 전도율이 우수하다. 하지만 열 전도율은 보통 금속 중에서 높다.
- (나) 인, 철, 규소, 비소, 안티몬, 주석 등은 전기 전도율을 현저히 저하시키나, 카드뮴은 전기 전도율을 저하하지 않으며 구리의 강도 및 내마멸성을 향상시킨다.
- (다) 비중은 8.96 용융점 1,083℃이며 변태점이 없다.

2) 화학적 성질

- (가) 철강 재료보다 내식성이 크다. 하지만 공기 중에 오래 버려두면 이산화탄소 및 수분 등의 작용에 따라 표면에 녹색의 염기성 탄산구리가 생기며, 이것은 인체에 대단히 유해하다. 탄산구리는 물에 녹지 않고 보호 피막의 역할을 하며, 부식률도 대단히 낮으므로 수도관, 물탱크, 열교환기, 선박 등에 널리 사용된다. 하지만 물속에 이산화탄소 및 산소의 양이 많아지면 탄산이 생겨서 보호 피막의 생성을 억제해 부식률이 높아진다.
- (나) 황산, 염산에 용해되며 습기, 탄산가스, 해수에 녹이 생긴다.
- (다) 수소병이란 환원 여림에 일종으로 산화구리를 환원성 분위기에서 과열하면 수소 가동 중에(확인 요망) 확산 침투하여 균열이 발생하는 것을 말한다.

3) 기계적 성질

- (가) 구리는 항복 강도가 낮으므로 상온에서 가공이 쉽지만, 가공 경화율은 다른 면심 입방 결정체보다 높은 편이다. 즉 소성 가공률이 높을수록 인장강도와 경도는 증가 하지만, 연신율 및 단면 수축률은 감소한다.
- (나) 경화 정도에 따라 경질(H) 연질(O)로 구분한다.
- (다) 인장강도는 가공도 70%에서 최대이며 600 ~ 700℃에서 30분간 풀림한다.

다. 구리합금

구리합금으로 대표적인 것이 황동(Cu + Zn)과 청동(Cu+Sn)이다. 황동의 경우 Zn의 함유량 30%에서 연신율이 최대이며, 40%에서는 인장강도가 최대이다. 또한, 7 : 3 황

동은 1,200℃, 6 : 4 황동은 1,100℃를 넘으면 아연이 비등하므로 용융시킬 때에 각별히 주의한다. 청동은 황동보다 주조성이 좋고 내식성과 내마멸성이 좋다. 주석의 4%에서 연신율이 최대, 15% 이상에서 강도와 경도가 급격히 증대한다.

라. 구리의 용접성

- 1) 열전도율이 연강의 8배 정도로 커서 국부적 가열이 어렵고 충분한 용입을 위해서는 예열이 필요하다. 더불어 열팽창 계수가 연강보다 50% 이상 커서 용접 후 응고 수축시 변형이 발생되기 쉽다.
- 2) 아연 증발로 인한 작업자의 중독을 일으킬 수 있다.
- 3) 가스 용접을 할 때 수분 발생으로 가동을 약화할 수 있다.
- 4) 순 구리의 경우 산소 이외의 남이 불순물로 존재하면 균열이 발생할 수 있다.

마. 구리 용접 방법⁴²⁾

1) 가스 용접법

- (가) 아세틸렌-산소 가스를 가장 많이 사용하며, 용접 전 예열 작업을 하고 용접 중에 발생하는 기공은 피닝 작업을 통해 제거한다.
- (나) 황동의 용접은 산화불꽃, 순수한 구리는 중성불꽃을 사용한다.
- (다) 봉사, 봉산, 플루오린화나트륨, 규산나트륨 등의 용제를 사용한다.

2) 피복 아크 용접법

- (가) 예열없이 작업이 불가능하고 슬래그 혼입 및 기공 발생 우려로 단순한 구조물의 경우만 일부 사용된다.
- (나) 직류 및 교류 모두 사용 가능하나 직류 역극성을 일반적으로 사용하고 예열 온도는 250℃, 충전 온도는 450~550℃ 정도로 한다.
- (다) 인 청동의 경우 열간 피닝 작업을 통해 조직을 미세화하여 인장강도와 연성을 증가시킨다. 알루미늄의 청동의 경우 직류 역극성 또는 교류를 사용한다.

3) 불활성 가스 아크 용접

- (가) 티그 용접은 판 두께 6mm 이하, 토륨이 함유된 텅스텐 전극봉을 사용하여 500℃ 정도 예열한다. 전원은 직류 정극성을 사용하며, 용접봉은 탈산된 구리봉을 사용한다.
- (나) 미그 용접은 판 두께 6mm 이상에서 사용하며 300~500℃로 예열한다. 구리, 규소, 청동, 알루미늄 청동의 용접에 적합하다.
- (다) 아르곤가스는 순도 99.8% 이상을 사용한다.

4) 구리합금의 용접 조건

- (가) 가접은 가능한 한 많이 하여 변형을 방지한다.

42) NCS 분류번호: 가스텅스텐아크용접 재료준비 (1601050303_18v2)

- (나) 구리에 비해 예열 온도는 낮아도 된다.
- (다) 비교적 큰 루트 간격과 용접 홈의 각도를 $60\sim 90^\circ$ 로 넓게 하고, 때에 따라 이면의 각도도 넓게 주고 백판을 사용한다. 아울러 용접봉은 모재 성분과 같은 것을 사용한다.
- (라) 황동, 알루미늄 청동, 규소 청동의 용제로 봉사를 많이 사용한다.
- (마) 긴 후판의 세로 이음은 양쪽에서 두 명의 용접사가 동시에 작업을 진행하는 때도 있다.

6. 티타늄과 그 합금의 용접

가. 티타늄의 개요

티타늄(Ti)은 타이타늄으로 불리기도 하며 다른 금속에 비해 해수, 암모니아 등에 대해 내식성이 매우 우수하다.

나. 티타늄의 특성

- 1) 비중이 4.51로서 마그네슘 및 알루미늄보다 크지만, 강의 약 60%이다.
- 2) 티타늄은 용점이 $1,670^\circ\text{C}$ 로 높고 고온에서 산소, 질소, 탄소와 반응하기 쉬워 용해 주조가 어렵다.
- 3) 전기 및 열의 전도성이 철보다 나쁘다.
- 4) 내식성은 스테인리스강이나 모넬 메탈처럼 뛰어나다.
- 5) 공기 중에서 700°C 이상으로 가열하면 취약해지고 전연성이 저하한다.
- 6) 기계적 성질에 영향을 강하게 받는 원소로는 철과 질소가 있으며 특히 철 함유량의 증가로 인장강도와 경도가 증가하지만 연신율이 감소한다.
- 7) 가공 경화성이 크므로 기계적 성질은 냉간 가공도에 따라 크게 변화한다. 다른 구조용 재료보다 비강도가 높고 특히 고온에서 비강도가 뛰어나다.

다. 티타늄계 합금의 특성

- 1) Mo, V : 내식성을 향상한다.
- 2) Al : 수소 함유량이 적게 되어 고온 강도를 높일 수 있다.
- 3) 티타늄합금은 티타늄보다 비강도가 높고, 다른 고강도 합금보다 고온 강도가 크기 때문에 제트 엔진의 축류, 압축기의 주위 온도 약 450°C 까지의 블레이드, 회전자 등에 사용된다.
- 4) 열처리된 티타늄합금의 항복비(내력/인장강도)가 0.9 ~ 0.95, 내구비(피로강도/인장강

도)가 0.55 ~ 0.6 정도의 큰 값을 나타낸다.

- 5) 티타늄합금은 고강도이고 열전도율이 낮으므로 절삭 온도가 높아지고, 공구 재료와 반응하기 쉬우므로 절삭 가공이 대단히 어렵다. 티타늄합금의 절삭에는 냉각 작용과 윤활 작용이 뛰어난 절삭액을 사용함이 바람직하다.

라. 티타늄의 용접 방법

- 1) 무게와 비교하면 강도가 큰 금속으로 초전도 재료, 형상 기억 합금, 군사용 무기, 각종 스포츠용품 등에 사용된다.
- 2) 용점이 1,670℃ 정도이며 고온에서 산화성이 강하여 열간 가공이나 용접이 어렵다.
- 3) 불활성 가스 아크 용접, 플라스마 아크 용접, 전자 빔 용접을 사용할 수 있다.
- 4) 불활성 가스 아크 용접 시 보호 가스 차폐에 신경을 써야 한다.

제 8 장 용접 설계

1. 용접도면 해독

가. 제도의 규격과 통칙

제도의 규격으로는 국제 규격, 국가 규격, 단체 규격, 사내 표준 등의 표준 규격이 있다.


- 1) 국제 규격: 국제적인 공동의 이익을 추구하기 위하여 여러 나라가 협의, 심의, 규정하여 국제적으로 적용하는 규격, 한국은 1963년 가입하였다.
- 2) 국가 규격: 한 국가의 모든 이해 관계자들이 협의, 심의, 규정하여 한 국가 내에서 적용하는 규격이다.

[표 8-1] 국제 규격과 국가 규격

국가 규격 명칭	규격기호	심볼
국제 표준화 기구 (International Organization for Standardization)	ISO	 International Organization for Standardization
한국 산업 규격 (Korea Industrial Standards)	KS	 Korea Standards Mark KS 마크
일본 공업 규격 (Japanese Industrial Standards)	BS	 J : Japan I : Industrial S : Standards
독일 규격 (Deutsches Industrie for Normung)	DIN	
미국 규격 (American National Standards Institute)	ANSI	 American National Standards Institute

- 3) 단체 규격: 사업자 또는 학회 등의 단체 내부 관계자들이 협의, 심의, 규정하여 단체 또는 그 구성원에 적용하는 규격이다.

[표 8-2] 단체규격

국가 규격 명칭	약어	심볼
대한용접. 접합학회 The Korean Welding and Joining Society	KWJS	
미국 용접협회 American Welding Society	AWS	
일본 용접협회 The Japan Welding Engineering Society	JWES	

4) 사내 규격

기업이나 공장에서 협의, 심의, 규정하여 해당 기업 또는 공장 내에서 적용하는 규격이다.

나. 도면의 종류

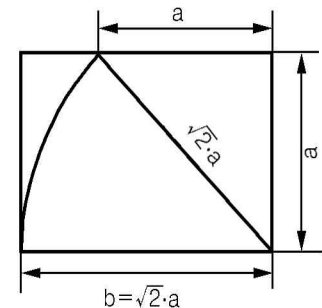
1) 사용 목적에 따른 분류

- (가) 계획도: 만들고자 하는 물품의 계획을 나타낸 도면
- (나) 주문도: 주문자의 요구 내용을 제작자에 제시하는 도면
- (다) 견적도: 제작자가 견적서에 첨부하여 주문품의 내용을 설명하는 도면
- (라) 승인도: 제작자가 주문자와 관계자의 검토를 거쳐 승인을 받은 도면
- (마) 제작도: 설계제품을 제작할 때 사용하는 도면(부품도, 조립도 등)
- (바) 설명도: 제품의 구조, 원리, 기능, 취급방법 등을 설명한 도면

다. 도면의 크기 알기

1) 도면의 크기

용지의 크기를 표시할 때 A 계열 또는 B 계열을 사용하는데 일반적으로 제도 용지의 크기는 A 계열을 사용한다. 세로(a)와 가로(b)의 비는 $1 : \sqrt{2}$ 이며 A0를 전지라 하며 넓이는 약 1m^2 이다.

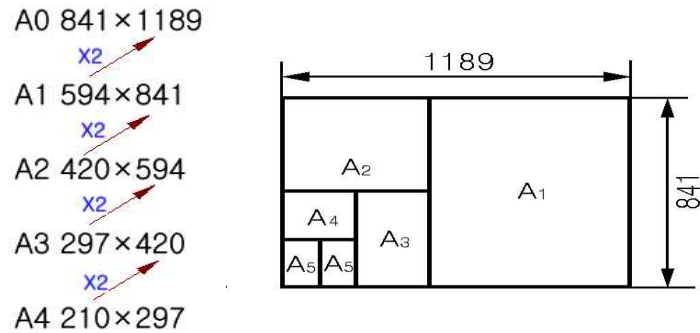


(가) 도면 용지의 규격

도면 용지의 크기에서 A0의 의미는 도면을 한 번도 접지 않았다고 생각하면 된다. 즉 전지가 되는 것이다. A1은 한번 접은 것이므로 전지가 둘로 나누어진 2절지가 된다. 즉 도면에서 크기 값을 계산하고자 할 때 긴 쪽을 접거나 작은 쪽을 펼치면 된다. 예를 들어 A3 용지의 경우 긴 쪽인 ‘420’을 접으면

[그림 8-1] 도면의 크기

‘210×297’ 이 되어 ‘A4’ 로 반대로 짧은 쪽인 ‘297’ 을 펼치면 ‘420×594’ 로 되어 ‘A2’ 용지가 된다.



[그림 8-2] 도면의 크기 이해하기

(나) 도면 접기

큰 도면을 접을 때는 A4 크기로 접으며, 표제란이 겹으로 나오도록 한다. 하지만 원도는 일반적으로 접어서 보관하지 않고 말아서 보관하며, 복사도 등은 접어서 보관한다.

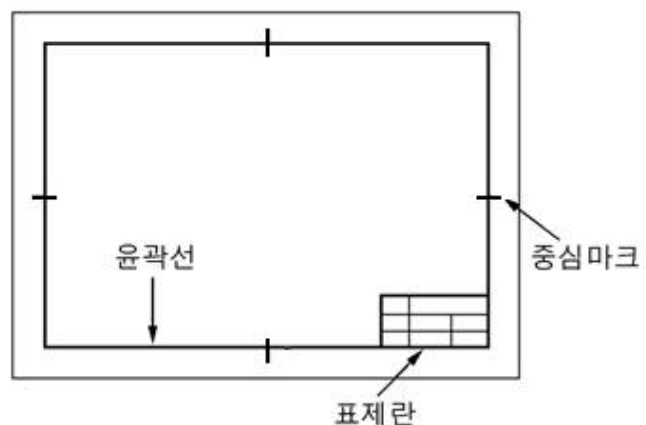
[표 8-3] 도면의 크기

도면의 크기	A0(전지)	A1(2절지)	A2(4절지)	A3(8절지)	A4(16절지)
a × b	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	297 × 210
c(최소)	20	20	10	10	10
d(철하지 않을 때)	20	20	10	10	10
d(철할 때)	25	25	25	25	25

(다) 도면의 양식

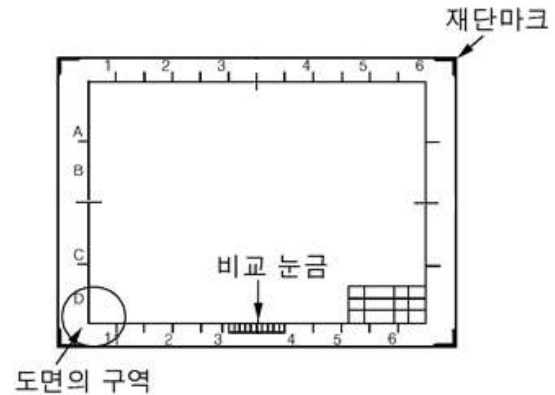
반드시 도면에 표시하여야 하는 양식은 윤곽선, 중심마크 및 표제란이다.

- (1) 윤곽선 : 도면에 그려야 할 내용의 영역을 명확히 하고, 제도 용지의 가장자리에 생기는 손상으로부터 기재 사항을 보호하기 위해 0.5mm 이상의 실선을 사용한다.



[그림 8-3] 반드시 도면에 그려야 할 양식

- (2) 중심마크: 도면의 사진 촬영 및 복사할 때 편의를 위해 사용하며 상하 좌우 중앙의 4개소에 표시한다.
- (3) 표제란 : 도면의 오른쪽 아래에 위치하며 도면 번호, 도명, 척도, 투상법 등을 기입한다.
- (4) 재단 마크 : 복사한 도면을 재단할 때의 편의를 위해 도면의 4 구석에 표시한다.
- (5) 도면의 구역 : 도면에서 특정 부분의 위치를 지시하는데 편리하도록 표시한다.
- (6) 비교 눈금 : 도면의 축소나 확대, 복사의 작업과 이들의 복사 도면을 취급할 때의 편의를 위하여 표시한다.



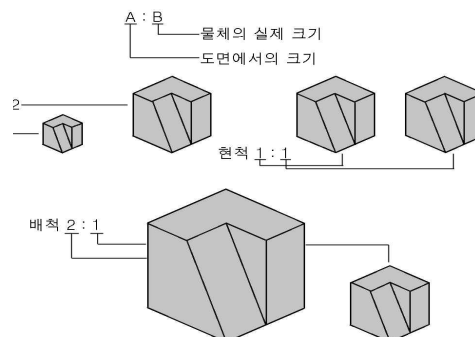
[그림 8-4] 필요시 그려야 할 양식

라. 척도의 기재

척도는 원도를 사용할 때 사용하는 것으로서 축소 확대한 복사도에는 적용하지 않는다. 그 종류로는 축척, 현척 및 배척이 있으며 그 구분은 분수를 생각하면 된다. 즉 1:2는 $\frac{1}{2}$ 이 되어 0.5로 줄이는 축척이며, 2:1은 $\frac{2}{1}$ 과 같이 2과 되어 2배로 확대하는 배척이 된다고 생각하면 된다.

[표 8-4] 척도의 종류

척도의 종류	값
축척	1 : 2, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20, 1 : 50, 1 : 100, 1 : 200, 1 : 500
현척	1 : 1
배척	2 : 1, 5 : 1, 10 : 1, 20 : 1, 50 : 1, (100 : 1)



[그림 8-5] 척도의 종류

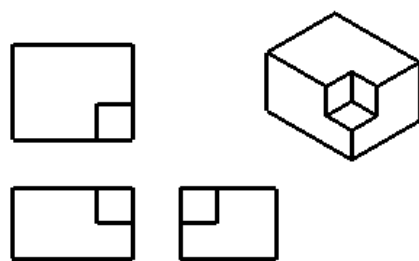
- 1) 척도의 기재: 표제란에 기재하는 것이 원칙이나 표제란이 없는 경우에도 도명이나 품번에 가까운 곳에 기재한다.
- 2) 척도를 따르지 않는 경우: 치수와 비례하지 않을 때 치수 밑에 밑줄을 긋거나 비례가 아님, 또는 NS(Not to Scale) 등의 문자를 기재한다.

마. 선의 종류와 용도

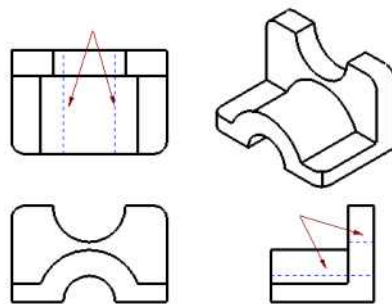
도면에서 사용되는 선은 굵기와 용도에 따라 구분한다. 즉 굵기는 가는 선, 굵은 선(가는 선의 2배 정도), 아주 굵은 선(가는 선의 4배 정도)으로 구분하며 용도에 따라 실선, 파선 및 쇄선으로 구분한다.

1) 선의 종류

- (가) 외형선 : 물체의 보이는 겉모양을 표시하는 선으로 굵은 실선을 사용한다.
- (나) (숨)은선 : 물체의 보이지 않는 부분의 모양을 표시하는 선으로 중간 굵기의 파선을 사용한다.

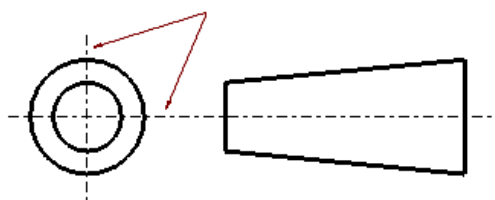


[그림 8-6] 외형선

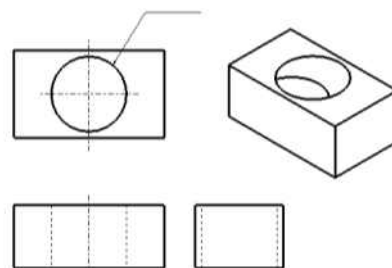


[그림 8-7] (숨)은선

- (다) 중심선 : 물체의 보이지 않는 부분의 모양을 표시하는 선으로 중간 굵기의 파선을 사용한다.
- (라) 지시선 : 지시하기 위하여 쓰이는 선으로 60° 각도로 가는 실선을 사용한다.

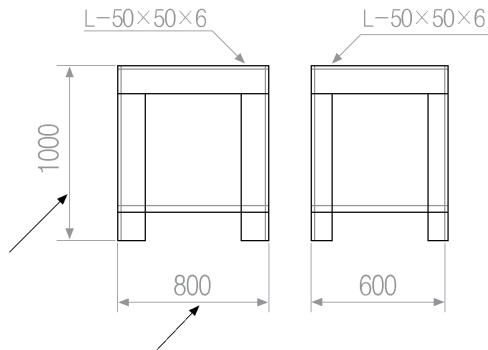


[그림 8-8] 중심선

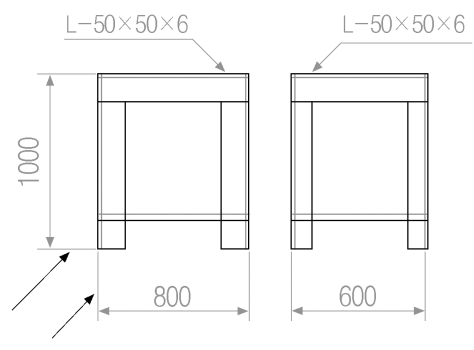


[그림 8-9] 지시선

- (마) 치수선 : 치수를 기재하기 위하여 사용되는 선으로 가는 실선을 사용한다.
- (바) 치수 보조선 : 치수를 기재하는 선을 보조하기 위해 사용되는 선으로 가는 실선을 사용한다.

