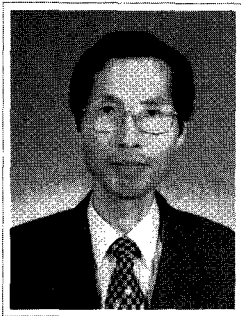


고속 용착-GTAW 공법을 이용한 RCS 배관의 용접에 대한 고찰

박 운 재

한전 원자력교육원 부교수



우 리 나라에서 원자력발전
소 건설시 RCS(Reactor
Coolant System) 배관의
용접에는 대부분 수동-SMAW
(Shield Metal Arc Welding) 공법
을 사용하고 있다.

용접 품질을 향상시키기 위하여
자동 용접 공법의 도입이 끊임없이
논의되어 왔는데, 자동 용접이 가져
오는 품질 향상에도 불구하고 용접
속도가 느려 공기의 연장 문제로 자
동 용접 도입을 주저하고 있다.

자동 텅스텐아크 용접(Machine-
Gas Tungsten Arc Welding : M-

GTAW)은 가장 좋은 품질의 용접
금속을 생산하지만 용접 속도가 느
린 단점이 있다.

오늘날 널리 사용하는 Narrow
Groove Welding(NGW) 공법을 사
용하면 M-GTAW 공법의 효율을 상
당히 증가시킬 수 있으며, Groove
의 체적, 작업 시간 및 수축량을 감
소시킬 수 있어 공정 개선 효과가 뛰
어나다. SMAW 공법과 거의 동일한
시간이 소요되나 용접 품질은 월등
하다. 그러나 장비나 용접사에 대한
비용이 증가된다.

지금까지 증기발생기의 설치나 교
체 작업시 속도보다는 품질을 선택하
였다. 그러나 최근의 M-GTAW 공법
은 종전의 느린 속도 문제를 해결하
기 위하여 고속 용착 용접 공법(High
Deposition Welding Process)으로
개선되었다.

본고에서는 증기발생기 설치나 교
체시 대구경 배관 용접에 고속 용착
용접 공법을 적용하였을 경우, 작업
시간 및 수축량 등을 올린 원자력
3·4호기의 RCS 배관 용접 사례와

비교하여 고찰하고자 한다.

기술적 배경

1. 고속용착 GTAW(High-Dep. GTAW)의 소개

자동-GTAW 공법은 적어도 20
년 동안 사용되었으며 원자력산업에
서 품질 관리와 작업자 안전의 두 가
지 이유 때문에 선호된다.

M-GTAW 공법의 경우 품질은
우수하지만 GMAW 및 SMAW에 비
해 속도가 느린 단점이 있다. M-
GTAW의 특징인 우수한 품질을
GMAW, 고속 용착-GTAW 공법 등
의 고속 용착 공법의 생산성과 결합
시키기 위하여 Dual Gas GTAW,
Multicathode GTAW Hot Wire
GTAW 등의 공법이 개발되었다.

이들 대부분의 공법들은 최근 몇
년 동안 공장에서 성공적으로 사용
되었다. 그러나 이들 공법들은 최근
까지 발전소 현장에 적용하지 못하
고 가스 차폐 문제로 두꺼운 배관의
용접에는 적용되지 못하였다.

화학적 변화를 초래하는 잔류 마그네슘, 고온 예열 요건 및 용접부 차폐의 불가능 등의 이유로 현장에는 적용이 어려웠다.

고속 용착-GTAW 공법은 이들 문제를 극복하고 현장에서 벽두께 6", 예열 온도 350°F인 크롬-몰리브덴 합금 배관에 성공적으로 적용되었다.

2. 입열량 측정

M-GTAW 공법은 일정한 전류 및 이동 속도 등 우수한 공법이지만 일반적으로 입열량은 GMAW · FCAW · SMAW 등 다른 자동 고속 용착 공법보다 많다.

