

# ATOS 80 고장력강의 용접 패스에 따른 용접부 방사선검사에 관한 연구

백정환\*, 최병기<sup>+</sup>

(Manuscript received: Sep, 6, 2012 / Revised: Nov, 30, 2012 / Accepted: Dec, 4, 2012)

## A Study on the Radiograph Inspection of Specimen in Welding Pass Using ATOS 80 High-strength Steel

Jung-Hwan Baek\*, Byung-Ky Choi<sup>+</sup>

### Abstract

In constructing all kinds of equipment and steel structure, parts with discontinuities such as weld defects formed in the welded structure can generate fatigue cracks that results in damage or accidents. In this study, weld zones are investigated with X-rays and the latent images are put on film. Weld zone defects can be verified by developing the film. As weld defects are investigated by radiographic testing and correlated with the welding condition, more appropriate welding conditions can be found. According to the result of X-ray radiographic inspection of butt welding ATOS 80 high-strength steel with a thickness of 12mm, the best conditions for welding without creating weld defects are 4 weld-passes, a protective gas of 20% CO<sub>2</sub> and 80% Ar, a protective gas flow of 20L/min, a welding current of 200A, an arc voltage of 24V, a welding speed of 14.4cm/min, a welding rod angle of 50°, a welding gap of 5 mm with a ceramic base, and sand pre-heating to 160° Celsius prior to welding.

**Key Words :** Welding conditions(용접조건), Weld pass(용접 패스), High-strength steel(고장력강), Structure(구조물), Fatigue crack(피로 크랙), Butt Welding(맞대기 용접)

## 1. 서론

용접은 모재를 국부적으로 가열하거나 압력을 가하여 재료 상호간에 용해 및 응고, 확산, 소성변형 등의 금속학적 현상을 동반하는 접합하는 방법이다<sup>(1)</sup>. 이러한 용접적용 분야는 자동차, 조선, 플랜트 산업 등 철구조물의 접합 공정에서는 필수적인 생산기술이다<sup>(2)</sup>.

용접은 5,000~6,000°C 정도의 높은 온도로 국부적으로 행하여 금속조직의 변화 및 열응력 영향을 크게 받으므로 용접조건이 적절하지 못하면 용접결함이 발생하기 쉽고, 또한 용접열에 의한 모재의 변질, 변형과 수축, 잔류응력의 발생 및 용접부 내의 화학성분과 조직의 변화를 피할 수 없게 된다. 특히, 용접사의 숙련에 의하여 용접조건에 따라 용접부의 강도를 저하시키는 요인이 많으므로 양호한 용접을 하기 위해서는 용접 전,

<sup>+</sup> 조선대학교 대학원 기계공학과

\* 교신저자, 조선대학교 공과대학 기계공학과

주소: 501-759 광주광역시 동구 필문대로 309

✉ Corresponding Author E-mail: bkchoi@chosun.ac.kr

용접 중, 용접 후에 있어서 용접재료, 용접설비, 용접시고, 용접 후 열처리 등을 선정하여 용접 후에 적부 검사된 제품이 요구대로 완성되고 있는가를 확인하여야 한다<sup>(3,4)</sup>. 그로 인하여 각종 자동차의 프레임 및 적재함, 선박의 블록, 중장비, 농기계, 고가 사다리의 붐대, 열설비의 열교환기, 압력용기, 저장용기 등 철 구조물의 용접부에 여러 가지 결함에 의하여 외부 하중에 대항하지 못하고 급격히 파괴되는 경우가 있다. 이러한 파괴는 예측할 수 없는 상황에서 순식간에 사고가 발생함으로써 인명 및 재산 피해를 당하는 심각한 사태를 초래한다<sup>(5)</sup>. 용접은 용접 시 공하는 동안에 용접결합이 발생할 가능성이 높기 때문에 안정성이 높은 제품을 제작하기 위해서는 용접결합을 최소화하여야 하고, 용접사는 용접에 관한 전문 기술과 지식을 습득하여야 한다<sup>(6,7,8)</sup>.

용접 후에 발생한 용접 결함은 용접부 내외부를 검사하여 결함 정도에 따라 용접부의 합격 여부를 결정한다. 그러나 사용되는 철구조물의 용접 부위를 파괴검사를 실시할 수 없기 때문에 안정성 조사에 비파괴검사를 하고 있다<sup>(9,10)</sup>.

현재, 불도저, 크레인, 굴삭기 등의 붐대, 덤프트럭의 적재함, 건설기계, 각종 농기계 등의 프레임 제작에 있어서는 고강도 강재가 필요하다. 이러한 고강도 강재에는 POSCO에서 생산된 ATOS는 ‘포스코 고유의 브랜드명으로 고강도·초경량화 요구에 반영할 수 있는 혁신제품으로 초경량·고강도 특성뿐만 아니라 우수한 품질 및 안정화로 수입 소재를 국산화 대체하여 원가 절감 및 수급 안정에 크게 기여하고 있다.