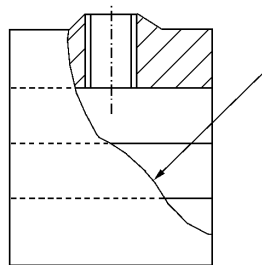


[그림 8-10] 치수선

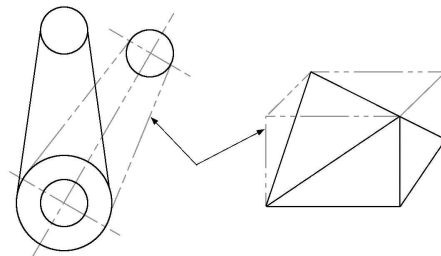


[그림 8-11] 치수 보조선

- (사) 파단선 : 물체 일부를 파단한 곳을 표시하는 선 또는 끊어낸 부분을 표시하는 선으로 가는 실선을 사용하여 불규칙하게 그린다.
- (아) 가상선 : 도식된 물체의 앞면을 표시하거나, 인접 부분을 참고로 표시할 때, 가공 전 또는 가공 후의 모양을 표시하는 경우에 사용된다. 더불어 이동하는 부분의 이동 위치를 표시하거나 공구, 지그 등의 위치를 참고로 표시할 때, 반복을 표시할 때 사용한다.

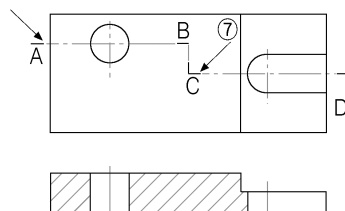


[그림 8-12] 파단선

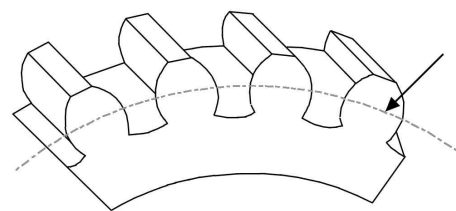


[그림 8-13] 가상선

- (자) 절단선 : 단면을 그리는 경우 그 절단 위치를 표시하는 선으로 가는 일점쇄선으로 하고 그 양끝 밑 굴곡부 등의 주요한 곳에는 굵은 실선으로 한다. 또 절단선 양끝에 투상의 방향을 표시하는 화살표를 붙인다.
- (차) 피치선 : 기어나 스포킷 등의 이 부분에 기재하는 피치원이나 피치선을 그릴 경우 가는 일점 쇄선을 사용한다.



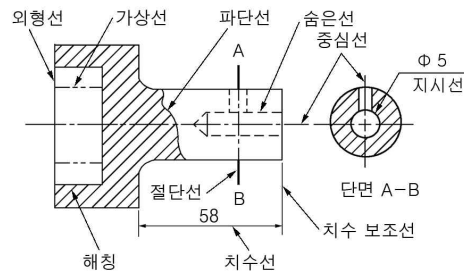
[그림 8-14] 절단선



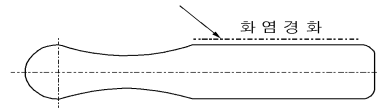
[그림 8-15] 피치선

- (카) 해칭선 : 절단 단면을 표시하기 위하여 사용되는 선으로 가는 실선을 45°로 하여 그린다.

(타) 특수한 용도의 선: 특수한 가공을 하는 부분 등을 표시하는 선으로 굵은 일점쇄선을 사용한다.



[그림 8-16] 선의 종류



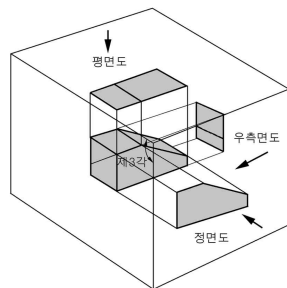
[그림 8-17] 특수 용도선

2) 선의 우선순위⁴³⁾

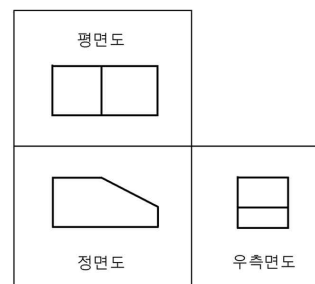
도면을 작성하다 보면 한 도면에 두 종류 이상의 선이 같은 장소에 겹치는 경우가 있을 때 ① 외형선 → ② (숨)은선 → ③ 절단선 → ④ 중심선 → ⑤ 무게 중심선의 순서로 표현한다.

바. 정투상법 알기

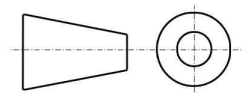
1) 3각법 : 물체를 제3면각 안에 놓고 투상하는 방법으로, 눈 → 투상면 → 물체 순으로 투상한다. 정면도를 기준으로 투상된 모양을 투상한 위치에 배치한다. KS에서는 제3각법으로 도면 작성하는 것이 원칙이며, 도면의 표제란에 표시 기호로 표현할 수 있다. 장점으로는 도면을 보고 물체의 이해가 쉽다.



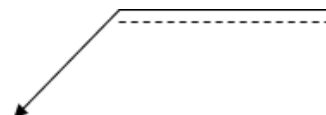
(a) 제 3각법에 따른 투영



(b) 투영도의 배치



(c) 표제란에서의 표시



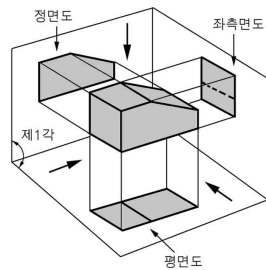
(d) 용접 기호에서의 3각법 기호

[그림 8-18] 3각법의 이해

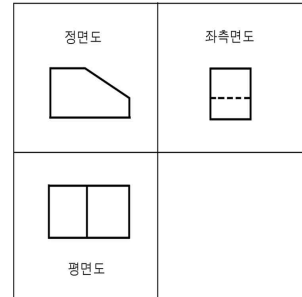
2) 1각법 : 물체를 제1면각 안에 놓고 투상하는 방법으로, 눈 → 물체 → 투상면 순으로

43) NCS 분류번호 : 피복아크용접 도면해독 (11601050102_16v2)

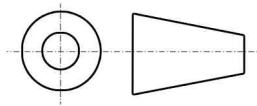
투상한다. 정면도를 기준으로 투상된 모양을 투상한 반대 위치에 배치하는 것으로 정면도 아래 평면도, 정면도 우측에 좌측면도 배치한다. 도면의 표제란에 표시 기호로 표현할 수 있다. 단점으로는 실물과악이 어려워 특수한 경우에만 사용한다.



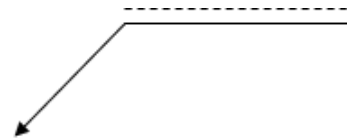
(a) 제 1각법에 따른 투영



(b) 투영도의 배치



(c) 표제란에서의 표시



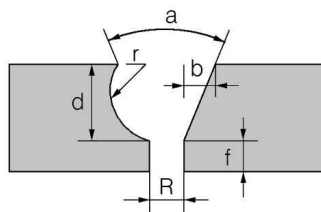
(d) 용접 기호에서의 3각법 기호

[그림 8-19] 1각법의 이해

사. 용접부의 표시방법⁴⁴⁾

1) 용접 홈의 명칭

용접 홈의 설계는 용접부의 품질을 좌우하는 중요한 요소가 된다. 용접 홈 각도가 좁을 때 용입 불량⁴⁵⁾의 원인이 될 수 있으며, 루트 면이 얇은 경우 용락의 위험 등이 커진다. 따라서 설계자는 용접 구조물의 형상과 하중의 종류에 따라 적절한 홈의 형상을 결정하여야 한다.



- a: 홈 각도
- b: 베벨각
- d: 홈 깊이
- f: 루트 면
- r: 루트반지름
- R: 루트간격

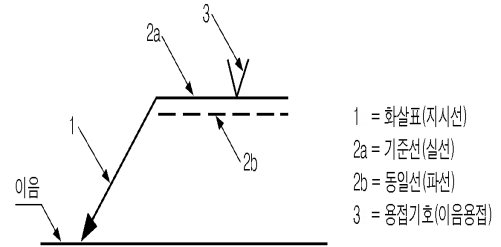
[그림 8-20] 용접 홈의 명칭

44) NCS 분류번호 : 피복아크용접 도면해독 (1601050102_16v2)

2) 용접 기호

(가) 용접 기호는 화살표, 기준선, 동일선, 꼬리로 구성되어 있으며, 상세 항목이 없는 경우에는 꼬리는 생략할 수 있다.

(나) 화살표 및 기준선에는 모든 관련 기호를 붙인다. 예를 들면, 용접 방법, 허용 수준, 용접 자세, 용가재 등 상세 항목을 표시하려는 경우는 기준선의 끝에 꼬리를 덧붙이면 된다.



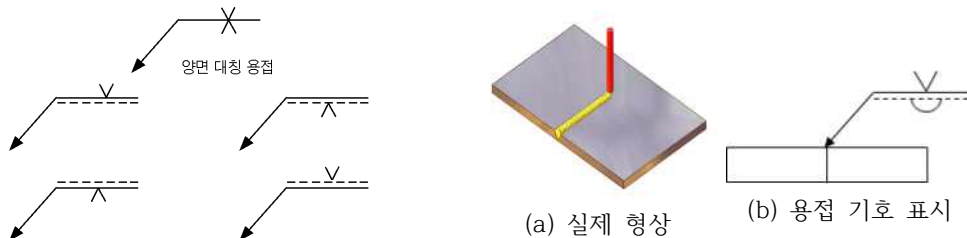
[그림 8-21] 표시 방법

(다) 용접부에 관한 화살표의 위치는 일반적으로는 특별한 의미가 없으며, 기준선에 대하여 각도가 있도록 하여 기준선의 한쪽 끝에 연결한다.

(라) 기준선은 도면의 이음부를 표시하는 선에 평행으로 또는 불가능한 경우에는 수직으로 기재하여야만 한다.

(마) 만일 용접부(용접면)가 이음의 화살표 쪽에 있을 때는 기호는 실선 쪽의 기준선에 기재한다. 만일 용접부(용접면)가 이음의 화살표와는 반대쪽에 있을 때는 기호는 파선쪽에 기재한다.

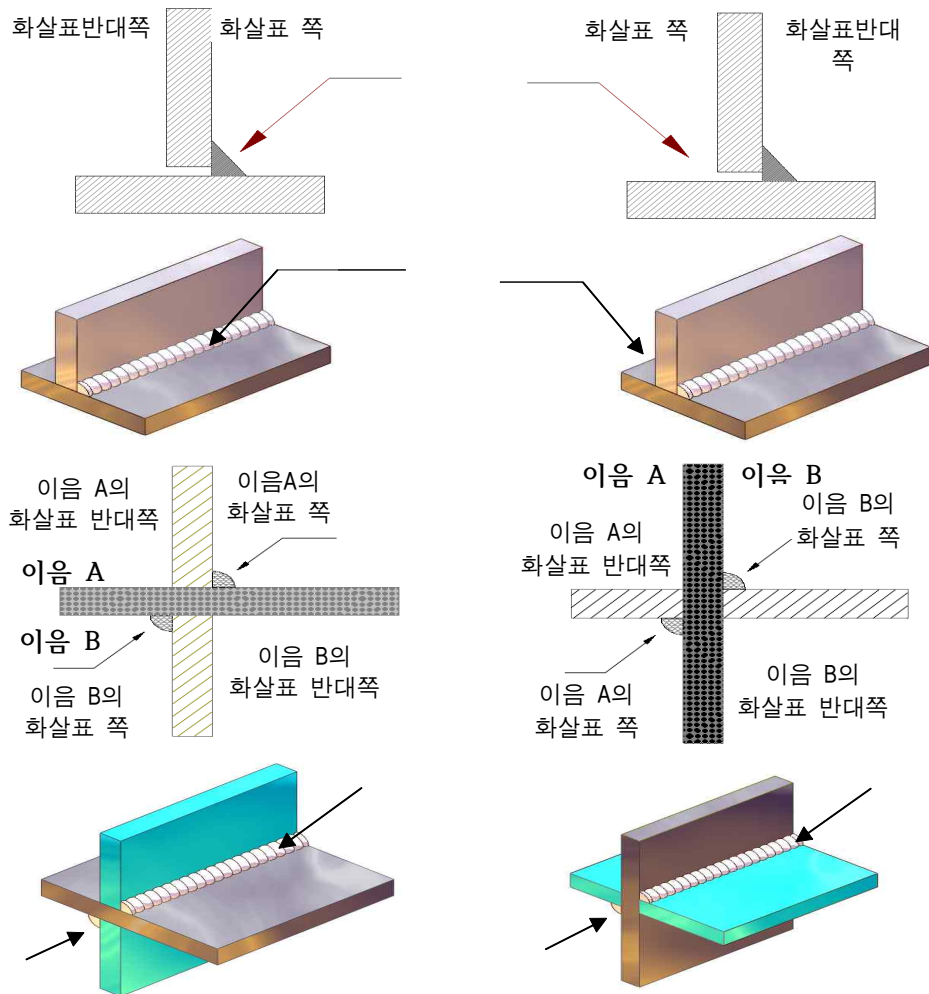
(바) 부재의 양쪽을 용접하는 경우 용접 기호를 기준선의 상하(좌우) 대칭으로 조합시켜 사용할 수 있다.



[그림 8-22] 화살표 쪽과 화살표 반대쪽 표시

3) 화살표 쪽 및 화살표 반대쪽 구분하기

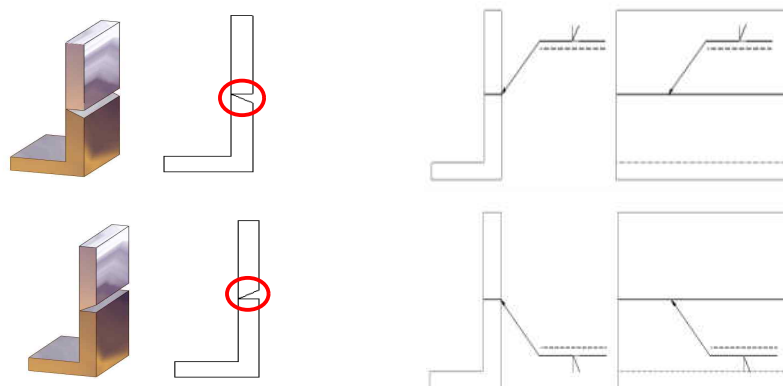
화살표가 향한 곳이 화살표 쪽이며 그 반대쪽이 화살표 반대쪽이 된다. 십자형 이음의 경우 우선 기준을 정한 후 고려해야 한다. 즉 수평부재에 다른 부재가 붙은 경우와 수직 부재에 다른 부재가 붙는 경우를 고려하면 된다.



[그림 8-23] 화살표 쪽 및 화살표 반대쪽의 구분

4) 기준선의 표시

기준선은 도면의 이음부를 표시하는 선에 평행으로 또는 불가능한 경우에는 수직으로 써넣어야만 한다.



[그림 8-24] 기준선의 위치

5) 일주 용접

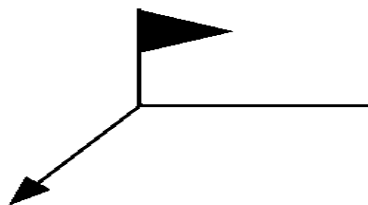
용접이 부재의 전부를 일주하여 용접하는 일주(온둘레) 용접의 경우에는 화살과 기준선이 만나는 곳에 원의 기호로 표시한다.



[그림 8-25] 일주 용접

6) 현장 용접

현장 용접의 경우 [그림 8-26]과 같이 깃발 기호로 표시한다.



[그림 8-26] 현장 용접

아. 용접 이음부의 기본 기호의 사용

구조물에 용접이 포함될 경우 제작품의 형상과 치수와 더불어 접합 부분은 용접 기호로 상세히 표시한다.

1) 주요 치수 표시방법

용접부 각 이음의 기호에는 확정된 치수의 숫자를 덧붙인다. 이와 같은 치수는 [그림 8-27]에 근거하여 다음과 같이 표시한다.

(가) 일반 규정

- (1) 가로 단면에 관한 주요 치수는 기호의 좌측(기호의 앞)에 써넣는다.
- (2) 세로 단면 방향 치수는 기호의 우측(기호의 뒤)에 써넣는다.



[그림 8-27] 원칙적인 치수 표시 방법

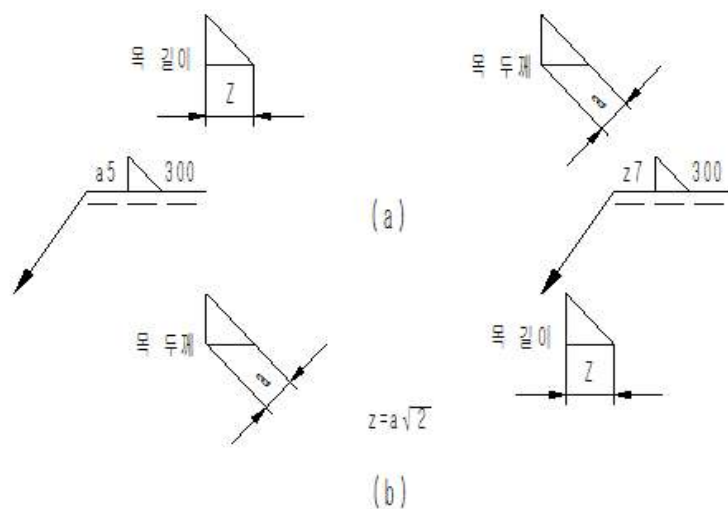
2) 표시해야 할 주요 치수

판의 끝 단면에 용접되는 용접부의 치수는 도면상 외에는 기호로 표시하지 않는다.

(가) 기호에 연달아 어떠한 표시도 없는 경우에는 공작물의 전 길이에 걸쳐 연속 용접을 하는 것을 뜻한다.

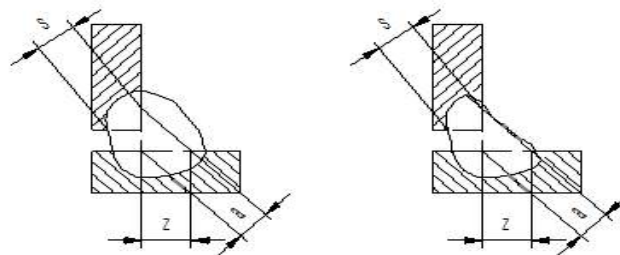
(나) 치수 표시가 없는 한 맞대기 용접에서는 완전 용입 용접을 한다.

(다) 필릿 용접부에는 [그림 8-28]의 (a)에 나타난 바와 같이 2개의 치수 표시방법이 있다. 즉 [그림 8-28]의 (b)에 나타난 바와 같이 문자 a 또는 z를 해당하는 치수 값의 앞에 항상 배치한다.






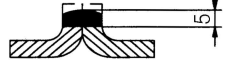
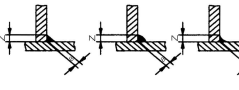
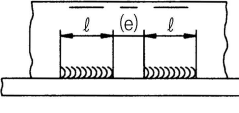
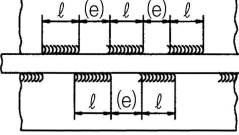
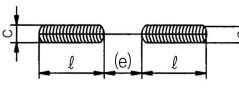
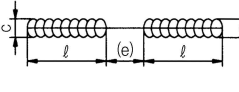
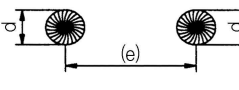
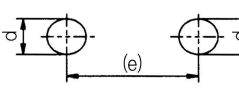
[그림 8-28] 필릿 용접의 치수 표시 방법

(라) 필릿 용접부 용입 깊이를 지시하는 데에 [그림 8-29]에 나타난 목두께 s가 있다



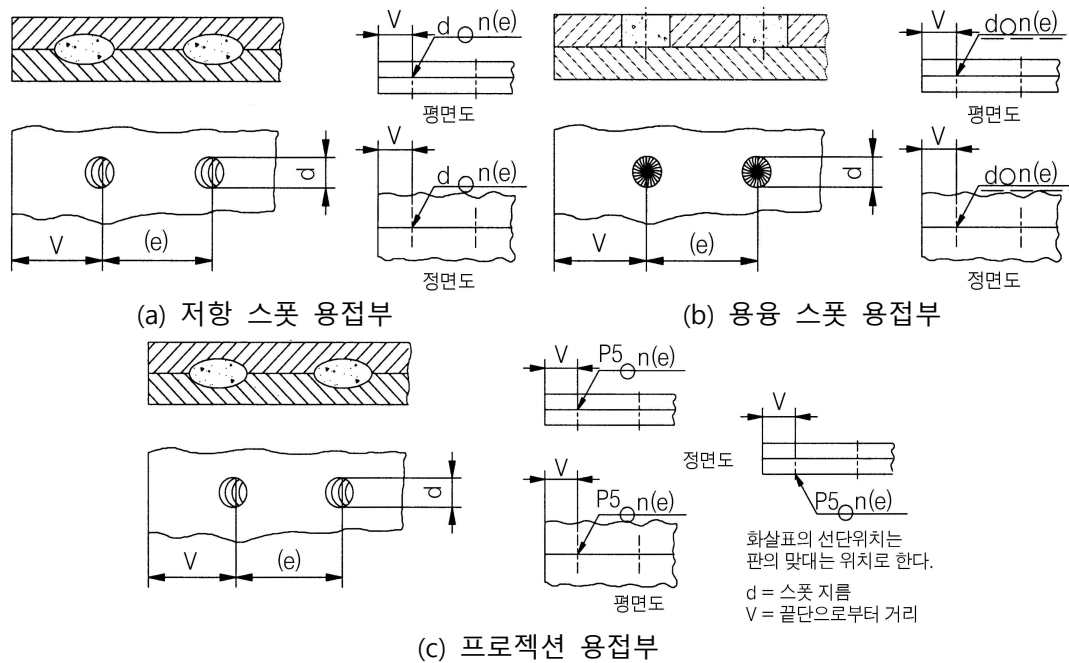
[그림 8-29] 필릿 용접 깊이의 치수 표시 방법

[표 8-5] 주요치수

번호	용접부 명칭	도시	정의	기호표시
1	맞대기 용접부		s : 판 두께보다 크지 않고 용접부 표면으로부터 용입 바닥까지의 최소 거리	▽
				s
				s Y
2	플랜지형 맞대기 용접부		s : 용접부의 바깥 면으로부터 용입 바닥까지의 최소 거리	s
3	연속 필릿 용접부		a : 절단면에 내접하는 최대 2 등변 삼각형의 높이 z : 절단면에 내접하는 최대 2 등변 삼각형의 변	a △ z △
4	단속 필릿 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 인접한 용접부 간의 거리(피치) n : 용접부의 개수(용접 수) a : 번호 3 참조 z : 번호 3 참조	a △ n × l (e) z △ n × l (e)
5	지그재그 단속 필릿 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 인접한 용접부 간의 거리(피치) n : 용접부의 개수(용접 수) a : 절단면에 내접하는 최대 2 등변 삼각형의 높이 z : 절단면에 내접하는 최대 2 등변 삼각형의 변	a △ n × l Z (e) z △ n × l Z (e)
6	플러그 또는 스폿 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 인접한 용접부 간의 거리(피치) n : 용접부의 개수(용접 수) c : 슬롯부의 폭	c □ n × l (e)
7	심 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 인접한 용접부 간의 거리(피치) n : 용접부의 개수(용접 수) c : 슬롯부의 폭	c ⊖ n × l (e)
8	플러그 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 간격 d : 구멍지름	d □ n (e)
9	스폿 용접부		l : 용접부 길이(크레이터부 제외) (e) : 간격 d : 스폿부의 지름	d ○ n (e)

자. 시임 및 스폿 용접 이음(용접, 브레이징, 솔더링)

시임 및 스폿 용접 이음의 경우에는 계수는 겹쳐진 그 부재의 계면이나 그 부재 중의 한쪽을 관통시켜 접합시킨다.