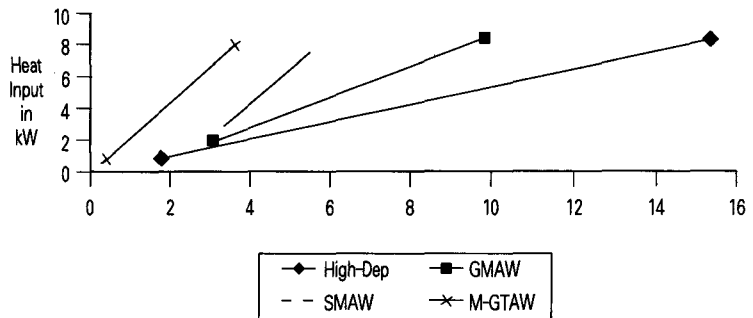
고속 용착-GTAW 공법은 GMAW와 FCAW의 용착률과 비교하여 양호한 용착률을 얻을 수 있고 입열량 관리시 훨씬 더 큰 융통성을 제공한다.

또한 고속 용착-GTAW 공법은 서로 독립적으로 이송 속도 및 용접 전류를 조절할 수 있고 용접 비드의 용융, 용접 비드의 모양이나 용접 금속의 희석을 미세하게 조절할 수 있다.

용접 공법의 효율을 비교할 때 주어진 분량의 용접봉을 용착시키는 데 필요한 아크 에너지(kW-to-lb/hr)를 평가하는 것이 대단히 유용하다.

고속 용착-GTAW 공법은 다른 용착 공법과 비교하여 용접봉 1파운드당 입열량이 가장 낮다(그림 1).

kW-to-lb/hr 비율 검토에 추가하여 용접 입열량을 계산하는 데 사



〈그림 1〉 여러 용접 공법의 아크 에너지 대 용착률과의 관계

용되는 방법은 다음과 같다.

가. 입열량 평가

J/in는 용접 입열량을 평가하는 표준 측정 단위이며 다음 공식에 의해 계산된다.

$$\text{용접 입열량} = \frac{60 \times A \times V}{\text{이송 속도}} \text{ [Joule/in]} \quad (\text{식 1})$$

GMAW나 SMAW 등의 용접 공법에 소비되는 용접봉을 평가할 때 입열량을 계산하는 J/in 계산 방법은 아크 에너지와 용착 금속 사이에 직접적인 관계가 있다.

입열량은 아크 에너지와 용접봉 이송률 또는 소진율(Burn Off Ratio)과 직접적으로 관련된다.

그러나 비소모성 GTAW 공법에는 J/in 계산 방법을 적용할 수 없다. 예를 들면 입열량이 낮을 때 용접봉이 거의 용착되지 않고 아크 에너지의 대부분이 모재에 직접 전달된다.

나. 에너지 밀도 및 출력비

에너지 밀도(MJ/in³)와 출력비

(kW/in²)를 사용할 때 고속 용착-GTAW 공법에서 용접 품질과 상대 입열량의 중요한 관계가 수립될 수 있다. 에너지 밀도는 다음 공식에 의해 계산될 수 있다.

$$\text{에너지 밀도} = \frac{A \times V \times 60 \times 10^{-6}}{\text{용접봉 단면적} \times \text{용접봉 이송 속도}} \text{ [MJ/in}^3\text{]} \quad (\text{식 2})$$

여기서 A는 전류이고 V는 전압이다. 출력비는 다음 공식에 의해 계산된다.

$$\text{출력비} = \frac{A \times V \times 10^{-3}}{\text{용접 금속의 단면적}} \text{ [kW/in}^2\text{]} \quad (\text{식 3})$$

〈표 1〉은 아크 에너지(kW), 용착률(lb/hr), 입열량(J/in), 에너지 밀도(MJ/in³)와 여러 가지 용접 공법 사이의 관계를 설명한다.

고속 용착-GTAW 공법의 경우 kW값이 상대적으로 낮고 용착률이 높을 때 MJ/in³값은 GMAW와 같이 낮게 나타난다.