[그림 8-30] 점(spot) 용접


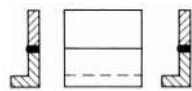
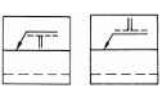
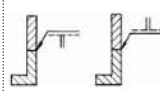

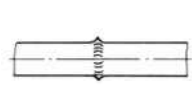


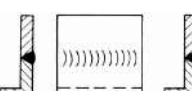

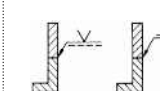

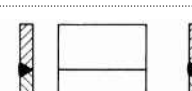
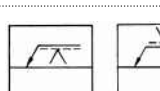


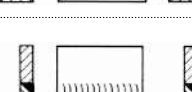
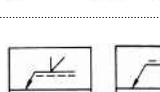
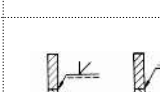

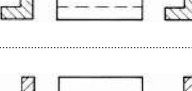
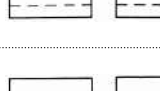


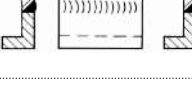
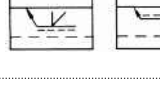
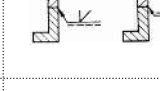


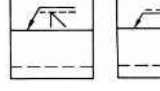
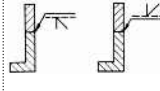

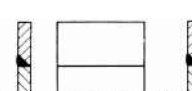

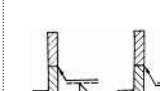


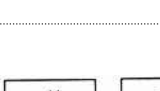


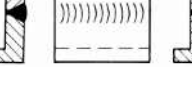
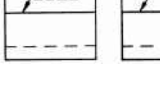

차. 용접 기호 표시법

각종 이음은 일반적으로 제작에서 사용되는 용접부의 형상과 유사한 기호로 표시한다.

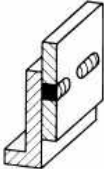
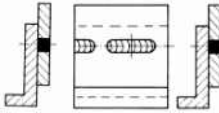
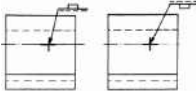
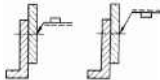

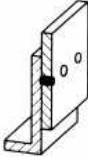
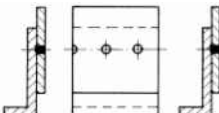
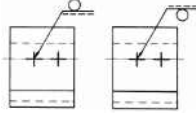
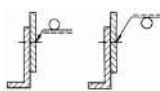
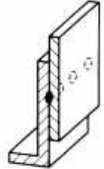
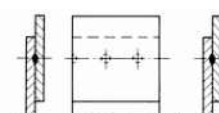
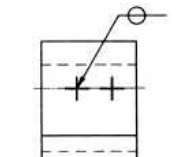
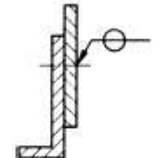

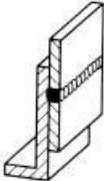
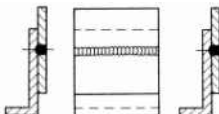
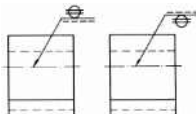
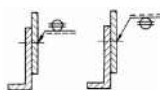
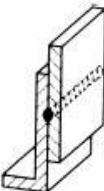

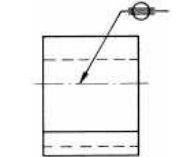
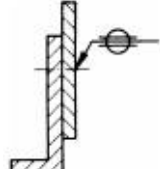
1) 용접 이음의 기본 기호

[표 8-6] 기본 기호 사용 보기







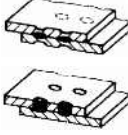



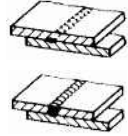



















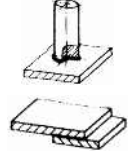









번호	명칭, 기호	그림	표시	기호	
				(a)	(b)
1	플랜지형 맞대기 용접 1				
2	I형 맞대기 용접 2				

번호	명칭, 기호	그림	표시	기호	
				(a)	(b)
3					
4					
5	V형 맞대기 용접				
6	∇ 3				
7					
8	한면 개선형 맞대기 용접				
9	∇ 4				
10					
11	넓은 루트 면 V형 맞대기 용접				
12	넓은 루트 면이 있는 한면 개선형 맞대기 용접				
13	∇ 6				

번호	명칭, 기호	그림	표시 	기호	
				(a)	(b)
14	U형 맞대기 용접 7				
15	J형 맞대기 용접 8				
16	 8				
17	필릿 용접 10				
18	 10				
19	 10				
20	필릿 용접 10				
21	 10				
22	플러그 용접 11				

번호	명칭, 기호	그림	표시	기호	
				(a)	(b)
23					
24	점 용접 				
25					
26	심 용접 				
27					

[표 8-7] 용접 이음부의 기본 기호

번호	명칭	그림	기호	번호	명칭	그림	기호
1	돌출된 모서리를 가진 평판 사이의 맞대기용접			11	플러그 용접 : 플러그 또는 슬롯 용접(미국)		
2	평행(I형) 맞대기 용접			12	점 용접		
3	V형 맞대기 용접			13	심(seam) 용접		
4	한면 개선형 맞대기 용접			14	개선 각이 급격한 V형 맞대기 용접		
5	넓은 루트 면이 있는 V형 맞대기 용접			15	개선 각이 급격한 한면 개선형 맞대기 용접		
6	넓은 루트 면이 있는 한 면 개선형 맞대기 용접			16	가장자리(edge) 용접		
7	U형 맞대기 용접(평행 또는 경사면)			17	표면 육성		
8	J형 맞대기 용접			18	표면(surface) 용접부		
9	이면 용접			19	경사 접합부		
10	필릿 용접			20	겹침 접합부		




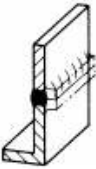
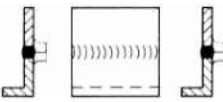
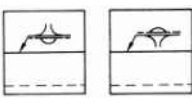
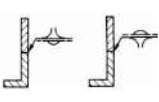


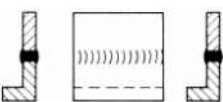
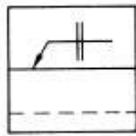
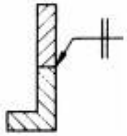


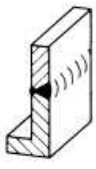
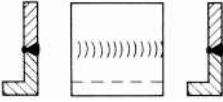
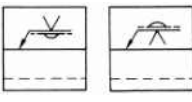
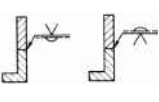

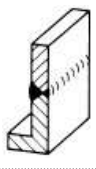
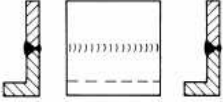
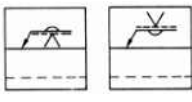
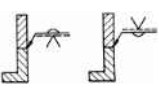

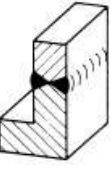
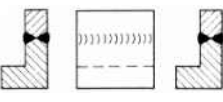
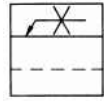
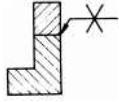

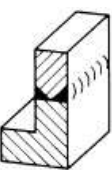
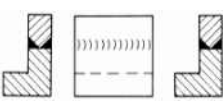
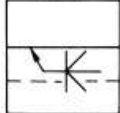
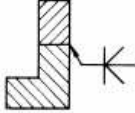

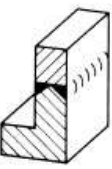
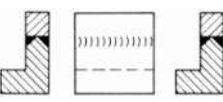
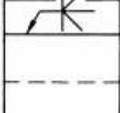

2) 기본 기호의 조합


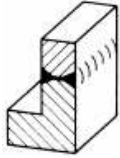
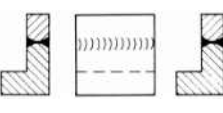
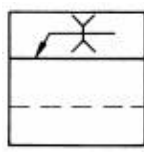
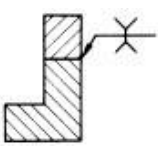
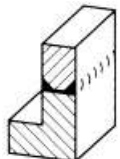
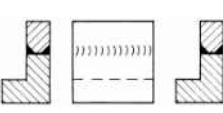
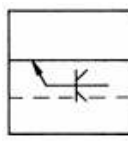
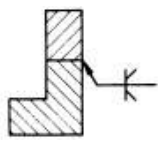
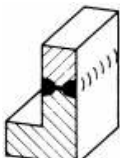
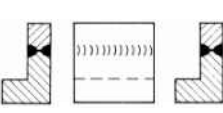
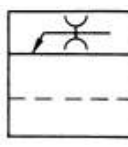
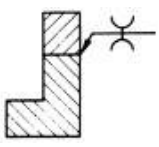
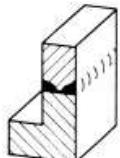
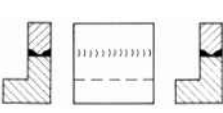
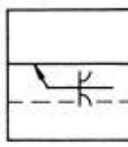
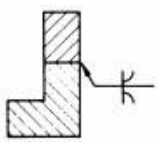
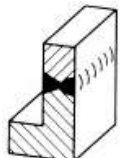
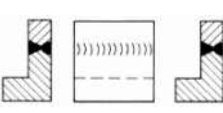


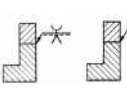

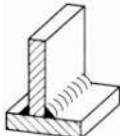

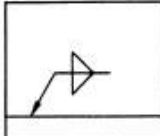
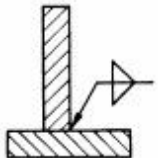
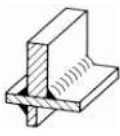
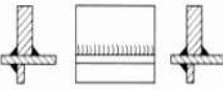




필요한 경우에는 기본 기호를 조합하여 사용할 수 있다. 양면 흠이음의 경우 한면 흠이음 기호를 조합하여 기준선에 좌우 대칭으로 조합시켜 배치하는 방법으로 사용한다.

[표 8-8] 대칭적인 용접부의 조합기호

명 칭	도 시	기 호
양면 V형 맞대기 용접	 	
양면 K형 맞대기 용접	 	
부분 용입 양면 V형 맞대기 용접 (부분 용입 X형 이음)	 	
부분 용입 양면 K형 맞대기 용접 (부분 용입 K형 이음)	 	
양면 U형 맞대기 용접 (H형 이음)	 	
	$\circ \square n \times \ell (\theta)$ 에서 C는 슬롯(플러그)의 폭, n은 용접부의 개수, ℓ 이 용접부의 길이이다. 따라서 슬롯의 폭은 6mm, 5는 개수, 용접부의 길이는 22mm, 인접한 용접부 간의 거리(피치)는 150mm임을 뜻한다.	

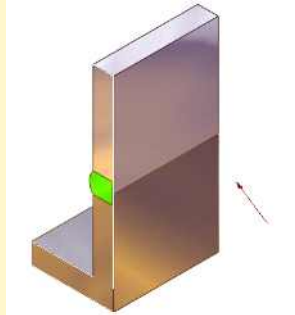
[표 8-9] 기본 기호 조합 사용 보기

번호	명칭, 기호	그림	표시 	기호	
				(a)	(b)
1	플랜지형 맞대기 용접  이면 용접  1-9				
2	I형 맞대기 용접  양면 용접 2-2				
3	V형 맞대기 용접  이면 용접  3-9				
4	양면 V형 맞대기 용접  X형 용접 3-3				
5	양면 V형 맞대기 용접  X형 용접 3-3				
6	K형 맞대기 용접  K형 용접 4-4				
7	K형 맞대기 용접  K형 용접 4-4				

번호	명칭, 기호	그림	표시 	기호	
				(a)	(b)
8	넓은 루트 면이 있는 양면 V형 맞대기 용접 Y5 5-5				
9	넓은 루트 면이 있는 K형 맞대기 용접 Y6 6-6				
10	양면 U형 맞대기 용접 Y7 7-7				
11	양면 J형 맞대기 용접 Y8 8-8				
12	한면 V형 맞대기 용접 V3 한면 U형 맞대기 용접 Y7 3-7			 	 
13	필릿 용접 △10				
14	필릿 용접 △10 10-10			 	 

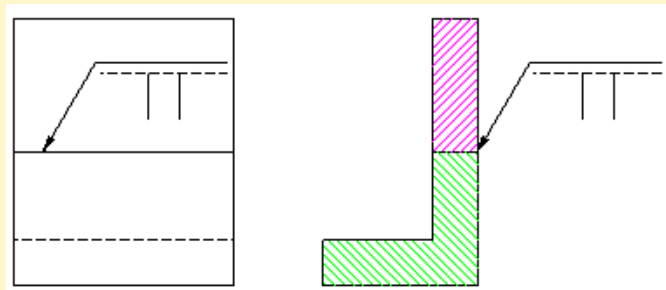
참고

제시된 조건의 도면 그리기



실제 형상

- 화살표 방향에서 보고 그린다.
- 용접 홈은 I형 이다.
- 맞대기 이음이다.
- 3각법으로 그린다.
- KS B 0052에 맞게 그린다.

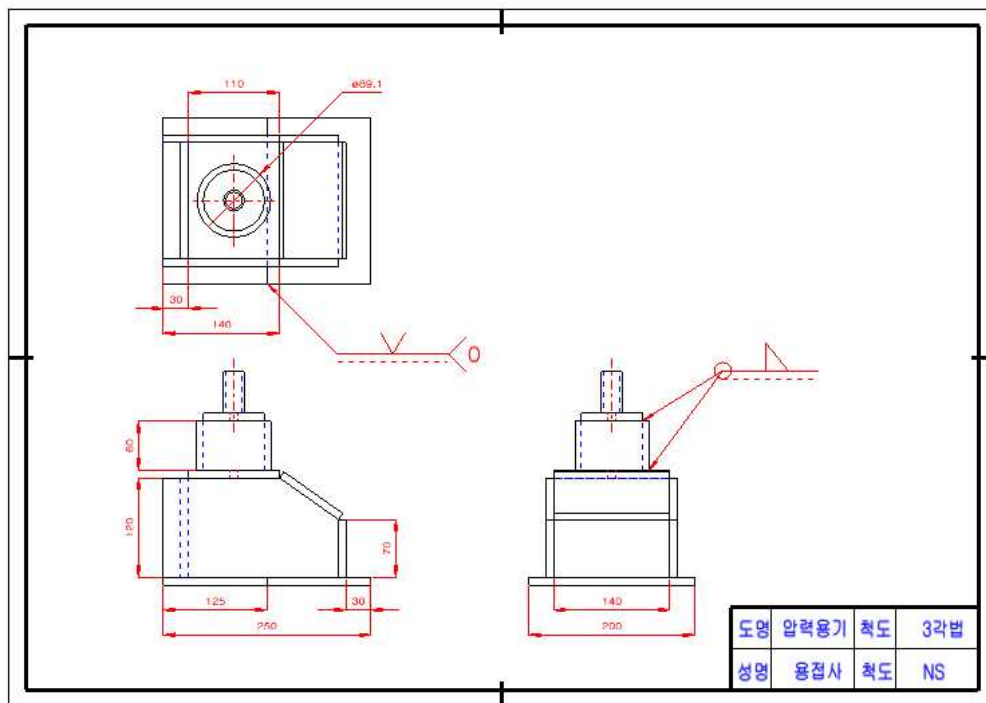


3) 용접 이음의 보조 기호

기본 기호에 용접부 표면의 형상 및 용접부 형상의 특징을 표시할 경우 보조 기호를 사용하며, 이 보조 기호가 없을 때는 용접부 표면의 형상을 정확히 지시할 필요가 없다는 것을 의미한다.














[표 8-10] 용접부의 보조 기호

번호	용접부 및 용접부 표면의 형상	기 호
1	평면(동일 평면으로 다듬질)	—
2	볼록(凸)형	⌒
3	오목(凹)형	⌒
4	끝단부를 매끄럽게 함	⌒
5	영구적인 덮개 판을 사용	⌒ M
6	제거 가능한 덮개 판을 사용	⌒ MR
7	일주 용접	○
8	현장 용접	▶

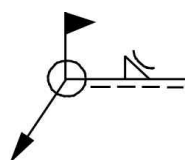


[그림 8-31] 용접 구조물 용접기호 기입하기

[표 8-11] 보조 기호를 적용한 보기

번호	명 칭	그 림	기 호
1	비드 표면을 평면으로 마감 처리한 V형 맞대기 용접		
2	볼록 양면 V형 용접		
3	오목 필릿 용접		
4	표면 V형 용접 이면 비드 용접 후 양면 평면 가공		
5	넓은 루트 면이 있는 V형 용접과 이면 용접		
6	표면을 평면 마감 처리한 V형 맞대기 용접		
7	매끄럽게 처리한 필릿 용접		

※ 사용 예



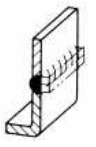
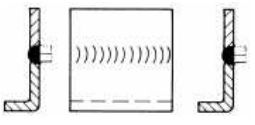

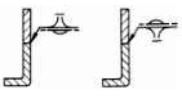

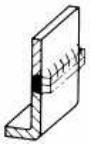
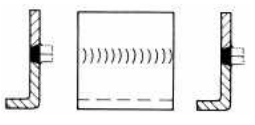

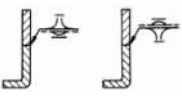


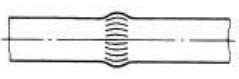



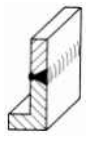
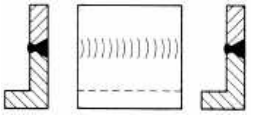
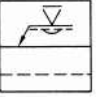
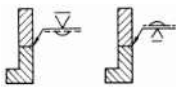

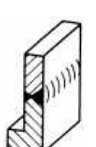
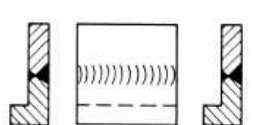

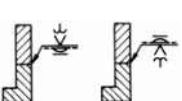

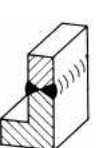
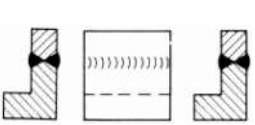
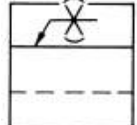
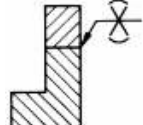




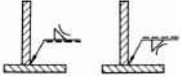

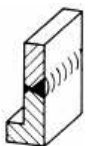
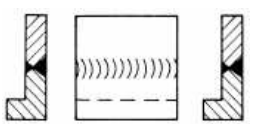

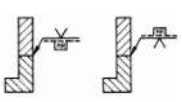


화살표 쪽 온둘레 현장 용접으로 필릿 용접부를 오목하게 한다.

4) 용접 기호의 조합

용접 기호의 조합이란 기본 기호와 보조 기호를 조합하여 사용하는 것을 말한다.

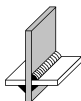
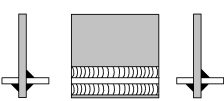
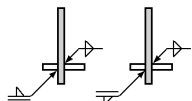
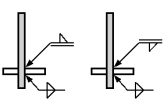
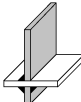
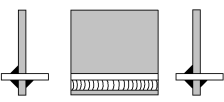
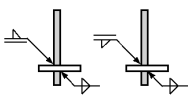
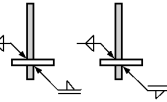
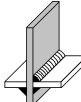
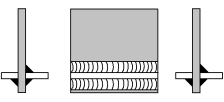
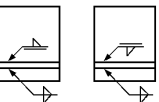
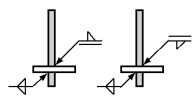
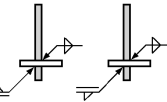
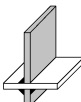
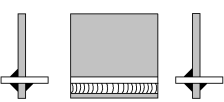
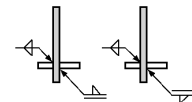
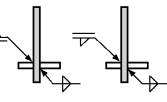
[표 8-12] 기본 기호와 보조 기호 조합 보기

번호	기호	그림	표시 	기호	
				(a)	(b)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

5) 용접 기호의 예외적 사례

필릿 이음의 경우 화살표 방향과 반대 방향에 유의하여 기호를 표시해야 한다.

[표 8-13] 용접 기호의 예외적 사례

도시	표시	기호 표시		
		(a)	(b)	틀린 표시
		추천하지 않음		
		추천하지 않음		
				
		추천하지 않음		

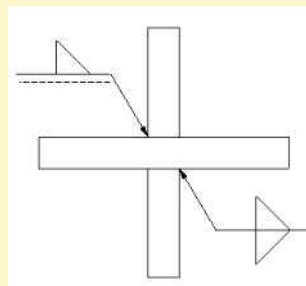
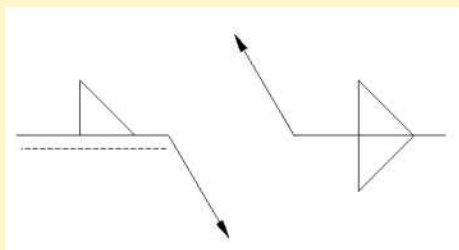
참고

제시된 조건의 도면 그리기



실제 형상

- 대칭 용접의 기호를 사용한다.
- 3각법을 사용한다.
- KS B 0052에 적합하게 그린다.



6) 가공 상태를 지시하는 용접 기호

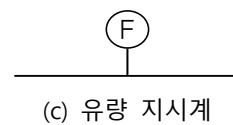
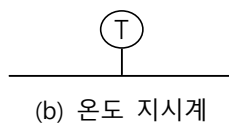
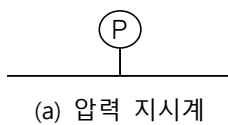
용접 후 용접부를 가공하는 방법을 지시하는 기호의 종류는 [표 8-14]과 같다.

[표 8-14] 가공방법의 기호 표기

표면 용접부 가공 방법	기호	비고
치핑(chipping)	C	
그라인딩(grinding)	G	
해머링(hammering)	H	
머시닝(machining)	M	
롤링(rolling)	R	
미정(unspecified)	U	가공이 필요하지만 가공 방법이 미정인 상태

카. 배관 기호 및 도면의 해독

- 1) 평면 배관도, 입면 배관도, 입체 배관도, 조립도, 부분 조립도 등이 있다.
- 2) 치수 표시는 mm를 단위로 하고 보통 'A'로 사용하며, 각도는 도로 표시한다.
- 3) 높이 표시는 EL(BOP, TOP), GL, FL로 표시한다.
- 4) 관의 도시는 실선으로 하고 같은 도면 내에서 같은 굵기를 사용한다. 관내를 통과하는 유체는 공기 A, 가스 G, 기름 O, 수증기 S, 물 W로 표시한다.
- 5) 관의 굵기만을 도시할 때는 관위에 지름을 표시한다.
- 6) 계기의 표시 기호는 ○안에 써넣는다. 온도계(thermometer)는 원안에 T, 압력계(pressure) 원안에 P를, 유량계는 F를 써넣는다.



[그림 8-32] 계기의 표시 방법

(가) 관의 접속 상태: 접속하거나 분기할 때는 점으로 표시하고 교차할 때에는 점이 나타나지 않는다.





[표 8-15] 관의 접속 상태 도시 방법



관의 접속 상태		도시 방법		
접속하고 있지 않을 때				
접속 하고 있을 때	교차			
	분기			

(1) —●— 파이프가 앞쪽으로 수직이게 구부러졌을 때

- (2) —○ 파이프가 뒤쪽으로 수직이게 구부러졌을 때
- (나) 관 연결 도시 기호
- (1) 관의 결합 방식은 아래의 표와 같이 일반(나사식), 용접식, 플랜지식, 턱걸이식, 유니온식으로 구분하여 표시할 수 있다.
- (2) 신축 이음은 루프형, 벨로즈형, 슬리브형, 스위블형이 있다.

[표 8-16] 신축 이음의 종류

신축 이음 종류	도시 기호
루프형	
벨로즈형	
슬리브형	
스위블형	

- (다) 밸브의 종류
- (1) 글로브 밸브(스톱 밸브) : 파이프 출구와 입구가 일직선이고 밸브 시트에 대하여 수직 방향으로 운동한다.
- (2) 슬로즈 밸브(게이트 밸브) : 나사 봉에 의하여 밸브가 파이프의 축선에 직각 방향으로 개폐되는 밸브이며 밸브의 개폐시간이 긴 밸브이다. 이 밸브를 완전하게 열면 유체흐름의 저항이 작아진다.
- (3) 앵글 밸브: 파이프의 출구와 입구가 직각을 이루는 밸브이다.
- (4) 체크 밸브: 유체의 흐름을 한 방향으로만 흐르게 하는 밸브로 종류에는 리프트식과 스윙식이 있다.  와 같은 모양이나 밸브의 한쪽이 까맣게 칠해진 밸브 ()로 표시한다. 밸브에서 까맣게 칠해지면 닫혀있다는 의미이다.
- (6) 콕: 관속의 유체가 저압일 경우 신속히 개폐할 때 사용한다.
- (7) 안전밸브: 보일러나 압력 용기 등에 사용되며, 사용 중 규정 압력 이상이 되면 밸브가 열려 유체가 대기 중에 방출되는 밸브이다.

[표 8-17] 밸브의 표시 방법

종 류	그림 기호	종 류	그림 기호
밸브 일반		앵글밸브	
게이트 밸브		3방향 밸브	
글로브 밸브		안전밸브	
체크 밸브			
볼 밸브			
버터플라이 밸브		콕 일반	

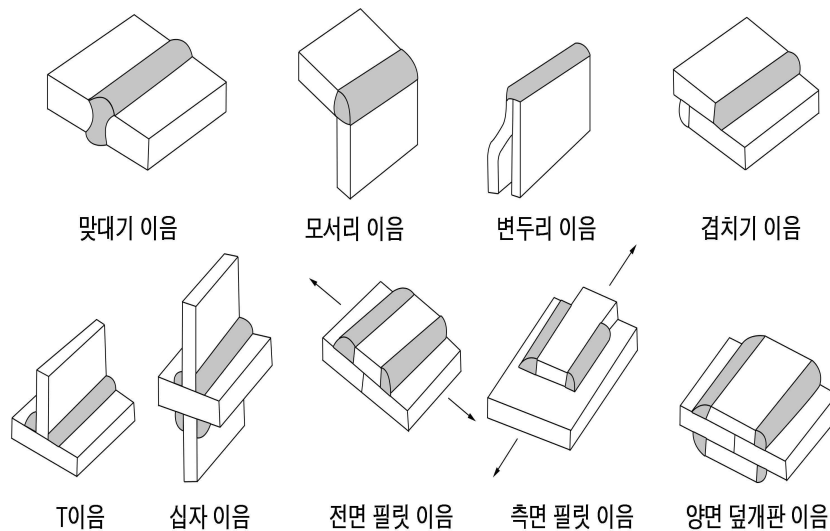
2. 용접 구조물의 설계⁴⁵⁾

가. 용접 설계자가 갖추어야 할 지식

- 1) 용접재료에 대한 물리적 성질, 화학적 성질 및 기계적 성질에 대한 이해
- 2) 용접 구조물의 변형에 대한 이해
- 3) 열응력에 의한 잔류응력 발생에 대한 이해와 대책
- 4) 용접 구조물이 받는 하중의 종류에 대한 이해
- 5) 정확한 용접비용 산출
- 6) 용접부의 검사법 이해

나. 용접 이음의 종류

용접 이음의 종류는 맞대기 이음, 겹치기 이음, 모서리 이음, 필릿(T형) 이음, 변두리 이음 등이 있다.

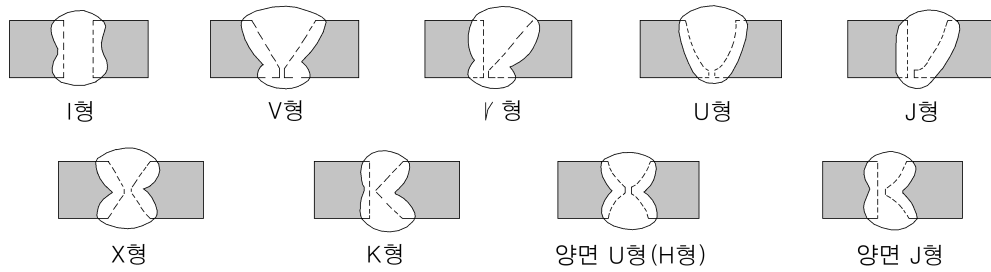


[그림 8-33] 용접 이음의 종류

다. 용접 홈 형상의 종류

- 1) 한면 홈이음: I형, V형, ✓형(베벨형), U형, J형
- 2) 양면 홈이음: 양면 I형, X형, K형, H형, 양면 J형
- 3) 판 두께 6mm까지는 I형, 6~19mm까지는 V형, ✓형(베벨형), J형, 12mm 이상은 X형, K형, 양면 J형이 쓰이고, 16~50mm에는 U형 맞대기 이음이 쓰이며, 50mm 이상에서는 H형 맞대기 이음에 쓰인다.

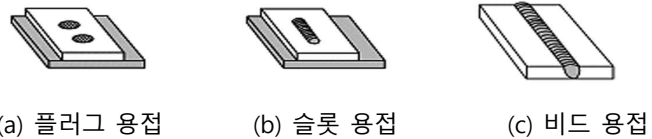
45) NCS 분류번호 : 피복아크용접 도면해독 (1601050102_16v2)



[그림 8-34] 용접 홈 형상의 종류

라. 용착부 모양에 따른 분류

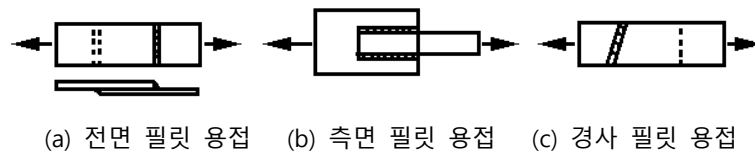
맞대기 용접, 필릿 용접, 플러그 용접, 비드 용접, 슬롯 용접 등으로 분류할 수 있다.



[그림 8-35] 용착부 모양에 따른 분류

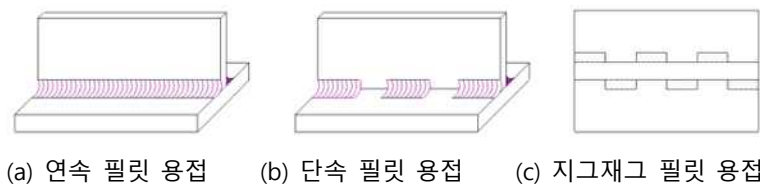
1) 필릿 용접의 분류

필릿 용접은 전면, 측면, 경사 필릿 용접으로 분류할 수 있다.



[그림 8-36] 필릿 용접의 종류

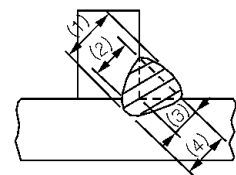
또한, 연속, 단속, 지그재그 필릿 용접으로 구분할 수 있다.



[그림 8-37] 필릿 용접의 구분

2) 필릿 용접의 표기

실제 목두께는 (1), 이론 목두께는 (4)이다. 필릿 용접의 치수 이상으로 표면 위에 용착된 금속을 덧붙이라 한다. 측면 필릿 용접 이음에서 필릿 용접의 크기와 h 와 이론 목두께 h_t 와의 관계식



[그림 8-38] 필릿 용접의 표기

- 일반적인 필릿 용접의 경우 $h = h_t \cdot \cos 45^\circ$
- 측면 필릿 용접의 경우: $h = \frac{h_t}{\cos 45^\circ}$

마. 용접 이음의 설계를 할 때 주의점

- 1) 아래 보기 용접을 많이 하도록 한다.
- 2) 용접 작업에 지장을 주지 않도록 간격을 둔다.
- 3) 필릿 용접은 되도록 피하고 맞대기 용접을 하도록 한다.
- 4) 판 두께가 다른 재료를 이을 때는 구배를 두어 갑자기 단면이 변하지 않도록 한다 (1/4이하 테이퍼 가공을 함).
- 5) 맞대기 용접에는 이면 용접을 하여 용입 부족이 없도록 해야 한다.
- 6) 용접 이음부가 한곳에 집중되지 않도록 설계한다.

바. 용접 이음의 강도

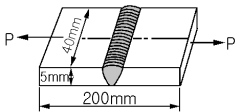
용접 이음의 강도를 고려할 때는 이음의 효율, 허용응력 및 안전율, 용착 효율, 변형률, 용접 총 작업시간 등을 고려해야 한다.

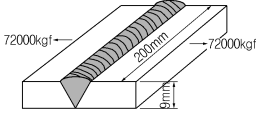
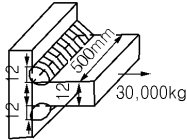
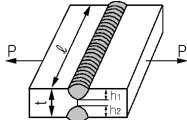
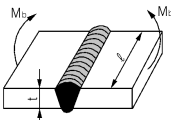
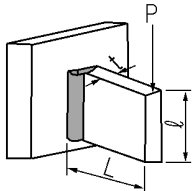
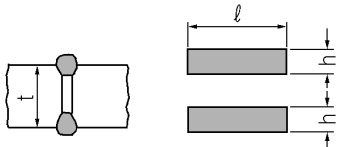
- 용접이음의 효율(η) = $\frac{(\text{용착금속강도})}{(\text{모재인장강도})} \times 100$
- 안전율 = $\frac{(\text{인장강도})}{(\text{허용응력})}$
- 용착효율 = $\frac{\text{용착금속의 중량}}{\text{용접봉의 사용중량}} \times 100$
- 변형률 = $\frac{\text{나중길이} - \text{처음길이}}{\text{처음길이}} \times 100$
- 용접총작업시간(T) = $\frac{Wd}{V \times Te}$ V: 용착속도(g/hr), Te: 아크시간(%), Wd: 용착금속중량(g)

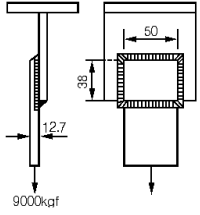
사. 용접 이음에서의 최대 인장 하중과 응력과의 관계

다음 [표 8-18]에서 사용되는 용어는 P는 용접 이음의 최대 인장 하중, σ 는 용착 금속의 인장강도, A는 단면적, h는 목두께, t는 판 두께, ℓ 은 용접 길이를 뜻한다.

[표 8-18] 인장 하중과 응력과의 관계

조건 및 도면	인장 하중과 응력 계산
 <p>용접부에 인장 하중이 P=5,000kgf 작용할 때 인장 응력(kgf/mm²)은?</p>	$\text{인장력} = \frac{\text{하중}}{\text{단면적}} = \frac{P}{A} \sigma = \frac{P}{A} = \frac{5000}{5 \times 40} = 25$

조건 및 도면	인장 하중과 응력 계산
 <p>강판의 두께가 9mm이고 용접 길이가 200mm이며, 최대 인장 하중이 72,000kgf이 작용하고 있을 때 용접부에 발생하는 인장 응력은 약 kgf/mm² 인가?</p>	$\sigma = \frac{p}{tl} = \frac{72000}{200 \times 9} = 40$
 <p>필릿 이음의 용접부 인장 응력(kgf/mm²)은 얼마 정도인가?</p>	$\sigma = \frac{0.707 \times P}{hl} = \frac{0.707 \times 30000}{12 \times 500} = 3.53$
 <p>맞대기 이음에서 불완전한 용입일 때, 인장 응력(δ_t)을 구하는 식은?</p>	$\delta_t = \frac{P}{(h_1 + h_2)\ell}$
 <p>완전 용입된 연강판 맞대기 이음부에 굽힘 모멘트 Mb-10,000kgf·cm가 작용할 때 용접부에 발생하는 최대 굽힘 응력은 약 kgf/cm²인가?(단, 용접길이 300mm이고, 판 두께는 10mm이다.)</p>	$\sigma_b = \frac{6M}{lt^2} = \frac{(6 \times 10000)}{(30 \times 1^2)} = 2000$
 <p>그림과 같이 완전용입 T형 맞대기용접 이음에 굽힘 모멘트 Mb=9,000kgf·cm가 작용할 때 최대 굽힘 응력(kgf/cm²)은?(단, L=400mm, ℓ=300mm, t=20mm, P(kgf)는 하중이다.)</p>	$\sigma_b = \frac{6M}{tl^2} = \frac{(6 \times 9000)}{(2 \times 30^2)} = 30$
 <p>부분적 용입인 양쪽 맞대기 용접이음이 그림과</p>	$\begin{aligned} \text{최대 굽힘 응력} &= \frac{3tM_b}{lh(3t^2 - 6th + 4h^2)} \\ &= \frac{3 \times 3 \times 9800}{20(3 \times 3 \times 3 - 6 \times 3 \times 1 + 4 \times 1^2)} = 339.231 \end{aligned}$

조건 및 도면	인장 하중과 응력 계산
<p>같이 되어있을 때 굽힘 모멘트 $M_b=9,800\text{kgf} \cdot \text{cm}$ 가 작용한다면 용접부가 받고 있는 최대 굽힘 응력은 약 얼마인가?(단, $\ell=200\text{mm}$, $t=30\text{mm}$, $h=10\text{mm}$이다.)</p>  <p>폭 50mm, 두께 12.7mm인 강판 두 장을 38mm만큼 겹쳐서 전주 필릿 용접을 하였다. 여기에 외력 $P=9,000\text{kgf}$의 하중을 작용시킬 때 필요한 필릿 용접 이음의 치수(목길이)는 몇 cm인가?(단, 용접부의 허용응력은 $\sigma_a=1,020\text{kgf/cm}^2$이다.)</p>	$\sigma_b = \frac{1.414 \times P}{h} \text{ 에서}$ $P = \frac{9000}{(2 \times 5) + (2 \times 3.8)} = 511.36$ <p>그러므로 $h = \frac{1.414 \times 511.36}{1020} = 0.7$</p>

제 9 장 용접 시공

1. 시공 계획

가. 일반 준비

모재 재질 확인, 용접기와 용접봉 선택, 지그 결정, 용접공 선임 등

1) 용접 지그 사용 효과

- (가) 용접하기 쉬운 자세를 취할 수 있다. 즉 아래보기 자세로 용접할 수 있다.
- (나) 제품의 정밀도 향상을 가져올 수 있다.
- (다) 용접 조립 작업을 단순화 또는 자동화를 할 수 있게 하여 작업 능률이 향상된다.

나. 용접 이음 준비

1) 홈 가공

- (가) 용입이 허용하는 한 홈 각도는 작은 것이 좋다(일반적으로 피복 아크 용접에서 $54\sim 70^\circ$).
- (나) 용접 균열에 관점에서는 루트 간격은 좁을수록 좋으며 루트 반지름은 되도록 크게 한다.

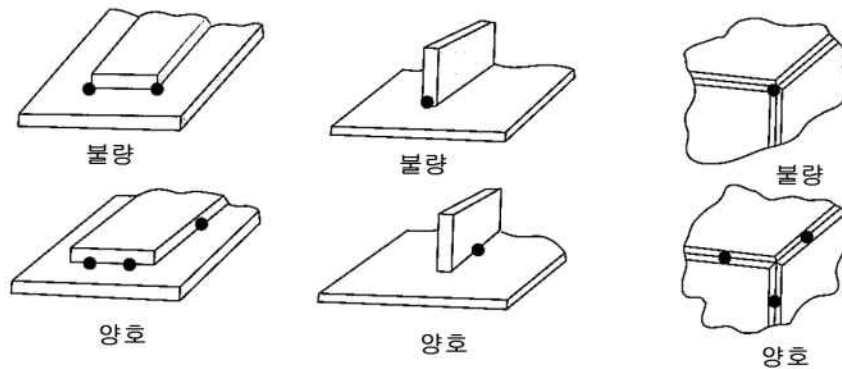
2) 조립

- (가) 수축이 큰 맞대기 이음을 먼저 용접하고 다음에 필릿 용접한다.
- (나) 큰 구조물은 구조물에 중앙에서 끝으로 향하여 용접한다.
- (다) 중립축에 대하여 모멘트 합이 0이 되도록 한다.
- (라) 리벳과 같이 쓸 때는 용접을 먼저 한다.
- (마) 용접 불가능한 곳이 없도록 한다.
- (바) 물품의 중심에 대하여 대칭으로 용접 진행한다.

3) 가용접

가용접은 일명 태그 용접(tack welding)이라고 하며 본 용접을 시행하기 전에 잠정적으로 고정하기 위하여 실시하는 용접이다

- (가) 홈 안에 가용접은 피하고 불가피한 경우 본 용접 전에 갈아낸다.
- (나) 응력이 집중하는 곳은 피한다.



[그림 9-1] 가용접의 적정 위치

- (다) 가용접은 본 용접보다 전류를 높이거나 용접봉의 지름을 가는 것을 사용하여 200~500mm 간격으로 20~50mm 정도 하는 것이 일반적이다.
- (라) 전류는 본 용접보다 높게 하며, 용접봉의 지름은 가는 것을 사용한다. 또한, 너무 짧게 하지 않는다.
- (마) 시·종단에 엔드탭을 설치하기도 한다.
- (바) 가접사도 본 용접사에 비하여 기량이 떨어지면 안 된다.

4) 크레이터

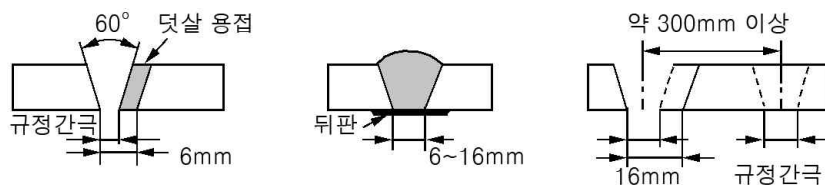
용접부의 끝부분을 크레이터라고 하며, 일반적으로 크레이터 처리는 아크 길이를 짧게 하여 운봉을 정지시켜서 크레이터를 채운 다음 용접봉을 빠른 속도로 들어 아크를 끊는다. 이때 크레이터 처리를 잘못하면 균열, 슬래그 섞임 등이 일어나거나 파손될 수 있으므로 시종단에 엔드탭을 사용한다.

5) 이음부의 청소

이음부의 녹, 수분, 스케일, 페인트, 유류, 먼지, 슬래그 등은 기공 및 균열에 원인이 되므로 와이어브러시, 그라인더, 쇼트 블라스트, 화학 약품 등으로 제거한다.

6) 홈의 보수⁴⁶⁾

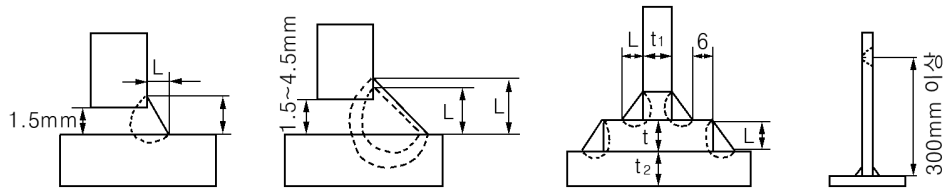
- (가) 맞대기 용접 : 판 두께 6mm 이하 한쪽 또는 양쪽에 덧살 올림 용접을 하여 깎아내고 규정 간격으로 홈을 만들어 용접하며, 6~16mm인 경우는 두께 6mm 정도의 뒤판을 대서 용접하여 용락을 방지한다. 또한, 16mm 이상에서는 판의 전부 혹은 일부 (약 300mm)를 대체한다.