〈표 1〉 여러 용접 공법의 아크 에너지 대 용착률과의 관계

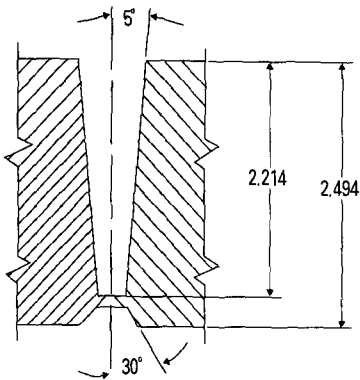
Process	kW	Lb/hr	J/in	Mj/in ³	kW/in ²
High-Dep GTAW	2.7	2.2	46790	1.3	74
M-GTAW	3.1	1.1	60520	2.9	147

〈표 2〉 동일 RCS 배관에 대한 고속 용착-GTAW와 M-GTAW의 비교

Process	KW	Lb/hr	J/in	Mj/in ³
High-Dep GTAW	5.7	8.1	39690	0.7
M-GTAW	3.7	1.6	55130	2.3
GMAW	9.3	10.8	33730	0.8
SMAW	7.1	5.7	76450	1.2

〈표 3〉 용접 시험편

번호	항목	세부 사항
1	치수	외경 34", 벽 두께 2.494"
2	재질	오스테나이트 스테인리스 Type CF8 배관, CF8A 스테인리스강 노즐
3	용접 자세 및 진행 방법	45° 경사 6G 자세, Double-Up
4	Groove 형태	Narrow Groove 이음부
5	Wire Type 및 직경	ER 316L, 0.045"
6	차폐 가스	100% 아르곤
7	총당 용접 비드의 두께	• Segment 1: 0.15" 비드 • 내경측 Segment: 0.080" 비드 • Segment 2: 0.135" 비드 • 최종 Segment: 0.145" 비드



〈그림 2〉 Narrow Groove 용접 이

〈표 2〉는 M-GTAW와 고속용착-GTAW공법 사이의 차이를 설명한다. 이들 값은 증기발생기 설치 및

교체시 적용된 자격 부여 절차로부터 얻어졌고 같은 조건에서 얻어진 각 공법의 최고값을 나타낸다.

여기서 고속용착-GTAW 공법의 출력비(kW/in³)는 M-GTAW의 1/2 밖에 안된다.

3. Narrow Groove Joint의 설계

Narrow Groove Welding(NGW)은 좁은 Groove 용접 이음부 형상에 적용되는 용어이며 오늘날 자주 적용되고 이음부 각도가 20° 미만인 용접 이음부를 말한다.

NGW의 확실한 이점은 이음부 체

적의 감소로 소모 용접봉의 양이 적어지고 용접 이음부 수축량의 감소이다. 또한 배관 자재의 잔류 응력을 감소시킨다. 이 시험에 사용되는 이음부 설계는 증기발생기 설치시 NGW 공법을 적용할 경우의 관련 요건과 경험에 근거한다(그림 2).

고속 용착 용접 시험 방법

1. 용접 시험편(표 3)

용접 변수는 미리 작성된 용접 절차서에 근거하였으며 용약된 용접 변수는 〈표 4〉에 나타내었다.

용접은 두 가지 공법으로 수행하였다. 고속 용착 공법은 외경측에 적용하고 M-GTAW 공법은 내경측의 일부 마무리 작업에 사용하였다.

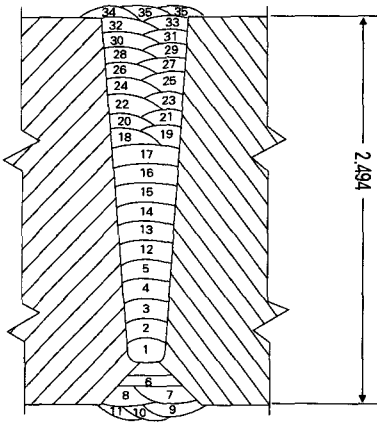
외경측의 Root Pass부터 완전 용입 용접 방법으로 1/3T(두께)까지 용접하고 다음에 내경측을 용접하였다. 다시 외경측을 용접하기 시작하여 2/3T까지 용접하고 나머지 외경측 용접을 최종 Pass까지 완료하였다.