[그림 9-2] 맞대기 용접의 보수

46) NCS 분류번호: 피복아크용접 결함부 보수용접 작업 (11601050108_16v2)

- (나) 필릿 용접 : 용접물의 간격이 1.5mm 이하에서는 규정의 각장으로 용접하며, 1.5~4.5mm인 경우는 그대로 용접해도 좋으나 각장을 증가시킬 수 도 있다. 4.5mm 이상에서는 라이너를 넣거나 부족한 판을 300mm 이상 잘라내서 대체한다.

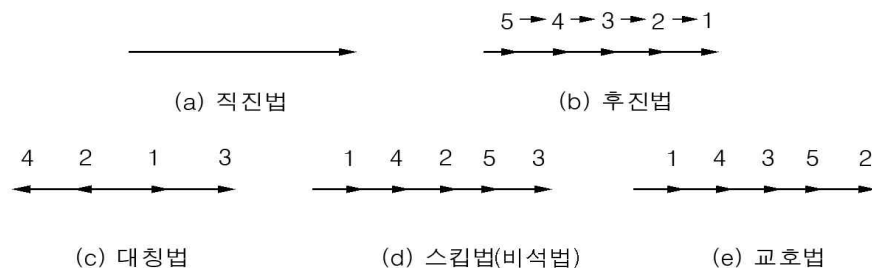


[그림 9-3] 필릿 용접의 보수

다. 본 용접

1) 용접 진행 방향에 따른 분류

- (가) 전진법 : 용접 시작 부분보다 끝나는 부분이 수축 및 잔류응력이 커서 용접 이음이 짧고, 변형 및 잔류응력이 그다지 문제가 되지 않을 때 사용한다.
- (나) 후진법 : 용접을 단계적으로 후퇴하면서 전체 길이를 용접하는 방법으로 수축과 잔류응력을 줄일 수 있다.
- (다) 대칭법 : 용접 전 길이에 대하여 중심에서 좌우로 또는 용접물 형상에 따라 좌우 대칭으로 용접하여 변형과 수축 응력을 덜어 준다.
- (라) 비석법 : 스킵법이라고도 하며 짧은 용접 길이로 나누어 놓고 간격을 두면서 용접하는 방법으로 특히 잔류응력을 적게 할 때 사용한다.
- (마) 교호법 : 열 영향을 세밀하게 분포시킬 때 사용한다.

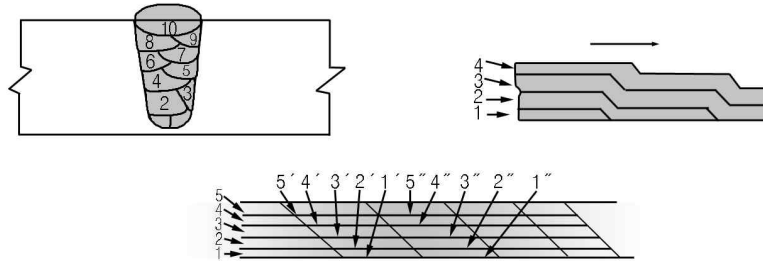


[그림 9-4] 용접 진행 방향에 따른 분류

2) 다층 용접에 따른 분류

- (가) 덧살 올림법(빌드업법) : 열 영향이 크고 슬래그 섞임의 우려가 있다. 한냉 시나 구속이 클 때 후판에서 첫 층에 균열 발생 우려가 있다. 하지만 가장 일반적인 방법이다.
- (나) 캐스케이드법 : 한 부분의 몇 층을 용접하다가 이것을 다음 부분의 층으로 연속시켜 용접하는 방법으로 후진법과 같이 사용하며, 용접 결함 발생이 적으나 잘 사용되지 않는다.

- (다) 전진 블록법 : 한 개의 용접봉으로 살을 붙일만한 길이로 구분해서 흠을 한 부분에 여러 층으로 완전히 쌓아 올린 다음, 다음 부분으로 진행하는 방법으로 첫 층에 균열발생 우려가 있는 곳에 사용된다.



[그림 9-5] 비드 쌓기 순서

라. 용접할 때 온도 분포

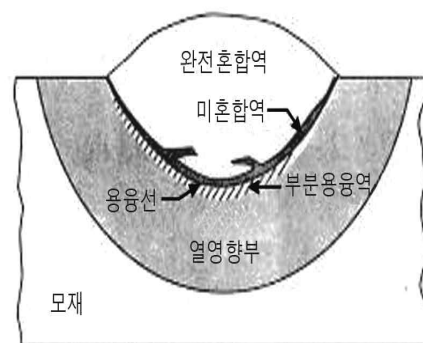
1) 용접부

용접부란 용접 금속 및 열영향부를 포함하는 부분을 총칭한다. 용융 용접의 용접부는 그림과 같이 몇 개의 영역으로 상세하게 구분되기도 한다. 용접열영향부(HAZ)는 용융선과 모재 사이에 형성되는 영역으로 고상에서 조직변화가 일어난 부분을 말한다.

- (가) 완전 혼합역(composite region): 모재와 용접재료가 용융하여 완전히 혼합된 영역을 말하며, 대부분 용융부가 이 영역에 속한다.

- (나) 미혼합역(unmixed zone): 모재는 완전히 용융되었지만 용접재료와 전혀 혼합되지 않았거나 불완전한 상태로 응고한 부분으로서 불완전 혼합역이라고도 하며, 용융선에 인접한 부분이다.

- (다) 부분 용융역(partially melted zone): 완전 혼합역, 미혼합역과 고상영역의 사이에 존재하는 천이영역을 의미하며, 이 영역은 액상과 고상이 공존한다.



[그림 9-6] 용접부

- (라) 용융선(fusion line): 혼합역과 부분용융역의 경계선이지만 통상 용접금속과 열영향부의 경계선을 의미한다.

- (마) 원질부는 용접 열영향을 받지 않는 모재 부분을 의미한다.

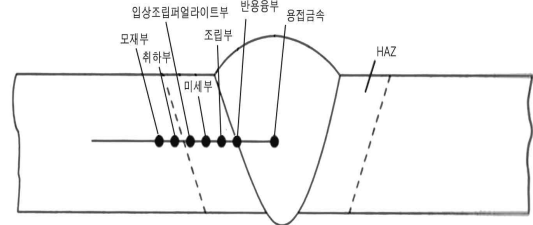
2) 용접부 조직

- (가) 용접금속(1,500℃): 용해된 다음 응고되어 수지상 결정조직이 되어있는 부분을 말한다.

- (나) 반용융부(1,400℃): 본드부라고도 하며 경도값이 최대인 곳으로 워드만 조직이 발

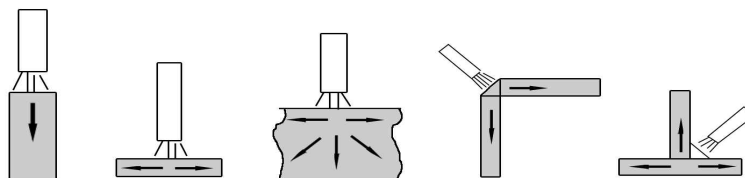
달되어 있다.

- (다) 조립부(1,100℃): 과열로 인해 조립화 위드만 조직이 된다.
- (라) 미립부(미세부)(900℃): 인성이 큰 조직으로 불림처리되어 AC3 이상 가열된다.
- (마) 입상펄라이트(700℃): 펄라이트가 세립상으로 분리된 부분으로 AC1~AC3 범위로 가열된다.
- (바) 취화부(500℃): 현미경 조직변화는 거의 없으나 기계적 성질이 나쁘다.
- (사) 원질부(100℃): 용접열의 영향을 거의 받지 않은 모재 부분을 말한다.



[그림 9-7] 용접부 조직

- 3) 냉각 속도는 얇은 판보다는 두꺼운 판에서 크다.
- 4) 냉각 속도는 맞대기 이음보다는 T형 이음의 경우가 크다. 즉 열의 확산 방향이 많을수록 크다.
- 5) 열전도율이 클수록 냉각 속도는 크다.



[그림 9-8] 열전도 방향

마. 예열 및 후열

- 1) 저온 균열이 일어나기 쉬운 재료에 대하여 용접 전에 피용접물의 전체 또는 이음부 부근의 온도를 올리는 것을 말한다.
- 2) 예열의 목적
 - (가) 용접부와 인접된 모재의 수축 응력을 감소하여 균열 발생을 억제한다.
 - (나) 냉각 속도를 느리게 하여 모재의 취성을 방지한다.
 - (다) 용착금속의 수소 성분이 나갈 수 있는 여유를 주어 비드 밑 균열을 방지한다.
- 3) 예열의 방법
 - (가) 연강의 경우 두께 25mm 이상의 경우나 합금 성분을 포함한 합금강 등은 급랭 경화성이 크기 때문에 열 영향부가 경화하여 비드 균열이 생기기 쉽다. 그러므로 50 ~ 350℃ 정도로 흠을 예열하여 준다.
 - (나) 기온이 0℃ 이하에서도 저온 균열이 생기기 쉬우므로 흠 양끝 100mm 나비를 40 ~ 70℃로 예열한 후 용접한다.
 - (다) 주철은 인성이 거의 없고 경도와 취성이 커서 500 ~ 550℃로 예열하여 용접 터짐을 방지한다.

- (라) 용접시 저수소계 용접봉을 사용하면 예열 온도를 낮출 수 있다.
- (마) 탄소 함량이 커지거나 판 두께가 두꺼울수록 예열 온도는 높일 필요가 있다.
- (바) 주물의 두께 차가 크면 냉각 속도가 균일하도록 예열한다.

참고

탄소량에 따른 예열 온도 : 탄소량이 늘어날수록 예열 온도는 높게 한다.

- 탄소량 0.2% 이하 : 90℃ 이하
- 탄소량 0.2% ~ 0.3% : 90℃ ~ 150℃
- 탄소량 0.3% ~ 0.45% : 150℃ ~ 260℃
- 탄소량 0.45% ~ 0.83% : 260℃ ~ 420℃

4) 후열의 목적

- (가) 용접 후 급랭에 의한 균열 방지
- (나) 용접 금속의 수소량 감소 효과

바. 용접 후 처리

1) 잔류응력 제거법

- (가) 노내 풀림법 : 유지 온도가 높을수록, 유지 시간이 길수록 효과가 크다. 노내 출입 허용 온도는 300℃를 넘어서는 안 된다. 일반적인 유지 온도는 625±25℃이다. 판 두께 25mm 1시간

$$\bullet \text{ 냉각속도}(R) \leq 200 \times \frac{25}{t} \text{ (deg/h)}$$

- (나) 국부 풀림법 : 큰 제품, 현장 구조물 등과 같이 노내 풀림이 곤란할 경우 사용하며 용접선 좌우 양측을 각각 약 250mm 또는 판 두께 12배 이상의 범위를 가열한 후 서냉한다. 하지만 국부 풀림은 온도를 불균일하게 할 뿐 아니라 이를 실시하면 잔류응력이 발생할 염려가 있으므로 주의하여야 한다. 유도 가열 장치를 사용한다.
- (다) 기계적 응력 완화법 : 용접부에 하중을 주어 약간의 소성변형을 주어 응력을 제거한다. 실제 큰 구조물에서는 한정된 조건으로만 사용할 수 있다.
- (라) 저온 응력 완화법 : 용접선 좌우 양측을 정속도로 이동하는 가스 불꽃으로 약 150mm의 너비를 약 150~200℃로 가열 후 수냉하는 방법으로 용접선 방향의 인장응력을 완화하는 방법이다.
- (마) 피닝법 : 끝이 둥근 특수 해머로 용접부를 연속적으로 타격하여, 용접 표면에 소성변형을 주어 인장 응력을 완화한다. 첫 층 용접의 균열 방지를 위해 700℃ 정도에서 열간피닝을 한다.

참고

일반적인 유지 온도는 625 ± 25℃ 이다. 판 두께 25mm 1시간이 적당하며, 고온 배관용 탄소강관, 고압 배관용 탄소강관, 보일러 및 열교환기용 탄소강 강관(6, 7, 8종) 등은 유지 온도 725 ± 25℃ 판 두께 25mm 2시간이 적당하다.

2) 변형 방지법

(가) 억제법 : 모재를 가접 또는 구속 지그를 사용하여 변형을 억제한다.

(나) 역 변형법 : 용접 전에 변형의 크기 및 방향을 예측하여 미리 반대로 변형시키는 방법으로 가접 후 2~3° 반대 방향으로 꺾어 주는 방법이다.

(다) 도열법: 용접부 주위 물을 적신 석면, 동판을 대어 열을 흡수하는 방법이다.

- 수냉 동판 사용법: 수냉 동판을 용접 윗면이나 옆에 대어서 용접 열을 흡수하는 방법
- 살수법: 용접부 뒷면에 물을 뿌려주는 방법으로 얇고 넓은 철판의 변형을 바로 잡는 데도 널리 사용
- 석면포 사용법: 물에 적신 석면포와 형질을 용접선의 뒷면이나 옆에 대어 용접 열을 흡수시켜 냉각시키는 방법

(라) 용착법: 대칭법, 후퇴법, 스킵법 등을 사용한다.

3) 변형을 적게 하는 방법

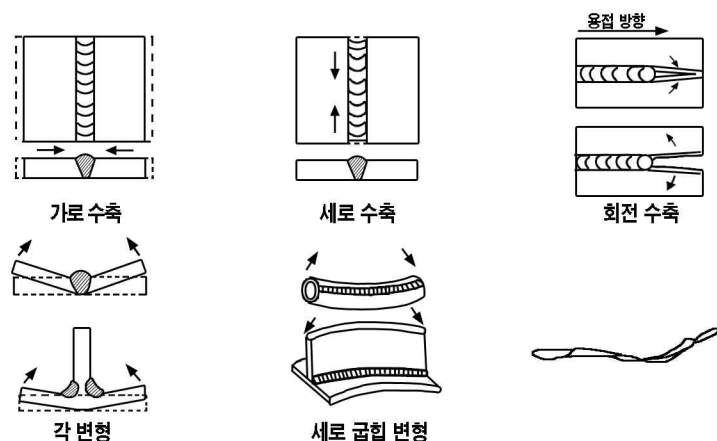
(가) 공급 열량을 가능한 한 적게 한다.

(나) 열량을 1개소에 집중시키지 않는다.

4) 수축 변형

(가) 면 내의 수축 변형 : 가로 수축, 세로 수축, 회전 수축

(나) 면 외의 수축 변형 : 굽힘 변형(가로, 세로 방향), 좌굴 변형, 비틀림 변형



[그림 9-9] 수축과 변형의 종류

5) 변형의 교정⁴⁷⁾

(가) 박판에 대한 점 수축법: 가열 온도 500~600℃, 가열 시간은 30초 정도, 가열 부 지름 20~30mm, 가열 즉시 수냉한다.

(나) 형재에 대한 직선 수축법

(다) 가열 후 해머질 하는 방법

(라) 후판에 대해 가열 후 압력을 가하고 수냉하는 방법

(마) 롤러에 거는 법

47) NCS 분류번호 : 1601050108_16v2 능력단위명: 피복아크용접 결함부 보수용접 작업

(바) 절단하여 정형 후 다시 용접하는 방법

(사) 피닝법

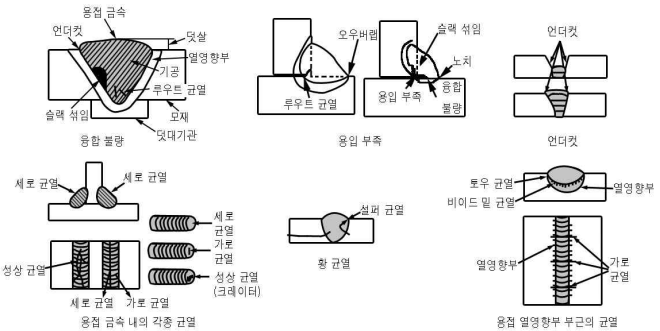
6) 결함의 보수

(가) 기공 또는 슬래그 섞임이 있을 때는 그 부분을 깎아내고 다시 용접

(나) 언더컷 : 가는 용접봉을 사용하여 파인 부분의 용접

(다) 오버랩 : 덮인 일부분을 깎아내고 다시 용접

(라) 균열일 때는 균열 끝에 정지 구멍을 뚫고 균열부를 깎아 흠을 만들어 재용접



[그림 9-10] 결함의 보수

참고

균열의 발생 원인 : 수소에 의한 균열, 내 . 외적인 힘에 의한 균열, 노치에 의한 균열, 변태에 의한 균열, 용착금속의 화학 성분에 의한 균열

- 용접을 끝낸 직후의 크레이터 부분의 생기는 크레이터 균열, 용접선 위에 나타나는 비드 균열, 너무 작아 육안으로는 확인 곤란한 마이크로 균열, 외부에서는 볼 수 없는 비드 밑 균열, 열영향부 균열, 비드 표면과 모재와의 경계부에 발생하는 토 균열, 비틀림이 주 원인이 되어 발생하는 힐 균열, 저온 균열에서 가장 주의하여야 할 균열인 첫층 용접의 루트 근방에서 발생하는 루트 균열, 모재의 재질 결함으로서의 균열인 레미네이션 균열 등이 있다.

- 비드 밑 균열은 용접 비드 바로 아래에 용접선 아주 가까이 거의 이와 평행 되게 모재 열영향부에 생기는 균열로 고탄소강이나 저합금강과 같은 담금질에 의한 경화성이 강한 재료를 용접했을 때 생기는 균열

- 토 균열은 맞대기 용접 및 필릿 용접 의 어느 경우나 비드 표면과 모재와의 경계부에 생기는 균열로 예열을 하거나 강도가 낮은 용접봉을 사용하면 효과적이다.

- 설퍼 균열은 강중에 황이 증상으로 존재하는 고온 균열을 말한다.

사. 보수용접

- 1) 기계 부품 등의 일부 마멸된 부분을 깎아 내거나 그대로 다시 원래 상태가 되도록 덧붙임 용접을 하는 방법이다.
- 2) 재료에 표면에 있는 얇은 결함은 그라인더로 사용하여 표면을 연삭한다. 이때 주의해야 할 점은 설계상에 필요한 판 두께를 확보해야 한다.
- 3) 덧붙임 용접으로 보수할 수 있는 한도를 초과할 때는 결함 부분을 잘라내어 맞대기 용접으로 보수할 수 있다.
- 4) 용사법 : 용융된 금속을 고속 기류에 불어 붙임.
- 5) 보수 용접 전 반드시 용접부를 세척하고 작업을 진행한다.

- 6) 보수용접은 우선 절차를 확인하고 보수용접에 사용되는 장비와 재료 등을 확인 후 보수용접 순서를 확인한 다음 작업을 진행한다. 또한, 보수용접이 끝난 후 용접부의 품질을 반드시 확인한다.

[표 9-1] 보수용접 수정 방법

항목	보수용접 수정 방법
언더컷	허용치를 초과하는 경우 연삭 또는 재용접으로 수정
맞대기 이음부 편차	허용치를 초과할 경우 절단 (약 300mm 이상) 후 재용접
비드 표면 불균일	규정치 이상일 경우 연삭 작업으로 부드럽게 수정
필릿 용접 목 길이	규정치 이하일 경우 재 용접으로 수정
오버랩	연삭 후 재용접으로 수정
균열	가우징 후 용접으로 수정
용접부 표면 피트	규정치를 초과할 경우 가우징 후 재용접 실시
스패터	연삭 또는 치핑해머 등으로 제거
슬래그 섞임	연삭 또는 치핑해머 등으로 제거
아크 스트라이크	지름 4mm 이하면 그라인더로 작업, 지름 4mm 초과일 때 용접 후 연삭

아. 용접 후의 가공

- 1) 용접 후 기계 가공 시 용접부에 잔류응력이 풀릴 때 변형 우려가 있으므로 잔류응력을 제거한다.
- 2) 굽힘 가공할 것은 균열 발생 우려가 있으므로 노내 풀림 처리한다.

2. 용접절차사양서⁴⁸⁾

가. 절차사양서 개요

ㄹ용접절차사양서(WPS: Welding Procedure Specification)는 용접절차 시방서 등으로 혼재되어 사용하고 있다. 이러한 용접절차사양서는 용접작업을 수행하기 전 용접작업 후 품질과 사용상의 성능을 충분히 확보하기 위해 필요하다. 즉 재료의 특성에 따라 용접 방법을 기술한 작업기준서이다.

48) NCS 분류번호 : 피복아크용접 도면해독 (1601050102_16v2)

나. 용접절차사양서 이해를 위한 용어

용접절차사양서의 이해를 위해서는 다음과 같은 용어를 알고 있어야 한다.

- 1) 용접사양서 인증기록(PQR: Procedure Qualification Test Record): 용접사양서를 작성하고 작성된 내용이 요구되는 결과치가 만족하는지를 시험한 결과서이다. 따라서 용접절차사양서(이하 WPS)당 적어도 1개 이상의 용접사양서 인증기록(이하 PQR)이 필요하며, 반대로 PQR이 여러 개의 WPS를 보조할 수 있다.
- 2) 용접사 인증시험(WPQ: Welder Performance Qualification): 용접의 적절한 진행 과정과 완료 후 결과를 바탕으로 용접사의 자격을 인증하기 위한 것이다.
- 3) 유자격 용접사 목록(QWL: Qualified Welder List): 용접사 자격인증 시험에 합격한 대상자의 용접 방법, 인증 일자, 작업 가능 모재 두께 등을 분류하여 작성한 목록이다.
- 4) 미국용접학회(AWS: American Welding Society): 미국용접학회에서는 용접재료를 특성에 따라 번호(AWS CLASS No.)로 분류하는 등 WPS에 그 내용을 포함하고 있다.
- 5) 각종 용접 용어
 - (가) 패스(pass): 단위 길이로 용접된 한 줄의 용착 금속
 - (나) 레이어(layer): 단위 길이로 용접된 한 층의 용착 금속
 - (다) 루트 면(root face): 용접이음부의 면 두께
 - (라) 루트간격(root gap): 용접이음부의 간격
 - (마) 베벨각(bevel angle): 용접 개선 각도
 - (바) 치핑(chipping): 파내기 작업의 통칭
 - (사) 용접 방법(welding procedss): 피복아크 용접, 서브머지드 용접, 가스 텅스텐 아크 용접 등의 방법
 - (아) 용접이음 형상(welding joint): 이음형태, 홈 용접, 필릿 용접, 백킹 여부 등을 포함
 - (자) 기타 : 모재(base metal), 용접 재료(filler metal), 예열(preheat), 후열처리(post weld heat treatment), 전기적 특성(electrical characteristic) 등

다. 용접절차사양서 세부 내용

용접절차사양서에는 제작자 관련 사항, 모재 관련 사항, 모든 용접절차에 공통적인 사항을 내용으로 삼고 있다.

1) 제작자 관련 사항

제작자의 신원확인 즉 소속, 사양 번호, 관련 시험번호 및 일자 등을 포함한다.

[표 9-2] 용접절차사양서(WPS) 제작자 관련 사항

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)			
회사명 (COMPANY NAME)		개정번호 (REVISION)	
사양번호 WELDING PROCEDURE SPEC.NO		일자 (DATE)	
관련시험번호 SUPPORTING PQR NO		개정일자 REV DATE	
용접 방법 WELDING PROCESS		형태 (TYPE)	

2) 모재 관련 사항

모재의 사양, 등급, 두께 등을 관련 규격을 참조하여 표시하고 있다.

3) 용접절차 관련 사항

용접법, 이음부 형상, 용접 자세, 예열 및 후열, 전기적 특성 등 용접절차 전반에 대하여 용접법에 따라 다양하게 기술하고 있다.

[표 9-3] 용접절차사양서(WPS)에 포함된 모재 및 용접절차에 대한 사항

용접절차에 대한 사항	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 이음(JOINT) : QW-402 이음형태(JOINT DESIGN) 백킹유무(BACKING) 이음준비(JOINT PREPARATION) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 후열처리(POST WELD HEAT TREATMENT) : QW-407 온도 (TEMPERATURE) 시간 범위(TIME RANGE) 기타 (OTHERS)
<ul style="list-style-type: none"> ■ 모재(BASE METAL) : QW-403 사양(MATERIAL SPEC.) 등급(TYPE OR GRADE) 두께(THICKNESS) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가스(GAS) : QW-408 보호가스(SHIELDING GAS) 유량(FLOW RATE) 순도(MIXTURE)
<ul style="list-style-type: none"> ■ 용접 재료(FILLER METAL) : QW-404 용도, 용접법 재질에 따라 분류된 번호(F NO) ASME에서 분류한 용접자재 사양(SFA NO) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전기적 특성(ELECTRICAL CHARACTERISTIC) : QW-409 전류(CURRENT) 교류(AC) 직류(DC) 극성(POLARITY) 전압 조절(VOLT RANGE)
<ul style="list-style-type: none"> ■ 용접 자세(POSITION): QW-405 홈(POSITION OF GROOVE) 용접방향(VERTICAL PROGRESSION) : 상(UP) 하(DOWN) 필릿(POSITION OF FILLET) 	

용접절차에 대한 사항	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 예열(PREHEAT) : QW-406 예열 온도(PREHEAT TEMP) 층간 온도(INTERPASS TEMP) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 용접 기법(WELDING TECHNIQUE) : QW-410 직선(STRINGER) 운봉(WEAVE BEAD) 단층(SINGLE PASS) 다층(MULTI PASS) 용접봉 간격(ELECTRODES SPACING) 피닝(PENING) 청결방법(CLEANING)
특기사항(NOTE)	
작성자 (PREPARED BY)	
검토자 (REVIEWED BY)	
승인자 (APPROVED BY)	

라. 용접절차사양서의 용접 일반에 관한 항목별 특정 사항 이해

용접작업의 기준이 되는 WPS 작성은 다양한 코드에 의해 작성할 수 있다. 일반적으로 ASME 코드 기준을 주로 사용한다.

1) WPS 번호는 사양 번호, 개정 번호, 관련 시험 번호 등이 있다.

(가) 사양번호 : 사양 번호(Welding Procedure Specification Number)는 다양한 용접에 따라 분류할 수 있도록 일반적으로 문자, 숫자 등을 조합하여 회사의 특성에 맞게 부여한다.

(나) 개정번호 : 개정번호(Revision Number)는 WPS 내용 수정 횟수에 따라 부여하는 번호이다.

(다) 관련 시험 번호: 관련 시험 번호(Supporting Procedure Qualification Test Record Number)는 WPS에서 인증을 시행한 번호로 사양 번호와 관련 있게 부여하면 이해를 높일 수 있다.

2) 용접 방법

용접 방법(welding process)은 선정된 용접 방법을 기재하는 것으로 피복 아크 용접은 ‘SMAW(Shielded Metal Arc Welding)’ 로, 가스 텅스텐 아크 용접은 ‘GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)’ 로, 서브머지드 아크 용접은 ‘SAW(Submerged Arc welding)’ 등으로 표시한다. 더불어 수동 용접 및 자동 용접 등의 작업방법을 함께 적기도 한다.

3) 이음부 형상(QW-402)

용접하고자 하는 모재의 이음부 형상을 기재하는 것으로 루트 면, 루트 간격, 용접 층수 및 이면 보호를 위한 백킹재의 재질 등을 포함할 수 있다.

4) 모재(QW-403)

용접작업을 위한 모재의 용접성, 기계적 성질 및 화학적 성질 등의 재료 특성을 분류한 코드로 기록할 수 있다. 예를 들어 ASME에서는 P-No로 대분류, GR-No는 P-No의 소분류로 사용하고 있으며 연강은 P-No가 1이다. 또한, 모재의 두께 범위와 용착금속의 두께 범위를 함께 적을 수도 있다.

[표 9-4] 모재의 종류

P-No	용착금속의 형태	(화학 성분)Chemical Analysis					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	연강 (mild Steel)	0.15	-	-	-	1.60	1.00
8	스테인리스강 (chrome-nickel)	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00

5) 용접 재료⁴⁹⁾(QW-404)

피복재나 사용 가스에 따른 용접봉을 분류한 번호를 ASME는 ‘F-No’ 로 용착금속의 화학적 성분에 따른 분류는 ‘A-No’ 로 분류한다. 예를 들어 ‘E7016’의 F-No는 4이고 A-No는 1이다. 만일 규격에 없으면 그 내용을 적으면 된다.

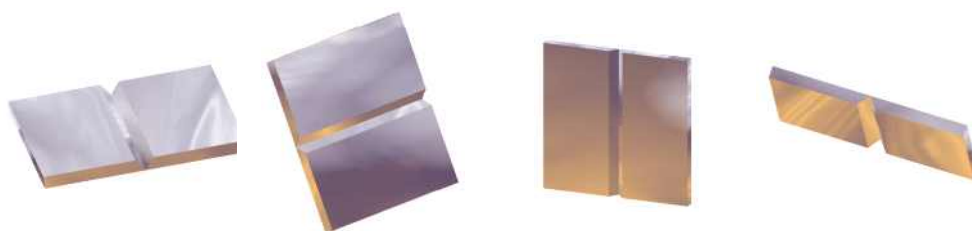
[표 9-5] 용접봉

AWS-No	F-No	A-No	사용 모재
E7016	4	1	탄소강
ER80S-B2	6	3	합금
E308L, E316L	5	8	스테인리스강

※ E: 피복 아크 용접봉, ER: 비피복 아크 용접봉, L: 저탄소계 용접봉

6) 용접 자세(QW-405)

용접자세를 기재하는 곳으로 평판과 파이프로 구분하고 홈 용접과 필릿 용접 자세로 구분한다.



아래보기(1G, F)

수평보기(2G, H)

수직보기(3G, V)

위보기(4G, O)

[그림 9-11] 평판 홈 용접 자세

49) NCS 분류번호 : 피복아크용접 재료준비 (11601050103_16v2)



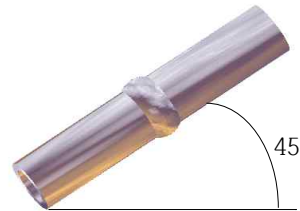
1G(파이프를 수평으로 회전시키면서 용접)



2G(파이프를 수직으로 두고 수평으로 용접)

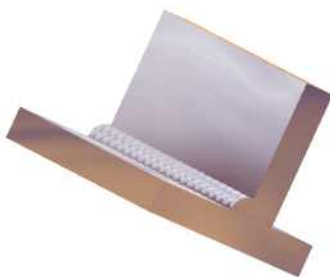


5G(파이프를 수평으로 두고 돌아가면서 전자세 용접)

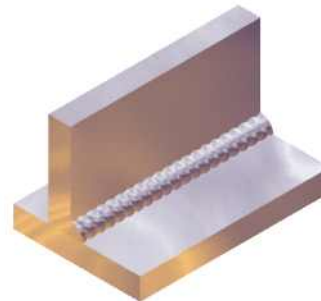


6G(파이프를 경사지게 두고 돌아가면서 용접)

[그림 9-12] 파이프 홈 용접 자세



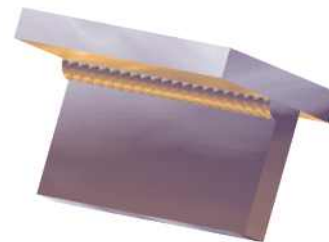
아래보기 필릿(1F)



수평보기 필릿(2F)



수직보기 필릿(3F)



위보기 필릿(4F)

[그림 9-13] 필릿 용접

7) 예열(QW-406)

외기온도, 용접부 상태 등에 따라 용접 전에 용접 금속에 영향을 주지 않기 위해 용접 이음부를 가열하는 것을 말한다. 일반적으로 연강의 경우 탄소 함유량이 0.3%를 초과하고 두께가 25mm를 초과하는 경우 175℃로 예열한다.

[표 9-6] 예열 조건

P-No	탄소함유량(%)	두께(mm)	예열온도(°C)
1	C>0.3	25	175
8	6	3	50

8) 후열처리(QW-407)

용접 작업 후 용접부의 잔류응력 제거, 연화, 균열 방지 및 내식성 향상 등을 위해 용접부를 가열하는 것을 말한다.

[표 9-7] 후열조건

P-No	일반열처리 유지온도(°C)	두께(mm)에 따른 최소유지시간	
		25≤50	50<두께(t)<75
1	595	25mm당 1시간 최소 15분	2시간+15분
8	-	-	-

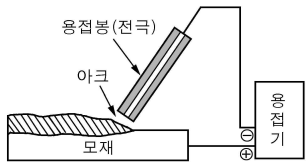
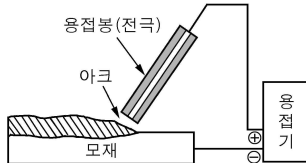
9) 가스(QW-408)

피복 아크 용접에서는 사용되지 않으나 이산화탄소 아크 용접, 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW) 등에서는 용접을 할 때 용융지의 보호를 위해 보호 가스를 사용한다. 예를 들어 가스 텅스텐 아크 용접에서는 아르곤(Ar)가스, 헬륨(He)가스 및 혼합 가스 등의 사용을 표시한다.

10) 전기적 특성(QW-409)

전기적 특성은 모재의 종류, 두께, 용접 방법 등에 따라 다양하게 존재할 수 있다. 일반적으로 정극성과 역극성에 차이와 직류 및 교류의 차이를 비교하면 다음과 같다.

[표 9-8] 정극성과 역극성

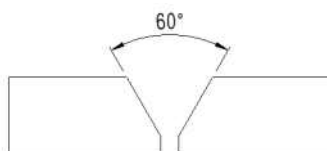
극 성	상 태	특 징
직류 정극성 (DCSP) 모재(+) 용접봉(-)		<ul style="list-style-type: none"> • 모재의 용입이 깊다. • 용접봉의 늦게 녹는다. • 비드 폭이 좁다. • 후판 등 일반적으로 사용된다.
직류 역극성 (DCRP) 모재(-) 용접봉(+)		<ul style="list-style-type: none"> • 모재의 용입이 얇다. • 용접봉이 빨리 녹는다. • 비드 폭이 넓다. • 박판 등의 비철금속에 사용된다.

11) 용접 기법(QW-410)

용접기법은 다양하다. 예를 들어 위빙 없이 비드(string bead)를 한 방향으로 곧게 만들기도 하며, 위빙 비드(weaving bead)를 만들기 위해 용접봉을 용접 방향에 대하여 일정한 형상으로 움직여 비드를 만들기도 한다. 또한, 두꺼운 판의 경우에는 다층(multiple pass)으로 용접을 하여야 하며 얇은 판의 경우는 단층(single pass)으로 용접한다. 이외에도 용접과 관련된 피닝 방법 등 다양한 내용을 소개할 수 있다.

12) 기타

용접 작업과 관련된 필요 사항을 기록할 수 있는데 특히 지금까지 기재된 각항 중 주요사항을 도표화하기도 한다.

용접절차사항서(WPS)			
회사명	Welding Engineering	개정번호	0
사양번호	SMAW-100	일자	2019.9.30.
관련시험번호	SMAWPQR-100	개정일자	-
용접 방법	피복아크용접(SMAW)	형태	수동(MANUAL)
■ 이음(JOINT)			
이음형태: 60° 맞대기 홈 용접			
백킹유무: 세라믹			
이음준비: 줄			
모재(BASE METAL)		■ 가스(GAS)	
사양: 일반구조용강 SS400		보호가스: 해당 없음	
등급: 관계없음		유량: 해당 없음	
크기 및 두께: 9mm 125×150		순도: 해당 없음	
용접재료(FILLER METAL)		■ 전기적특성(ELECTRICAL CHARACTERISTIC)	
용접봉: 저수소계(E4316)		전류: 교류(AC)	
크기 : Ø3.2		극성: 없음	
자세(POSITION)		전류 조절: 85~125[A]	
홈 자세: 수직자세(V)			
용접 진행: 상향			
■ 예열 (PREHEAT)		■ 용접 기법(WELDING TECHNIQUE): QW-410	
예열 온도: 관계없음		직선: 1층	
		운봉: 2~3층	
■ 후열처리(POST WELD HEAT TREATMENT)		단층 또는 다층: 다층	
온도: 관계없음		피닝: 열간 피닝	
		시작과 층간 청결: 와이어 브러시 및 그라인딩	
		청결 방법: 관계없음	
특기사항: 좌우로 운봉하며 비드 중간은 빠르게 양쪽에서는 잠시 정지한다.			
작성자 (PREPARED BY): 강감찬			
검토자 (REVIEWED BY): 이순신			
승인자 (APPROVED BY): 허난설현			

[그림 9-14] 절차사항서

제 10 장 용접 검사⁵⁰⁾

1. 용접부의 검사

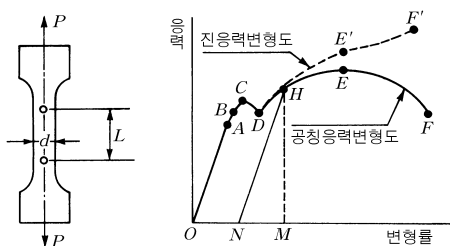
용접부는 용접 전, 용접 중 및 용접 후의 검사로 구분할 수 있다.

- 가. 용접 전의 검사: 용접 설비, 용접봉, 모재, 용접 준비, 시공 조건, 용접사의 기량 등
- 나. 용접 중의 검사: 층의 융합 상태, 슬래그(슬랙) 섞임, 균열, 비드 겹모양, 크레이터 처리, 변형 상태, 용접봉 건조, 용접 전류, 용접 순서, 운봉법, 용접 자세, 예열 온도, 층간 온도 점검 등
- 다. 용접 후의 검사: 열처리 방법, 교정 작업의 점검, 변형, 치수 등의 검사

2. 기계적 시험

가. 인장 시험

인장 시험은 시험편에 서서히 잡아당기는 힘인 인장력을 가하여 항복점, 연신율 등의 기계적 성질을 파악하는 시험이다.



- A : 비례한도(proportional limit)
- B : 탄성한도(elastic limit)
- C : 상항복점(upper yield point)
- D : 하항복점(lower yield point)
- E : 극한강도(ultimate strength)

[그림 10-1] 인장 시험

- 1) 항복점: 하중이 일정한 상태에서 하중의 증가 없이 연신율이 증가하는 점
- 2) 영률 : 탄성한도 이하에서 응력과 연신율은 비례(후크의 법칙)하는데 응력을 연신율로 나눈 상수
- 3) 인장강도= $\frac{\text{최대하중}}{\text{원단면적}}$
- 4) 연신율: $\frac{\text{시험후늘어난길이}(A' - A)}{\text{원래길이}(A)} \times 100$ (A : 원래길이, A' : 늘어난 길이)

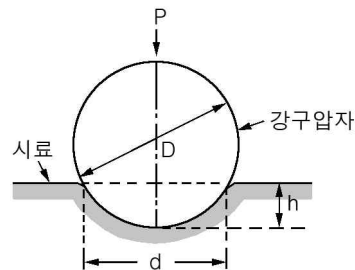
50) NCS 분류번호 : 피복아크용접부 검사 (1601050107_16v2)

- 5) 내력 : 주철과 같이 항복점이 없는 재료에서는 0.2%의 영구 변형이 일어날 때의 응력 값을 내력으로 표시

나. 경도 시험

재료 표면에 일정한 하중을 가하여 압입하여 눌린 깊이를 측정하거나, 일정한 높이에서 물체를 낙하시켜 그 반발 높이를 따져 재료가 단단하고 무른 정도를 알아보는 시험이다. 대표적인 방법으로 브리넬 경도시험, 비커스 경도 시험, 로크웰 경도시험 및 쇼어 경도 시험 방법이다.

- 1) 브리넬 경도는 담금질 된 강구를 일정 하중으로 시험편의 표면에 압입한 후 이때 생긴 오목 자국의 표면적을 측정하여 구한다.



$$HS = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi Dh}$$

$$= \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{kg/mm}^2]$$

W : 하중[kg]

A : 오목 부분의 표면적[mm²]

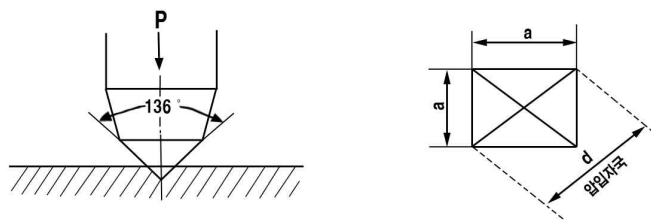
D : 강구의 지름

d : 오목 부분의 지름[mm]

h : 오목 부분의 깊이[mm]

[그림 10-2] 브리넬 경도 시험

- 2) 비커스 경도는 꼭지각인 136°인 다이아몬드 4각추의 압입자를 일정 하중으로 시험편에 압입한 후 생긴 오목 자국의 대각선을 측정하여 산출한다.



$$Hv = \frac{\text{하중 [kg]}}{\text{자국의 표면적 [mm}^2\text{]}} = 1.8544 \frac{P}{d^2} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} \quad [\text{kg/mm}^2]$$

[그림 10-3] 비커스 경도 시험

- 3) 로크웰 경도 : B 스케일(하중 100kg), C 스케일(꼭지각 120°, 하중 150kg)이 있다.

[표 10-1] 로크웰 경도 시험

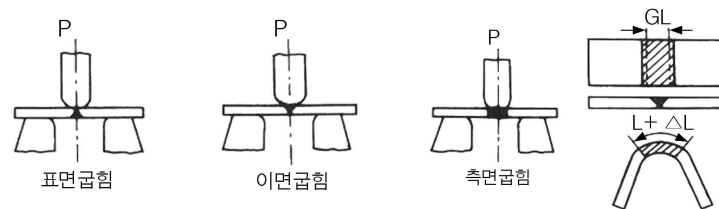
스케일	압 입 체	시험가중	경도계산식	적 용	기호
B 스케일	지름 약 1.5mm(1/16")	100kg	130 - 500 Δt	풀림한 연질 재료	HRB
C 스케일	꼭지각 120° 다이아몬드 원추	150kg	100 - 500 Δt	담금질된 굳은 재료	HRC

4) 쇼어 경도 : 추를 일정한 높이에서 낙하시켜 반발한 높이로 측정한다. 완성품의 경우 많이 쓰인다.

$$H_s = \frac{10000}{65} \times \frac{h}{h_0} \quad h : \text{튀어 오른 높이}[\text{mm}], \quad h_0 : \text{떨어뜨린 높이}[\text{mm}]$$

다. 굽힘 시험

굽힘 시험은 모재 및 용접부의 연성, 결함의 유무를 시험하는 방법으로 종류로는 표면 굽힘, 이면 굽힘, 측면 굽힘 시험이 있다. 국가기술자격 검정에서 사용하는 방법이다. A1 형틀은 두께 3.0~3.5mm, A2 형틀은 5.5~6.5mm, A3 형틀은 8.5~9.5mm의 재료를 굽힘 시험하는데 사용한다.



[그림 10-4] 굽힘 시험 방법



(c) 시험편 가공

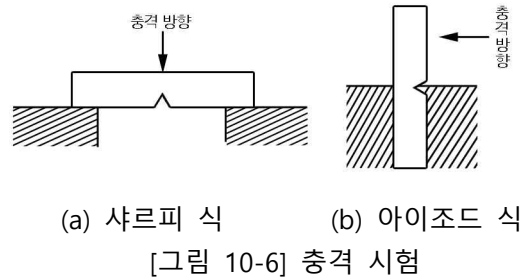


(d) 굴곡시험

[그림 10-5] 굽힘 시험 결과

라. 충격 시험

시험편에 V형 또는 U형 노치를 만들어 해머로 충격을 주어 시험편에 충격에 견디는 인성 및 취성을 알아보는 방법으로 샤르피식, 아이조드식이 있다. 충격 시험은 충격 온도에 큰 영향을 받는다.



마. 피로 시험

반복되어 작용하는 안전 하중이라도 수없이 반복($2 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$)하면 파괴를 일으키는데, 그 성질(피로 한도, S-N 곡선)을 알아낸다.

바. 크리프 시험

재료의 인장강도보다 적은 일정한 하중을 가했을 때 시간의 경과와 더불어 변화하는 현상인 크리프 현상을 이용하여 변형을 검사하는 방법이다.

3. 비파괴 검사 51)

비파괴 검사는 크게 외관 검사, 침투검사, 자기 검사, 누설 검사, 초음파 검사, 방사선 검사, 와전류 검사 방법 등이 있다.