2. 용접부의 수축량에 대한 평가

축방향 수축량은 각층의 용접 완료시 내경 및 외경에 대하여 배관 원주를 따라 12지점에서 측정하여 기록하였다(그림 4).

반경 방향 수축량은 4단계로 측정하여 기록하였다(그림 5).

• 1단계 : 외경측의 1/3T 용접 완



〈그림 3〉 용접 비드의 용착

표시 측정

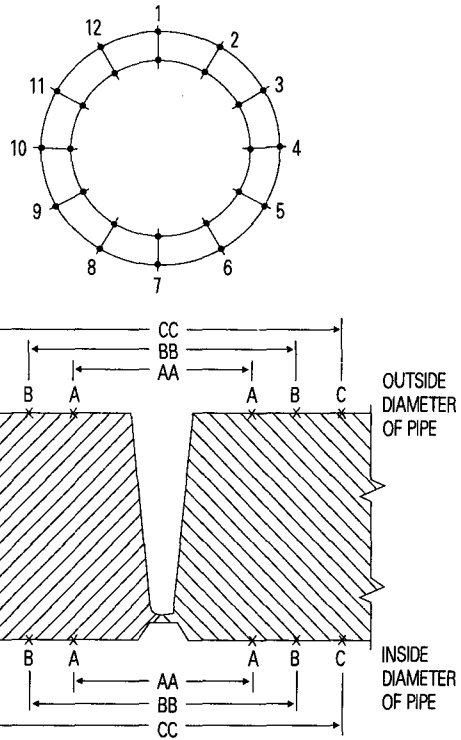
- 2단계 : 외경측의 1/3T 용접 완료 후 내경측 용접 완료시 측정
- 3단계 : 외경측의 2/3T 용접 완료시 측정
- 4단계 : 외경측 용접완료시 측정 내경측과 외경측에 대하여 설명된 모든 데이터는 4단계 측정 시험에서 수립되었다.

3. 시험 및 검사

용접부에 액체 침투 탐상 시험 및 방사선 투과 시험을 수행하여 ASME Sec. IX의 시험 기준에 합격하였다. 다음에 시험편을 파괴 시험 분석에 사용하였고 파괴 시험 결과는 다음과 같다.

가. 굽힘 시험

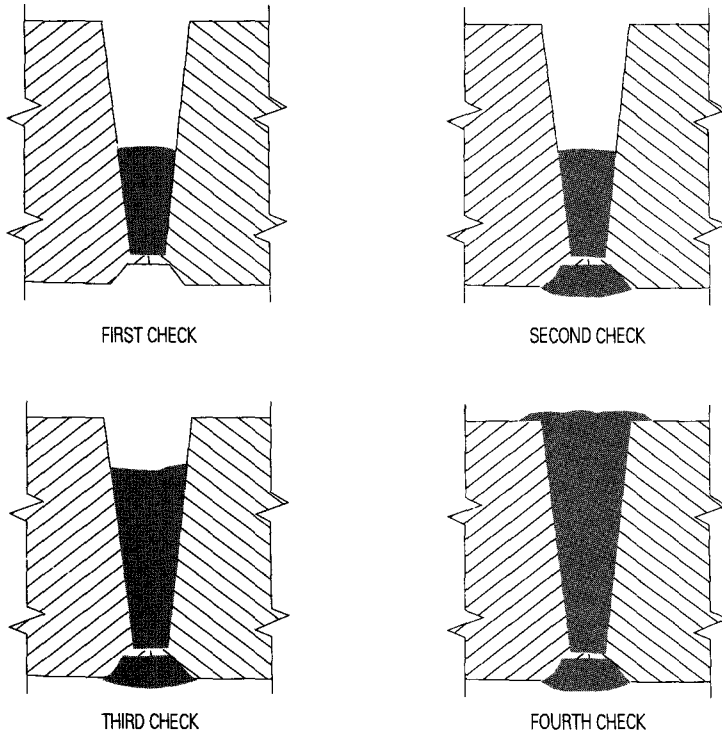
8개의 시험편을 육안 검사한 결과 균열이 없었고 기타 열린 결함이 없었다.



〈그림 4〉 반경 방향 및 축 방향의 수축량 측정 지점

〈표 4〉 용각된 용접 변수

Weld Pass	Amps avg	Volt avg	Wire avg/ipm	Travel ipm	KW	lb/hr	kJ/in	MJ/m ³	kW/m ²
1	235	9.1	2.61	25	2.14	0.68	49.16	3.23	140
2	240	9.0	2.86	45	2.16	1.22	45.31	1.81	86
3	240	9.2	3.04	55	2.21	1.49	43.58	1.51	77
15	275	9.1	3.29	70	2.49	1.89	45.39	1.34	74
16	295	9.2	3.48	80	2.71	2.16	46.79	1.28	74
17	295	9.3	3.34	80	2.74	2.16	49.28	1.29	72
22	280	9.1	4.28	72.5	2.55	1.96	35.72	1.33	95
23	285	9.1	4.70	62.5	2.59	1.69	33.11	1.57	123
26	280	10.2	4.69	72.5	2.86	1.96	36.54	1.49	116
27	280	10.2	4.52	67.5	2.86	1.82	37.91	1.60	120
31	240	9.7	4.28	47.5	2.33	1.28	32.64	1.85	132
32	225	9.5	4.51	42.5	2.14	1.15	28.44	1.90	143



〈그림 5〉 수축량의 측정 단계

〈표 5〉 수축량 측정 결과의 평균치

단위 : in

측정 단계	AXIAL AA		AXIAL BB		RADIAL COMBINED	
	OD	ID	OD	ID	AA	BB
1단계	0.099	0.098	0.103	0.101	0.023	0.025
2단계	0.106	0.097	0.105	0.114	-0.003	0.015
3단계	0.153	0.103	0.147	0.121	0.024	0.027
4단계	0.183	0.117	0.161	0.122	0.060	0.051

〈표 6〉 인장 시험 결과

시험편	#1 Top	#1 Middle	#1 Bottom	#2 Top	#2 Middle	#2 Bottom
직경(in)	0.5060	0.5073	0.5082	0.5053	0.5059	0.5070
인장 응력(ksi)	85200	86200	88900	86300	87300	80200
항복 응력(ksi)	49600	47300	50400	47300	46400	42400
Elongation(%)	55	58	69	57	59	52

나. Macro-Etch 시험

용접부의 시험 결과 모재와 이전 층으로 완전히 용융되었고 균열 및 심각한 결함이 없었다

다. 현미경 시험

심각한 야금학적 변형이 없었고 감지할 수 있는 열 영향부가 없었다

라. 입계 부식 시험

모재와 열영향부의 구조에 야금학적 변형이 거의 발견되지 않았고 탄화물 석출이 없었다.

마. 인장 시험

인장 시험 결과는 〈표 6〉에 나타내었다

4. 야금학적 고찰

야금학적 시험 결과는 다음과 같이 나타났다. 용접부는 원자로 냉각재 배관 및 유사한 배관의 모든 요건을 충분히 만족시켰다. 고속 용착-GTAW 공법을 사용하여 건전하고 품질이 우수한 용접 금속을 얻을 수 있었고 고속 생산이 가능하였으며 수축량이 감소하였다. 적절하게 수행된 오스테나이트 스테인리스강의 용접부에서는 현미경 검사시 열영향부가 거의 나타나지 않는다. 만약 열영향부가 발견되면 일반적으로 모재가 장시간 동안 높은 온도에 노출되었을 때 나타나는 지시이며 높은 입열량을 요구하는 용접 공법이나 기법 사용시 나타난다.