가. 비파괴시험 · 검사의 목적

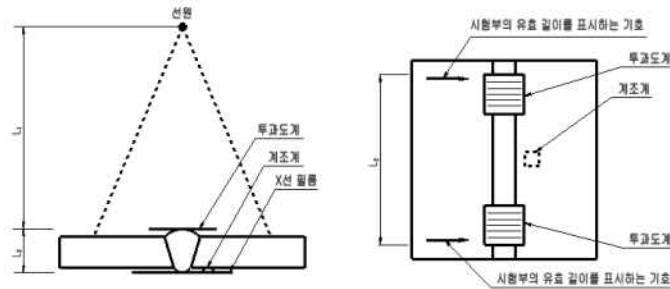
여러 가지 목적이 있으나 우선 그 시험을 통해 무엇을 알고자 하는가를 명백히 밝히고 목적을 달성하기 위해 어떠한 시험 방법과 시험조건을 이용할 것인가에 관해 결정해야 한다.

- 1) 품질보증 : 제품이 기대하는 성능을 만족하게 하지 못하는 원인을 보완하여 신뢰성 향상
- 2) 제조 공정의 개선: 각 제조 공정의 문제점을 해결하여 제조 조건의 수정, 보완
- 3) 제조 원가의 절감: 최종 제품에 이르기 전, 반제품 단계에서 품질이 낮은 것을 제거하여 불량률 감소
- 4) 신소재의 개발: 신소재의 품질보증으로 신소재 개발과 응용

나. 비파괴 시험 · 검사의 종류와 특징

51) NCS 분류번호 : 피복아크용접부 검사 (1601050107_16v2)

- 1) 육안 시험(Visual Testing; VT): 시험체의 표면(형상, 색, 거칠기 결함의 유무 등)을 직접 또는 확대경을 사용하여 육안으로 조사하는 시험으로 외관만 시험한다 하여 외관시험이라고도 한다.
- 2) 방사선 투과 시험(Radiographic Testing; RT): X-선, γ -선, 중성자선을 조사하여 투과된 방사선 강도의 변화로부터 내부의 결함을 조사하는 시험 방법이다.

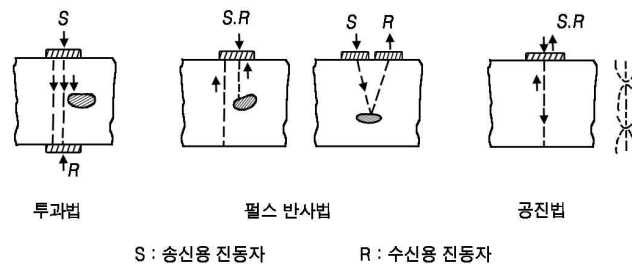


[그림 10-7] 강판의 맞대기 용접 촬영 배치

참고

결함의 종별	결함의 종류
제1종	등근 블로홀과 이에 유사한 결함
제2종	가늘고 긴 슬래그 혼입, 파이프 용입 불량, 융합 불량 및 이와 유사한 결함
제3종	갈라짐 및 이와 유사한 결함
제4종	텅스텐 혼입

- 3) 초음파 탐상 시험(Ultrasonic Testing; UT): 20kHz 이상의 초음파를 시험체 내로 전파해 시험체가 나타내는 음향적 변화로 내부의 결함이나 재질 등을 조사하는 시험 방법이다.



[그림 10-8] 초음파 검사법

- 4) 자기 탐상 시험(Magnetic Particle Testing; MT): 결함에 의한 누설자속을 이용하는 탐상 방법으로 결함 부분에 생긴 자극에 의한 자분의 부착을 이용한 자분탐상시험과 누설자속을 검출하는 누설자속탐상시험이 있다.
- 5) 침투 탐상 시험(Liquid Penetrant Testing; PT): 침투성이 강한 착색된 액체나 형광액

체를 발라 결함의 유무를 조사하는 시험 방법이다.

6) 와전류 탐상 시험(Eddy current Tecting; ET): 코일에 고주파 전압을 걸어 와전류의 흐름을 시험체에 유도해 검출 코일에서 얻은 신호 성분을 해석함으로써 재료를 시험하는 방법이다.

7) 누설 시험(Leak Testing; LT): 누설되는 개수 또는 누설량을 시험하는 방법으로 탱크, 용기 등의 기밀과 수밀을 조사하는 시험 방법이다.

8) 이외에도 스트레인 측정(Strain Measurement; SM), 음향방출 시험(Acoustic emission Testing; AT), 적외선 열화상 해석법(Infrared Thermography Testing ; IRT 또는 TT) 등의 여러 비파괴 시험방법이 있으며 국가기술자 비파괴 자격검사는 방사선, 초음파, 자기, 침투, 와전류, 누설의 6가지의 자격증이 있다.

다. 비파괴시험 · 검사의 분류

1) 검사 원리에 의한 분류

시험체의 물리적인 현상을 검사에너지원으로 이용하며 [표 10-2]에 따라 분류할 수 있다.

[표 10-2] 검사 원리에 따른 분류

물리적 성질	종류
광학, 색채학의 원리	육안시험, 침투탐상시험
방사선의 원리	방사선투과시험, CT시험
전자기의 원리	자분탐상시험, 와류탐상시험
음향의 원리	초음파탐상시험, 음향방출시험
누설의 원리	누설시험
열의 원리	열화상해석법

2) 검사위치에 따른 분류

[표 10-3] 검사위치에 따른 분류

주요 검사 위치	검사방법
표면 또는 표층부 검사	육안시험, 침투탐상시험, 자분탐상시험, 와류탐상시험
심층부 또는 내부 검사	방사선투과시험, 초음파탐상시험

3) 비파괴시험 · 검사 방법의 장단점

[표 10-4] 비파괴시험·검사 방법의 장단점

검사방법	장점	단점
방사선 투과검사 (RT)	<ul style="list-style-type: none"> · 거의 모든 시험체의 검사가 가능하다. · 재료의 내·외부 검사가 가능하다. · 구상결함 검출에 우수하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 인체에 유해하다. · 모재 두께가 커질수록 장비 용량도 커져야 한다. · 결함의 깊이 등의 위치를 측정하기 곤란하다. · 방사선 조사 방향에 대해 기울어져 있는 균열 등은 검출되지 않는다.
초음파 탐상검사 (UT)	<ul style="list-style-type: none"> · 내부 결함 검출 감도가 높다. · 투과력이 좋아 두꺼운 시험체의 검사가 가능하다. · 결함의 크기와 위치를 정확하게 검출할 수 있다. · 검사결과가 신속하고 휴대가 간편하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 시험체의 형상이 검사에 영향을 준다. · 불감대가 존재하여 표면 바로 밑 결함의 검출이 곤란하다. · 검사자의 폭넓은 지식과 경험이 필요하다.
자기 탐상검사 (MT)	<ul style="list-style-type: none"> · 표면 및 표면 바로 밑 결함의 검출이 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> · Fe, Ni, Co 계의 강자성체에 한정된다. · 재료의 내부검사가 불가능하다.
침투 탐상검사 (PT)	<ul style="list-style-type: none"> · 원리 및 적용이 간단하고 제품의 크기 형상에 구애를 받지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 표면에 열려있는 불연속만 검출할 수 있다. · 액을 흡수하는 재료에 적용이 곤란하다.
와전류 탐상검사 (ET)	<ul style="list-style-type: none"> · 파이프와 같이 탐상이 곤란한 물체의 탐상이 가능하다. · 검사 속도가 매우 빠르다. · 자동화가 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 숙련된 기술이 요구된다. · 재료의 외부 검사에 한정된다.
누설검사 (LT)	<ul style="list-style-type: none"> · 지시의 관찰이 쉽고 누설 위치의 판별이 빠르며 검사비가 적게 든다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 액을 흡수하는 재료에는 사용이 불가능하다.

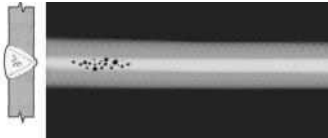
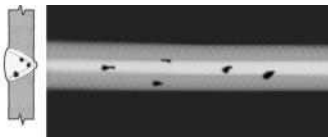

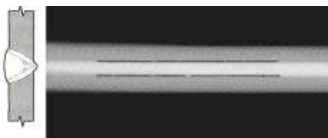
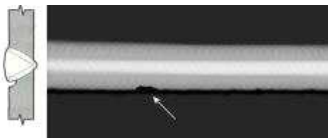
4) 구조상 결함 필름 판독법



KS B0845는 결함을 등근 블로홀, 슬래그 혼입, 용입 부족, 융합 불량, 균열 등으로 구분하고 있다.

4. 화학적 시험

화학적 시험에는 대표적인 것이 부식 시험과 수소 시험이며, 화학 분석 등이 해당한다.

[표 10-5] 구조상 결함 필름 판독법

종류 특징	필름
<ul style="list-style-type: none"> • 등근 블로홀(제 1종 결함: gas holes) 용접 금속의 냉각 시 용해도 차에 의해 용접금속 내부의 수소, 질소, 이산화탄소, 모재의 유황의 함유가 과대한 경우, 전류가 높거나 용접 속도가 빠를 때 발생한다. 투과 사진 상의 모양은 일반적으로 구형이며 농도가 높은 편이고 발생 위치가 일정하지 않다. 	
<ul style="list-style-type: none"> • 가늘고 긴 슬래그 혼입(제 2종 결함: slag) 슬래그 제거 불완전 및 전류가 낮을 때 슬래그의 일부가 용접 금속 내에 개재하는 경우 발생한다. 투과 사진상의 모양은 일반적으로 용접선 내의 전 부분에 나타날 수 있으며 면이 불규칙하고 길이가 그렇게 길지 않으며 여러 개가 동시에 존재할 수도 있으며, 농도는 중간 정도이다. 	
<ul style="list-style-type: none"> • 용입 부족(제 2종 결함: Incomplete Penetration(IP)) 개선 각도가 작거나 루트 간격이 좁을 때 용접 전류가 낮거나 용접 속도가 빠를 때 발생하는 것으로 용접 금속이 루트부까지 이르지 못하는 경우 발생한다. 투과 사진상의 모양은 일반적으로 용접 비드의 중앙 부분에 일직선의 형태로 검고 길게 나타난다. 	
<ul style="list-style-type: none"> • 융합 불량(제 2종 결함: Lack Fusion(LF)) 개선면, 용접 패스 간 용입은 양호하나 용융이 부적절하여 발생한다. 투과 사진상의 모양은 용접 비드의 모재 쪽으로 일직선으로 길게 또는 단락된 직선의 형태로 검게 나타난다. 	
<ul style="list-style-type: none"> • 언더 컷(under cut) 발생 원인은 전류가 높거나, 아크 길이가 너무 길 때, 용접속 도가 빠를 때 주로 발생한다. 투과 사진상의 모양은 가늘고 긴 검은선으로 나타난다. 	

종류 특징	필름
<p>균열(제 3종 결함: crack)</p> <p>균열은 이음의 강성이 크거나 모재 내의 탄소, 망간, 유황 등의 합금원소가 과다할 경우, 전류가 높거나 속도가 과다할 경우 열응력 등에 의해서 발생한다. 발생 위치에 따라 분류에는 비드 균열, 크레이터 균열, 루트부 균열, 토우균열, 비드 밑 균열, 종균열, 횡균열 등이 있다. 또한 고온 균열, 저온 균열, 기타균열 등이 있으며, 투과 사진의 모양은</p> <p>가로 방향 균열인 종균열과 세로 방향의 모양인 횡균열이며, 투과 사진 상에 나타나는 위치가 일정하지 않으며 면이 불규칙적이고 검은 부분과 밝은 부분이 교차로 나타나기도 한다.</p>	
<p>텅스텐 혼입(제 4종 결함: tungsten inclusion)</p> <p>불활성 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)을 할 때 텅스텐 전극이 모재에 접촉하여 떨어졌을 때 발생한다. 투과 사진상의 모양은 일반적으로 불규칙한 흰점으로 나타난다.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> 부식시험: 습 부식, 고온 부식(건 부식), 응력 부식 시험→내식성 검사 위해 사용 수소시험: 45℃ 글리세린 치환법, 진공 가열법, 확산성 수소량 측정법, 수은에 의한 방법 	

5. 금속학적 시험

금속학적 시험에는 파면시험과 매크로 조직시험 등이 있다.

- 파면시험(야금학적 방법): 결정의 조밀, 균열, 슬래그 섞임, 기공, 은점 등을 육안으로 관찰
- 매크로 조직시험: 용접부 단면을 연삭기 또는 샌드페이퍼로 연마하여 적당한 매크로 에칭을 한 다음 육안이나 저 배율의 확대경으로 관찰하여 용입의 양부 및 열영향부 등을 검사. 철강의 에칭액으로는 염산:물, 염산:황산:물, 초산:물 등이 쓰임. 시험 순서는 시편 채취 → 마운팅 → 연마 → 부식 → 검사의 순으로 진행한다.

6. 현미경 조직 시험

시험편을 충분히 연마하여 고배율로 미소 결함을 관찰한다.

- 부식액
 - 철강용은 피크로산 알코올 용액, 초산 알코올 용액
 - 스테인리스강은 왕수알콜 용액
 - 구리 및 합금용은 염화제이철액, 염화암모늄액, 과황산암모늄액
 - 알루미늄 및 그 합금은 플로오르화 수소액, 수산화나트륨

7. 기타 시험

가. 용접 연성 시험

- 1) 코머텔 시험: 시험편에 노치를 붙이지 않고, 시험편에 표면에 반원형의 작은 홈을 파서 일정한 조건을 설정한 뒤 구부려 시험하는 방법으로 오스트리아 시험이라고도 한다.
- 2) 킨젤 시험: 노치를 붙여 사용하는 방법으로 미국에서 많이 사용하는 세로비드 노치 굽힘 시험 방법이다.

나. 용접 균열시험

- 1) 리하이형 구속 균열 시험: 맞대기 용접 균열시험으로 냉각 중에 균열이 일어나는 구속의 정도를 정량적으로 구하는 시험이다. 용접 후 48시간 경과 후 검출한다.
- 2) 피스콘 균열 시험: 고온 균열시험으로 연강, 고장력강, 비철금속, 스테인리스강 용접 봉의 균열시험에 사용되며 용접부를 가늘고 길게 잘라 나머지 부분을 다시 사용할 수 있다는 장점이 있다.
- 3) CTS 균열 시험: 열적 구속도 균열 시험
- 4) T형 필릿 용접 균열 시험: 고온 균열에 사용
- 5) 철연식 균열 시험: Y자형 시험편을 사용

다. 노취 취성 시험

- 1) 샤르피 충격 시험 : 가장 일반적으로 사용되며, 시험 목적에 따라 노치의 형상과 시험 온도를 변경하여 충격값, 연성 파면을 구할 수 있다.
- 2) 슈나트 시험 : 샤르피 충격 시험편의 압축측을 일부 제거하고 그 대신 경도가 높은 텅스텐카바이드로 바꾸어 파면의 전이 온도를 구하는 시험이다.
- 3) 카인일열 시험 : 시험편을 핀 구멍에 삽입한 판으로 잡아당겨 파괴 해파면 상황을 알아보는 시험이다.

라. 로버트슨 시험

시험편의 노치부를 액체 질소를 채우고 반대쪽에서 가스 불꽃으로 가열하여 거의 직선적인 온도 구배를 부여해 놓고 시험편의 양단에 하중을 건채로 노치부에 충격을 가해서 균열을 발생시켜, 시험편에 전파되는 균열이 정지하는 온도의 위치를 구하여 취성 균열의 정지 온도로 정하고 인장 응력과 이 온도와의 관계를 알아내는 시험이다.

마. 열영향부 경도 시험

모재의 강판 상에 비드 용접을 하여 그 직각 단면 접합부(bond)의 최고 경도를 측정하는 시험으로 국제용접학회(IIW)에서는 아크 전압 $24 \pm 4[V]$, 아크 전류 $170 \pm 10[A]$, 용접 속도 $150 \pm 10[mm/min]$ 으로 규정하고 있다.

제 11 장 용접 안전

1. 사고와 재해의 의미

가. 사고

사고는 의도하지 않았으나 인간의 불안전한 행동⁵²⁾ 및 불안전한 상태⁵³⁾가 원인이 되어 인명 피해와 재산상의 손실이 발생할 수 있는 사건이다.

나. 재해

재해는 지진, 홍수, 태풍과 같은 천재지변에 의한 자연적인 사고나 추락, 화재, 독성 물질유출에 의한 인위적인 사고가 원인이 되어 발생하는 인명이나 재산상의 손실을 말한다.

다. 재해 이론

산업 재해는 산업현장에서 불안전한 행동과 불안전한 상태 때문에 발생하는 사고로 인적·물적 피해가 발생한다.

1) 하인리히의 재해 이론

하인리히(Heinrich, H. W.)는 재해 발생 과정을 사회적 환경 및 유전적 요소, 개인적 결함, 불안전한 상태 및 행동, 사고, 재해의 5단계로 설명하였다.

각 단계는 서로 연관되어 있어 도미노처럼 쓰러지면 재해가 발생한다고 하여 도미노 이론이라 한다. 하인리히의 이론은 사고 예방의 중심으로 제3단계인 불안전한 행동 및 상태를 제거하면 재해를 방지할 수 있다고 강조하였다.



[그림 11-1] 하인리히의 재해 이론

52) 인적요인으로 사고를 초래하게 된 작업자 자신의 행동에 대한 불안전한 요소

53) 물적요인으로 작업을 수행하려고 할 때 모든 외적 조건에 잠재적 위험성이 있는 상태

2) 버드의 재해 이론

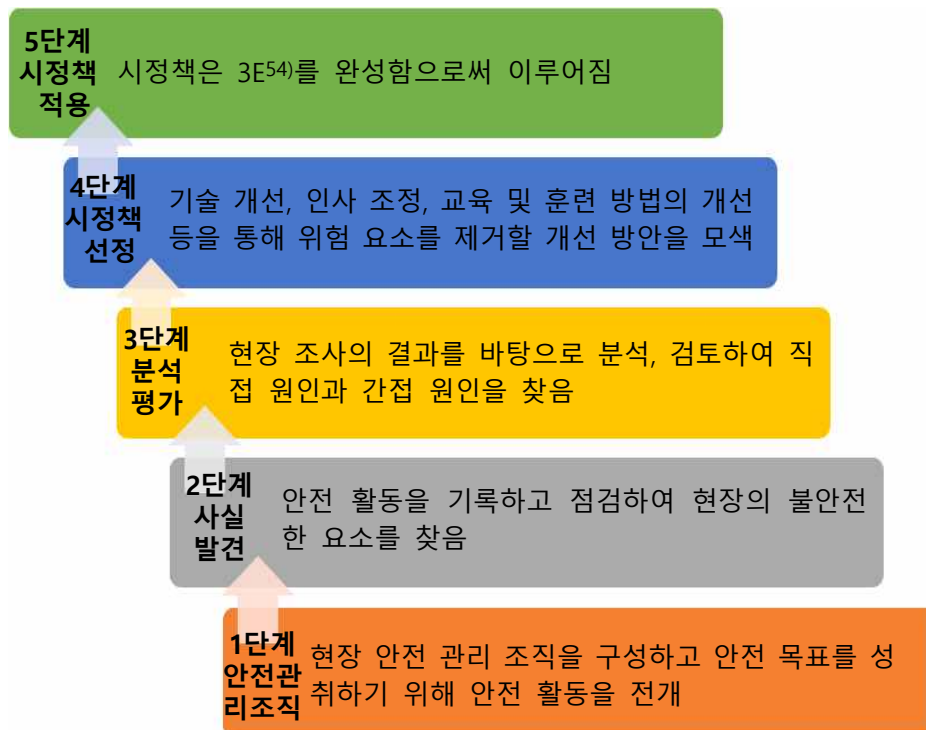
버드는 재해 발생 과정을 통제의 부족, 기본 원인, 직접 원인, 사고, 상해 및 손해의 5단계로 나누고, 사고가 발생하게 된 기본 원인을 제거해야 사고를 방지할 수 있다고 강조하였다.



[그림 11-2] 버드의 재해이론

라. 재해 예방 원칙 및 대책

인간의 실수나 부주의 때문에 발생한 사고는 자신뿐만 아니라 다른 사람들을 다치게 하고 재산상의 손실을 주게 된다. 이를 예방하기 위해서는 네 가지의 기본 원칙이 필요하며, 이 원칙에 의해 5단계의 재해 예방 대책이 필요하다.



[그림 11-3] 재해 예방 대책 5단계

54) 3E : 교육(education), 기술(engineering), 관리(enforcement)

1) 재해 예방의 원칙

재해 예방의 원칙에는 예방 가능의 원칙, 손실 우연의 원칙, 원인 계기의 원칙, 대책 선정의 원칙이 있다.

[표 11-1] 재해 예방의 원칙

종류	설명
예방 가능의 원칙	천재지변을 제외한 모든 사고에는 원인이 반드시 존재하므로 원인을 제거하면 사고의 예방이 가능
손실 우연의 원칙	사고의 결과로 인한 손실 정도는 당시 사고 조건에 따라 우연히 결정되므로 손실을 막기 위해서는 사고의 방지가 우선되어야 함
원인 계기의 원칙	사고의 발생과 사고의 원인 사이에는 인과 관계가 있어서 사고의 발생을 조사하면 사고의 원인이 반드시 존재
대책 선정의 원칙	재해의 예방을 위한 안전 대책이 필수적이며, 대책 마련을 위해서는 기술적·교육적·관리적 대책을 활용함으로써 효과를 얻을 수 있음

2) 재해 예방 대책의 5단계

하인리히는 재해를 예방하기 위해서는 안전 관리 조직, 사실의 발견, 분석 평가, 시정책의 선정, 시정책의 적용의 5단계를 거쳐야 한다고 하였다.

마. 산업안전보건표지

산업안전보건표지는 근로자의 안전보건 의식을 고취하기 위한 사항 등을 그림, 기호 및 글자 등으로 표시하여 근로자가 판단이나 행동을 잘못하여 산업재해⁵⁵⁾를 일으킬 우려가 있는 장소에 설치하거나 부착하는 표지를 말한다.