〈표 7〉 울진 3·4호기 용접 대상

배관	배관수	재질		내경	두께	현장 용접 번호
Hot Leg	2	원자로 노즐	SA508 CL-3	42"	4"	FW 001-004
		S/G 노즐	SA508 CL-3			
		배관	SA508 CL-1A			
Cold Leg	4	원자로 노즐	SA508 CL-3	30"	3.1"	FW 005-008 FW 013-016
		RCP 노즐	SA508 CL-3			
		배관	SA508 CL-1A			
Cross Over Leg	12	S/G 노즐	SA508 CL-3	30"	2.9"	FW 009-012 FW 017-028
		RCP 노즐	SA508 CL-3			
		배관	SA508 CL-1A			
Surge Line	5	RCP 노즐	SA403 WP-347	12"	1.3"	FW 029-034
		HOT LEG 노즐	SA403 WP-347			
		배관	SA312 TP-347			

5. 용접 시간

총용접 시간은 많이 개선되었다. 이 용접에 대한 Arc 시간은 16시간을 약간 초과하였다. 방사선 작업 환경을 고려하여 Root Pass 시작 시점부터 최종 Pass 완료시까지의 최종 용접 시간은 대략 37시간이 걸렸다. 두 지점에서 동시에 용접을 수행하면 공정 단축이 가능하다.

이 공법을 현장에 적용했을 때 장비 설치 시간, 비파괴 시험 시간, 테이프 용접 시간을 고려하지 않았을 경우 18.5시간 후에 완료할 수 있었다.

울진 원자력 3·4호기 사례 검토

최근에 건설된 한국 표준형 원자력발전소인 울진 원자력 3·4호기에서 수행된 원자로 냉각재 배관의 용접에 대해 검토하고자 한다

1. 용접 대상(표 7)

2. 관련 시험 및 서류

- ① PQ(Procedure Qualfication) Test
- ② LBB(Leak Before Break) Test
- ③ WPS(Welding Procedure Specification) 발행 및 승인
- ④ 용접사 자격 부여
- ⑤ RCS Loop 배관 설치 절차서(WPP/QCI) 발행 및 승인

3. 용접 공법

Hot Leg, Cold Leg 및 Cross Over Leg의 용접시 SMAW 용접 공법을 적용하고 상기 배관의 Root Pass 용접과 Surge Line 용접 시에는 수동 GTAW 공법을 적용하였다.

4. 세부 작업 공정(표 8)

5. 수축량 비교

고속 용착 시험에 사용한 시험 자재(2.94")와 유사한 두께(2.9")를 가진 울진 원자력 3호기 중간관(Cross Over Leg)의 수축량은 〈표 9〉와 같

으며 4개의 용접부에 대한 평균 수축량을 산출하면 6.88mm이다.

고속 용착 시험 용접부의 수축량을 평가하기 위해 〈표 5〉에서 수축량이 가장 큰 외경측 4단계의 수축량의 평균값을 계산하면 4.37mm이다.

고속 용착 시험편의 수축량이 울진 원자력 3호기 RCS 배관의 수축량에 비해 약 2.5mm 이상 감소했음을 알 수 있다.

6. Groove 형상(그림 6)

7. 용접 작업 소요 시간

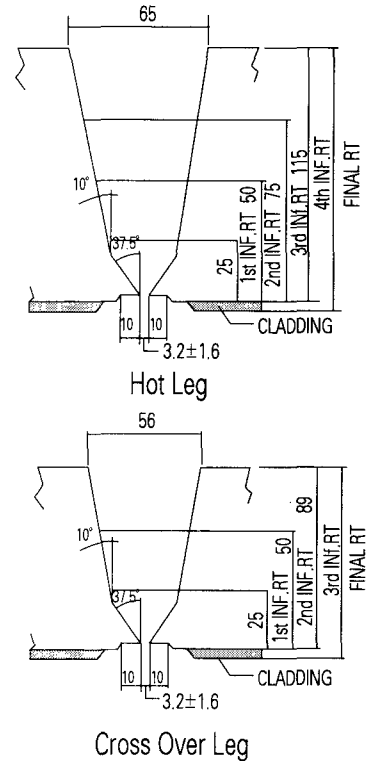
울진 원자력 3호기의 용접 기록서

〈표 8〉 울진 3, 4호기 용접 세부 작업 공정

배관	배관수	세부 사항
1	Fit-Up 및 예열	<ul style="list-style-type: none"> • 예열 온도 : 135~150°C • 용접부에 90° 간격으로 Insert Lug 설치(예열 개시 후 설치) • Fit-up Gap이 넓은 경우 내부에 Back-Bar 설치
2	1차 외경측 C/S 용접 (용착량 1" 기준)	<ul style="list-style-type: none"> • 변형 발생 방지를 위해 Balance 용접 실시 • 용접 완료 후 Insert Lug를 제거하고 제거부 Marking
3	중간 후열 처리 실시	<ul style="list-style-type: none"> • 260~280°C로 4시간 유지 • 용착부의 수소 제거 및 열영향부의 경화 조직 생성을 억제하기 위해 실시
4	내경측 Back Chipping	<ul style="list-style-type: none"> • 내부 Grinding 작업시 작업자 보호를 위해 예열 온도를 100°C까지 낮춤 • Back Bar를 제거하고 Groove 깊이 10~15mm를 Grinding • Back Chipping 부위 표면 검사 및 Insert Lug 제거부 표면 검사(MT)
5	내경측 Back Fill 용접	<ul style="list-style-type: none"> • 내경측 Back Chipping 완료 후 Back Fill 용접 • 전용집 길이를 8구간으로 분할하여 Balance 용접 실시 • 예열 온도 100°C 유지
6	중간 후열 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 260~280°C로 4시간 유지
7	1차 중간 비파괴 검사(RT)	<ul style="list-style-type: none"> • RT Film 보호를 위해 예열 온도를 60~60°C로 낮춤 • RT 촬영 구간을 정확히 Marking하여 촬영
8	2차 외경측 C/S 용접	<ul style="list-style-type: none"> • Balance 용접 • 예열 온도 150~180°C로 유지
9	중간 후열 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 후열 처리 온도 260~280°C에서 4시간 유지
10	2차 중간 비파괴 검사(RT)	<ul style="list-style-type: none"> • RT Film 보호를 위해 예열 온도를 50~60°C로 낮춤 • RT 촬영 구간을 정확히 Marking하여 촬영
11	3차 외경측 C/S 용접 (용착량 3" 기준)	<ul style="list-style-type: none"> • Balance 용접 • 예열 온도 150~180°C로 유지
12	중간 후열 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 후열 처리 온도 260~280°C에서 4시간 유지
13	3차 중간 비파괴 검사(RT)	<ul style="list-style-type: none"> • RT Film 보호를 위해 예열 온도를 50~60°C로 낮춤 • RT 촬영 구간을 정확히 Marking하여 촬영
14	4차 외경측 C/S 용접 (용착량 2" 기준)	<ul style="list-style-type: none"> • Balance 용접 • 예열 온도 150~180°C로 유지
15	중간 후열 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 후열 처리 온도 260~280°C에서 4시간 유지
16	최종 중간 비파괴 검사(RT)	<ul style="list-style-type: none"> • RT Film 보호를 위해 예열 온도를 50~60°C로 낮춤
17	내경측 Cladding 용접	<ul style="list-style-type: none"> • 적절한 페라이트 함량(5~8FN)을 유지하기 위해 Arc 거리를 최대한 짧게 유지 • 예열 온도 85~95°C 유지
18	비파괴 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 내부 Cladding 표면 : PT • 외부 C/S 용접부 표면 : MT
19	최종 후열 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 후열 처리 온도 : 620±20°C로 3시간 유지
20	후열 처리 후 표면 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 전용접부 외부 표면 검사 : MT • Cladding 용접부 표면 검사 : PT • 전용접부 비파괴 검사 : RT • 전용접부 초음파 탐상 검사

를 근거로 평균 용접 작업 소요 시간을 산출하면 다음과 같다.