55) 산업안전보건법 제2조에 따르면 산업 재해는 “근로자가 업무에 관계되는 건설물·설비·원재료·가스·증기·분진 등에 의하거나 작업 또는 그 밖의 업무로 인하여 사망 또는 부상하거나 질병에 걸리는 것을 말함

[표 11-2] 산업안전보건표지

산업안전보건표지	
금지표지	<div>출입금지</div> <div>보행금지</div> <div>차량통행금지</div> <div>사용금지</div> <div>탑승금지</div> <div>금연</div> <div>화기금지</div> <div>물체이동금지</div>
경고표지	<div>인화성물질 경고</div> <div>산화성물질 경고</div> <div>폭발성물질 경고</div> <div>금성독성물질 경고</div> <div>부식성물질 경고</div> <div>발암성·변이원성·생식독성·천식발생·호흡기과민성 물질 경고</div>
	<div>방사성물질 경고</div> <div>고압전기 경고</div> <div>매달린 물체 경고</div> <div>낙하물 경고</div> <div>고온 경고</div>
지시표지	<div>저온 경고</div> <div>물균형 상실 경고</div> <div>레이저광선 경고</div> <div>위험장소 경고</div>
	<div>보안경 착용</div> <div>방독마스크 착용</div> <div>방진마스크 착용</div> <div>보안면 착용</div> <div>안전모 착용</div>
안내표지	<div>귀마개 착용</div> <div>안전화 착용</div> <div>안전장갑 착용</div> <div>안전복 착용</div>
	<div>녹십자표지</div> <div>응급구호표지</div> <div>물건</div> <div>세안장치</div> <div>비상용기구</div> <div>비상구</div> <div>좌측비상구</div> <div>우측비상구</div>
관계자의 출입금지	<div>허가대상물질 작업장</div> <div>관계자의 출입금지 (비가환물·영양·제거/유출/보존 중 보호구/보호복 착용 흡연 및 음식을 삼취 금지)</div> <div>석면취급/해체 작업장</div> <div>관계자의 출입금지 (석면 취급/해체 중 보호구/보호복 착용 흡연 및 음식을 삼취 금지)</div> <div>금지대상물질의 취급 실험실 등</div> <div>관계자의 출입금지 (발암물질 취급 중 보호구/보호복 착용 흡연 및 음식을 삼취 금지)</div>

바. 화재의 종류⁵⁶⁾

1) 화재의 의미

가연성 물질이 산소와 반응하여 열과 빛을 발생하면서 연소하는 현상으로 인간에게 물질적·신체적 손해를 끼치는 사고이다.

2) 화재 예방 대책

먼저 폭발이 일어나지 않도록 주의해야 하며, 화재가 발생하면 적절한 소화 방법과 소화기를 동원하여 신속히 소화함으로써 피해를 최소화하여야 한다. 폭발과 화재가 발생했을 때는 비상구 확보, 피난 계획, 응급조치 등의 비상대책을 마련해야 한다.

3) 등급별 소화 방법

화재의 종류에 따라 A급~E급으로 분류한다.

[표 11-3] 등급별 소화 방법

종류	가연물	특징	주된 소화 효과
 A급 (백색) 일반 화재	목재, 섬유류, 종이, 나무 등	연소 후에 재를 남김	냉각
 B급 (황색) 유류 화재	가솔린, 석유, LPG 등	연소 후에 아무것도 남지 않음	질식
 C급 (청색) 전기 화재	변압기, 개폐기, 전기 다리미 등	누전, 접속부 과열 등의 원인으로 전기기구 및 기계에 의해 발생	냉각
 D급 (회색) 금속 화재	마그네슘, 알루미늄 등의 금속 또는 금속 분진	금속 분진이 점화원과 접촉하여 발생	질식
 E급 (황색) 가스 화재	압축가스, 액화 가스	화재 발생 빈도에 따라 B급으로 분류하기도 함. 가스누출의 원인으로 발생	질식

참고

· 소화기의 종류

포말 소화기: 보통 화재, 기름 화재에는 적합하나 전기 화재는 부적합하다.

분말 소화기: 기름 화재에 적합하며 기타 화재에는 양호하다.

CO₂ 소화기: 전기 화재에 적합하며 기타 화재에는 양호하다.

56) NCS 분류번호 : 피복아크용접 작업안전보건관리 (1601050101_16v2)

4) 연소의 3대 요소

연료(가연물), 산소(공기), 열(점화원) 세 가지 요소가 동시에 있어야만 연소가 이루어질 수 있어 이를 ‘연소의 3요소’ 라고 한다.

5) 소화 방법

연소의 3요소 중 일부 또는 전부 없애는 것을 ‘소화’ 라고 한다. 소화에는 제거소화, 질식소화, 냉각소화가 있다.

[표 11-4] 소화 종류

소화 종류	설명
제거소화	연소 구역에서 가연물을 없애 주는 것
질식소화	산소의 농도를 15% 이하로 떨어뜨려 연소를 중단시키는 것
냉각소화	연소물에서 열을 빼앗아 발화점 이하로 온도를 낮추는 것

2. 용접 사고 재해

가. 용접 위험 및 유해 요인

고열, 용접 불꽃에 의한 화재 및 폭발, 전기충전부 접촉에 의한 감전, 밀폐된 장소에서 산소결핍 및 중독, 유해가스, 아크 광선, 용접 흠 등에 의한 건강장해 및 용접 작업으로 인한 화상 등에 위험 요인이 있다.

나. 용접작업 일방적인 예방 대책

용접작업 장소에는 반드시 4가지 다음 물품을 준비한다. 소방기본법 제15조⁵⁷⁾ 및 같은 법 시행령에서는 용접작업 또는 용단작업 시 비치사항이 있다.

- 약 1,000 ℓ 물통에 물을 담은 것
- 바닥에 깔아둘 용접 불티 등을 받는 불연성 포대 또는 칸막이 등
- 건조 모래
- 분말 소화기 2대

다. 용접 사고의 종류 및 예방 대책

1) 화상 사고

(가) 용접작업 중 스파터가 피부에 접촉되거나 옷 등에 붙게 되면 불이 붙어 화상을

57) 소방기본법 제15조 및 동법 시행령 제5조

· 용접 또는 용단작업자로부터 5m 이내 소화기를 비치

· 용접 또는 용단 작업장 주변 10m 이내에는 가연물을 쌓아두거나 놓지 말 것

입을 수 있다. 용접 후 뜨거운 모재에 접촉하거나 슬래그 제거 때 맨살에 접촉하게 되면 화상을 입을 수 있다. 또한, 가스 용접 토치에 불을 붙이는 순간 화염에도 화상을 입을 수 있어 유의하여야 한다.

(나) 화상 사고 예방

용접 작업 때 작업자와 보조자는 피부를 드러내지 않도록 유의하며, 난연성의 신체 보호구와 보안경 등을 작업조건에 맞게 착용하여야 한다.

(다) 화상의 분류

화상은 1도 화상에서 4도 화상으로 분류할 수 있다.

[표 11-5] 화상의 분류

화상 분류	설명
1도 화상	피부의 표피층에만 화상이 국한된 것으로 단순히 피부의 색깔이 햇볕에 탔을 때와 같이 붉어지는 경우
2도 화상	피부의 진피층까지 화상이 있는 것을 말하며 물집이 생기고 흉터는 아직 생기는 않은 정도
3도 화상	표피, 진피뿐만 아니라 피하조직 층까지 피부 전 층에 화상을 받은 것을 말하며, 반드시 피부이식수술을 해야 치유 됨
4도 화상	3도 화상보다 더 심한 경우를 말하며, 화상 입은 부위 조직이 탄화되어 검게 변함

2) 용접 화재·폭발 사고

(가) 용접 및 절단 작업 때 발생하는 수천℃의 고온의 불티는 주변에 가연물인 위험 물질 등에 직접적 점화원으로 작용하여 화재 및 폭발사고로 발전될 가능성이 크다. 절단때 발생하는 불티의 특성은 3000℃ 이상의 고온으로 산소의 압력, 절단 속도, 풍속 등에 따라 불티의 양과 크기가 달라진다. 예를 들어 절단 산소 압력이 2.5kg/cm²일 때 2.2m 높이에서 날아가는 거리는 3.4m 정도이나, 5kg/cm²일 때는 4.3m까지 날아간다. 일반적으로 날아가는 불티의 크기는 지름이 0.2~3mm 정도이다.

(나) 화재·폭발 사고 예방 대책은 용접작업 전에는 반드시 화기작업허가서를 작성하여 작업장소의 해당 부서장과 안전관리부서의 승인을 반드시 받아야 하며, 화기작업 완료 때까지 화기 감시자를 상주시킨다. 또한, 바닥에 깔아둘 불티 받이포, 소화기, 물통, 건조 모래 등을 비치한다. 용접작업 장소 근처에는 인화성·가연성 물질을 제거하며, 특히 도장작업을 할 때는 동시에 용접작업을 해서는 안 된다.

3) 충전부 접촉에 의한 감전사고

(가) 감전사고는 일반적으로 순식간에 일어나기 때문에 사고를 감지했을 때에는 이미 늦은 경우가 많아, 사전에 대비해야 한다.

- 전기 기기 및 배선 등의 충전부는 노출하지 않는다.
- 누전 차단기를 설치하여 감전사고를 방지한다.
- 젖은 손으로 전기기기를 접촉하지 않도록 한다.
- 퓨즈는 정격용량에 맞는 것을 사용한다.
- 파손된 전기 시설이나 고장난 전기기기는 접촉하지 않는다.
- 전기 수리 작업 시에는 전원을 차단한 후 안전 보호구를 반드시 착용한다.

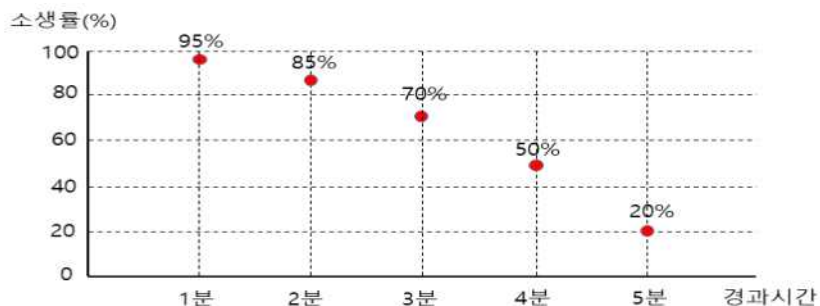
(나) 전격(감전)에 의한 재해는 다른 재해에 비해 사망률이 높으며, 감전에 따른 위험도는 체내에 흐르는 전류값과 통전 지점에 따라 달라진다. 아크 용접 중 전격은 1차 측 및 2차 측 노출된 배선, 용접봉 끝부분 및 피복 손상, 파손된 홀더 등에서 주로 발생한다.

[표 11-6] 전류값에 따른 신체 영향

전류 (mA)	영향
1	약간 느낌
8	경련을 일으키나 위험하지는 않다.
8~15	강력한 경련을 일으키며 쇼크를 느끼나 근육 운동은 가능하다.
15~20	고통을 느끼고 움직이지 못한다.
20~50	고통을 느끼고 근육 수축이 일어나며 호흡이 곤란하다.
50~100	순간적으로 사망할 위험이 있다.

(다) 감전사고 발생 때 최우선 사고 전원을 차단하고 사고자를 안전한 장소로 구출한 후 다음 순서에 같이 조치한다. 감전사고 후 1분 내 심폐소생을 시행하면 95% 정도 생명을 구할 수 있으나 5분이 지나면 20% 떨어진다.

- 사고 전원 차단 → 사고자 안전장소로 구출 → 의식 · 외상 · 출혈 상태 등 확인
- 인공호흡 등 응급조치 실행과 동시에 119등에 사고 발생 신고



[그림 11-4] 경과 시간에 따른 소생률

(라) 용접작업 때 감전사고를 예방하기 위해서는 절연용 홀더와 개인 보호구를 사용하며, 전격방지기가 부착된 용접기를 사용한다. 무부하 전압이 높은 용접기를 사용하지 말고 접지선의 연결 상태를 확인한다. 또한, 과전류 등에 의한 배선 케이블

이 손상되었으면 신품으로 교체하거나 완전히 절연 보수 후 사용하며, 작업 종료 또는 장시간 용접기를 사용하지 않을 때는 반드시 전원을 차단한다.

4) 유독가스 중독사고

- (가) 유독물이 저장되었던 탱크 내부 등에서 용접 작업을 할 때 환기에 유념하여야 한다. 저장소 내부에는 잔류 가스에 중독되거나 질소 가스를 사용해 치환한 영향으로 산소결핍에 따른 사고를 당할 위험이 크다.
- (나) 탱크 제작 등 밀폐공간 작업에 따른 고열 장소에는 신선한 공기를 불어 넣어 열성 발진, 열경련 등을 예방한다.
- (다) 유독가스 체류 농도 측정 후 안전을 확인한 후 산소 농도를 측정하여 18% 이상 일때 작업한다.

[표 11-7] 산소량에 따른 신체 영향

산소 농도(%)	영향
6	순간 혼절, 경련, 호흡 정지, 6분 이상이면 사망
8	실신, 혼절, 7~8분 이내에 사망
10	안면 창백, 의식 불명, 구토
12	어지럼증, 근력 저하, 체중 지지 불능으로 추락함
16	호흡 및 백막의 증가, 두통, 메스꺼움
18	안전한계이나 연속 환기가 필요

- (라) 맨홀, 피트 등 환기가 불충분한 곳에서 작업할 때는 긴급사태에 대비하여 외부와의 연락장치, 비상용사다리, 밧줄 등을 준비한다.

5) 용접 흠

- (가) 용접 흠에는 크롬, 망간, 구리, 아연 등이 포함되어 있어 용접폐증뿐만 아니라 망간이 함유된 용접봉 사용에 따른 망간 중독사고가 일어날 수 있다.
- (나) 용접 흠이란 용접할 때 발생하는 증발한 물질이 냉각되어 생기는 미세한 소립자를 말하며, 고온의 아크열에 의해 용융 금속 증기가 대기 중으로 확산하면서 발생한다. 용접 흠은 전류나 전압이 클수록 용접봉 지름이 클수록 발생량이 증가한다. 또한, 피복제의 종류 중 티타니아계는 낮고 알루미늄이트계는 높다.
- (다) 이산화탄소(CO₂) 용접을 할 때 CO₂ 가스는 CO+O로 해리되면서 일산화탄소(CO)가 발생하므로 좁은 장소 밀폐된 장소에서 작업을 피해야 하며, 이산화탄소 아크 용접 작업장은 특히 환기에 특별히 유의한다.

6) 유해 가스

- (가) 용접에서 발생하는 유해 가스의 유해성은 용접 흠만큼은 인식되지 못하고 있으나 오존, 질소산화물, 일산화탄소, 이산화탄소, 불화수소 등 다양한 유해 가스가 발생하고 있다.
- (나) 유해 가스는 용접 흠과 마찬가지로 용접작업자에게 만성적인 호흡기 장애를 일으킬 수 있어 그 대책이 필요하다.

- (다) 유해 가스와 용접 흠을 위한 대책으로는 국소 배기장치 등의 환기설비를 설치하여야 한다. 또한, 외부에서 용접작업을 할 때 바람을 등지고 하거나 차광펜스 등을 설치하여 바람을 막는다.

7) 아크 광선

- (가) 용접에서 발생하는 아크 광선은 눈에 ‘전광성 안염’을 일으키고 눈이 광선에 노출 후 수 시간이 지나면 발생한다. 장시간 노출되면 백내장과 망막황반변성이라는 치명적인 질환을 가져올 수 있어 주의한다.
- (나) 아크 광선에 포함된 자외선과 방사선은 피부를 붉게 하고 살갓을 태워 피부 화상을 유발할 수 있어 주의한다.
- (다) 아크 광선에 의해 피해를 줄이기 위해서는 작업조건에 맞는 차광 필터를 사용하여 용접하고, 작업복 등의 신체 보호구를 꼭 착용하고 작업한다.

8) 추락 사고

- (가) 용접작업은 높은 구조물 등에서 실시하는 경우가 많아 작업자가 용접에 집중하다 보면 순간적으로 떨어지는 추락 사고가 발생할 수 있다.
- (나) 추락 사고로 인한 재해를 예방하기 위해서는 안전모를 반드시 착용하며, 안전대, 안전난간을 설치한다. 또한, 용접할 때 긴급하게 자세를 변경하지 않는다.

[표 11-8] 안전모의 종류

종류(기호)	사용 구분	비 고
AB	물체의 낙하 또는 비래, 추락에 의한 위험을 방지 또는 경감시키기 위한 것	
AE	물체의 낙하 또는 비래에 의한 위험을 방지 또는 경감하고, 머리부의 감전에 의한 위험을 방지하기 위한 것	내전압성 (7000V 이하의 전압)
ABE	물체의 낙하 또는 비래, 추락에 의한 위험을 방지 또는 경감하고, 머리부의 감전에 의한 위험을 방지하기 위한 것	내전압성

· 안전모는 모체, 착장체 및 턱 끈을 가지고 있어야 됨
 · 안전모의 착용 높이는 85mm 이상이고 외부수직 거리는 80mm 미만일 것
 · 안전모의 내부수직 거리는 25mm 이상, 50mm 미만일 것
 · 안전모의 수평 간격은 5mm 이상일 것

라. 심폐소생술

- 1) 심폐소생술이란 심장과 폐의 활동이 갑자기 멈추었을 때 실시하는 응급조치로 심장 박동이 멈추고 숨을 쉬지 않는 사람에게 인공적으로 호흡을 불어넣고 흉부를 압박하여 산소가 포함된 혈액을 뇌로 보내주는 것을 말한다.
- 2) 4분 이내에 심폐소생술을 실시하게 되면 생존율이 50%이며 1분 이내 제세동시 생존율은 90% 이상이다. 응급의료에 대한 선한 사마리아법⁵⁸⁾ 제정으로 일반인도 응급상

황에 심폐소생술을 실시하여 사고재해자의 생존을 도와야 한다.

[표 11-9] 심정지 후 시간별 경과

시간별	경과
0~4분	심폐소생술을 실시하면 뇌 손상이 거의 없음
4~6분	뇌 손상의 가능성이 높음
6~10분	뇌 손상의 가능성이 확실시 됨
10분 이상	심한 뇌 손상 또는 뇌사가 됨

3) 심폐소생술 방법

1 환자 확인 및 119 신고

- 환자의 몸 움직임 눈 깜빡임, 대답 등으로 반응 확인
- 환자의 반응이 없으면 즉시 큰 소리로 주변 사람에게 119도움 요청, 도움 요청 때는 구체적인 사람을 지목, 주위 아무도 없는 경우 즉시 본인이 119 신고
- 주위 자동제세동기가 비치되어 있다면 함께 요청

2 가슴 압박

- 환자의 가슴 중앙에 깍지 낀 두 손의 손바닥 뒤꿈치를 댐
- 손가락이 가슴에 닿지 않도록 주의하며 가슴 압박 실시
- 양팔을 쭉 편 상태에서 체중을 실어 환자의 몸과 수직이 되도록 가슴 압박(성인 분당 100~120회, 5~6cm 깊이), 가슴 압박은 '하나', '둘', '셋'...하고 세어가면서 진행

3 기도 개방

- 환자의 머리를 젖히고 턱을 들어 올려서 환자의 기도를 개방

4 인공호흡 2회 시행

- 머리 젖혔던 손의 엄지와 검지로 환자의 코를 막고, 입을 크게 벌려 환자의 입을 완전히 막은 뒤 가슴이 올라올 정도로 1초 동안 숨을 불어 넣음
- 숨을 불어 넣은 후 입을 떼고 코도 놓아 주어 공기가 배출되도록 함

5 가슴 압박과 인공호흡 반복

- 인공호흡 후 30번의 가슴 압박과 2회의 인공호흡을 119구급대원이 올 때까지 반복해서 시행

6 회복 자세

- 가슴 압박과 인공호흡을 계속 반복하던 중에 환자 의식과 호흡이 회복되었는지를 확인
- 회복되었을 경우 환자를 옆으로 돌려 눕혀 기도가 막히는 것을 예방하고 계속 움직이고 호흡하는지 관찰
- 환자의 정상적인 호흡이 없거나 없어지면 심정지가 재발한 것이므로 가슴 압박과 인공호흡을 즉시 다시 시작함

[그림 11-5] 심폐소생술 방법

58) 선한 사마리아법(2008년 6월제정): 선한 의지를 가지고 일반인이 응급상황에 있는 사고재해자를 구제하다가 의도하지 않은 불의의 결과가 발생하더라도 정상참작이나 면책을 받을 수 있게 함

참고 문헌

1. 고등학교 산업 설비 (상) (2004, 교육인적자원부)
2. 고등학교 산업 설비 (하) (2004, 교육인적자원부)
3. 고등학교 특수용접 (2011, 씨마스)
4. 용접·접합 용어 사전 (2011, 대한용접학회)
5. 용접·접합 편람 (2008, 대한용접학회)
6. 용접 학과 정복 (2015, 한진)
7. 특수용접 (2006, 한국산업인력공단)
8. 용접1(2010, 씨마스)
9. 공업입문(2009, 천재)
10. How to weld (2016, Motorbooks intl)
11. NCS 학습모듈 피복아크용접
12. NCS 학습모듈 CO₂ 용접
13. NCS 학습모듈 가스메탈아크용접
14. NCS 학습모듈 가스텅스텐아크용접
15. NCS 학습모듈 서브머지드아크용접
16. 학습모듈 로봇 용접
17. 한국표준정보망 KS 규격 열람



용접 개론서 집필

- ☐ 강상욱 장학사(서울시 교육청, ksw007@sen.go.kr)
 - 용접기능장, 방사선비파괴검사기사, 전산응용가공산업기사
 - (전) 서울공고 설비공업과, 용산공고 기계자동차과, 동작관악교육지원청
 - 전국기능경진대회 심사위원(특수용접), 서울시 지방기능경진대회 심사위원(배관)
 - 2013년도 'CO2 용접' NCS 및 활용패키지 개발진
- ☐ 박은혜 차장(한양이엔지(주), eunhye301@hanmail.net)
 - 노동부 우수숙련기술자, 대한민국산업현장교수, 용접기능장, 배관기능장
 - NCS기반 '용접', '판금' 부분 신직업자격설계 문제원형 개발위원
 - 일학습병행제 'Tig 용접, 피복아크용접' 외부평가기준(문제) 설정(출제)위원
 - 2017년도 '재료' 분야 NCS 기반자격 교육, 훈련과정 개발위원 등
- ☐ 검토·자문
 - 강승관 한국용접공업협동조합 전무이사

유 의 사 항

뿌리산업 개론서 내용을 대외적으로 활용 및 인용할 경우에는 반드시 원 출처를 명기하여 주시기 바랍니다. 관련 참고문헌 및 데이터 출처는 본문의 해당 자료에 명시하였습니다.

뿌리산업 인적자원개발위원회(금형·금속가공·표면처리·용접)
☎ 070-4269-9388 / osm@koreamold.com