일일 순작업 시간은 6시간으로 계산하였다. 중간관(Cross Over Leg)의 경우 고온관(Hot Leg)과 저온관(Cold Leg)의 용접이 완료되어 RCP(Reactor Coolant Pump) 및 증기발생기의 기기 이동 요인이 제거되어 상대적으로 작업 여건이 양호하여 작업 기간이 단축되었다. 울진 원자력 3호기의 작업 공정표에 의하면 RCS배관 용접에 총 217일이 소요되었다. Balance 용접을 하기



〈그림 6〉 Groove 형상

〈표 9〉 울진 3호기 중간관(Cross Over Leg)의 수축량

용접 번호	단계별 수축량(단위: mm)				평균 수축량
	단계	1차 RT	2차 RT	3차 RT	
FW-009	1	7.4	8.2	8.4	7.18
	2	5.7	6.7	6.8	
	3	5.0	6.5	6.7	
	4	5.8	6.6	6.8	
FW-010	1	7.7	7.9	8.2	7.88
	2	7.4	7.7	7.9	
	3	5.9	7.7	8.1	
	4	6.5	7.0	7.3	
FW-011	1	5.3	5.7	6.2	5.6
	2	3.5	5.2	5.2	
	3	3.5	4.1	4.6	
	4	5.0	6.2	6.4	
FW-012	1	6.1	7.8	7.8	6.85
	2	5.9	6.8	6.8	
	3	4.5	6.0	6.0	
	4	5.9	6.8	6.8	

결론

고속 용착-GTAW 등의 고속 용착 공법은 증기발생기 설치 및 교체 시 원자로 냉각재 배관의 용접에 적용하기에 적합하다. 완전 용입 용접을 적용하는 경우 Root Pass의 Fit-up 허용치 범위가 넓었으며 소모성 삽입체 (Consumable Insert) 를 사용하지 않았다.

용접 품질이 뛰어나고 용접 변수의 조정이 용이하다. 용접 금속의 용착율이 좋았으며 필요시 용접 공정에 대한 융통성이 허용되었다.

만약 정확하게 적용되면 고속 용착-GTAW는 다른 방법에 의해 수립된 기계적·야금학적 목표를 달성하는 데 융통성이 있었다.

고속 용착-GTAW는 용착 금속 파운드당 입열량에 대해 넓은 범위의 조절이 가능하고 여러 이음부 설계에 대해 같은 결과를 얻을 수 있었다.

장기 전원 계획에 따라 2015년까

〈표 10〉 울진 3호기 용접 작업 소요 시간

호기	배관	작업일/Point	작업 시간/Point	비고
3호기	Hot Leg	16일	96시간	
	Cold Leg	10일	60시간	
	Cross Over Leg	5일	30시간	작업 여건 양호

지 18기의 원자력발전소를 건설해야 할 우리 나라의 경우에 약 5만톤의 용접봉을 소모해야 하며 200일 이상의 장기간 용접작업을 수행해야 하는 RCS 배관 용접 작업에 고속 용착-GTAW 공법을 사용하면 시험에 의해 입증된 저입열량, 저희석(Dilution) 및 고속 생산의 목표를 동시에 달성할 수 있을 것이다.

생산성이 향상되고 용접 이음부의 형상이 최소화되어 축방향의 수축량이 감소하고 용접 체적을 감소시키며 용접 기법을 단순화시킬 수 있

며 고품질의 용접을 보장할 수 있을 것이다.

이 공법은 울진 원자력 3·4호기의 경우에 비해 작업 시간이 평균 2배 이상 단축되고 수축량도 평균 2.5mm 이상 개선되었다는 점에서 무엇보다도 공기 단축 효과가 지대함을 파악할 수 있다.

지속적인 기술 검토와 연구 개발을 통하여 우리 나라의 원자력 산업계에도 이와 같은 선진 기술을 적용함이 바람직하리라 사료된다.