특히, 고강도 재료에 주로 많이 사용하는 인장강도가 80kg/mm<sup>2</sup>급 ATOS 고장력강은 기존 80kg/mm<sup>2</sup>급 고장력강보다 반복하중에 대한 피로파괴가 높을 뿐만 아니라 내구성이 높으며 가격은 비싸지만, 고강도가 필요한 산업기계 등의 프레임 제작에 많이 사용되는 재료이기 때문에 용접시공에 있어서는 신중하게 용접을 하여야 한다.

이에 본 연구에서는 인장강도가 80kg/mm<sup>2</sup>급 ATOS 고장력강을 용접패스에 따른 용접조건에 따라 용접한 후, 용접부에 X선을 조사하여 나타난 용접부의 결함을 규명하고, 용접패스에 따른 적합한 용접조건을 구하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 모재

본 연구에 사용된 강재는 인장강도는 80kg/mm<sup>2</sup>급 고장력강으로 POSCO에서 생산된 ATOS 강재로 두께 12mm 열간압연 판재를 사용하였다.

Table 1은 본 실험에 사용된 ATOS 80 고장력강의 화학적 성분을 나타냈으며, 인장시험과 경도시험을 통해 구한 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of steels used (wt. %)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr
ATOS 80	0.071	0.06	1.68	0.0136	0.038	0.02
	Cu	Mo	V	Ti	Ab	Fe
		0.15	0.06	0.107	0.032	BAL

Table 2 Mechanical properties of steels used

Steel	Yield strength (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Elongation (%)
ATOS 80	831	773	15

### 2.2 용접 준비

본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 시편을 용접을 한 후에 용접시에 발생하는 용접결합을 측정하였다. 용접 실험은 Fig. 1과 같이 구속하지 않는 상태에서의 용접조건과 같은 방법으로 용접하여 실시하여 용접을 진행하였다.

따라서 본 실험에서는 Fig. 1과 같이 구속하지 않는 상태에서 Table 3과 같이 용접이음패스 수와 용접보호가스 종류 및 혼합가스 조성한 비율에 따라 용접한 용접부 내외부를 X 방사선 검사에 의하여 촬영된 필름을 판독하여 용접결합 등급을 판정하여 용접결합 상태를 파악하여 비교, 검토하였다. 용접방법은 Flux cored arc welding으로 시험편의 용접조건에 따라 아래보기로 용접하였다.

ATOS 80 고장력강을 GMAW(Inert gas metal arc welding, 불활성가스 금속 아크용접)로 용접하였는데, 사용된 용접봉은 모재와 같은 성분의 재질로 Ø1.2mm인 80킬로급 고장력강용 플럭스 코어드 와이어 AWS A5.29 E110T1-K3C를 릴 형태의 와이어를 사용하였다.

용접할 모재의 용접부 주위에 불순물이 부착되어 있으면 용

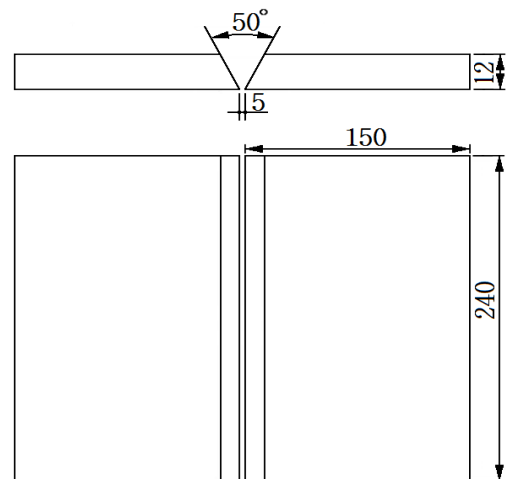
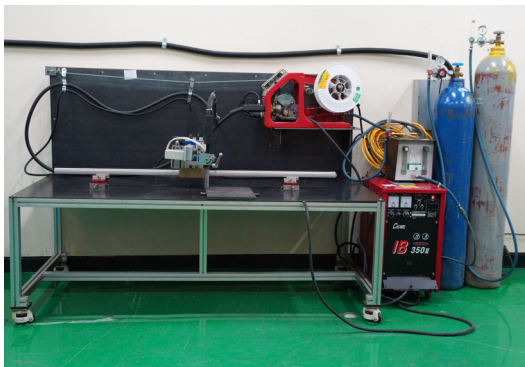


Fig. 1 Nonrestraint condition in welding specimen

**Table 3 Nonrestraint welding condition of pass and mixed gas**

X-film NO.	A-2	A-3	A-8	A-9
SPEC. NO	A125451 201	A125551 201	A225451 201	A225551 201
Pass	4	5	4	5
Protect gas	CO <sub>2</sub> 100%	CO <sub>2</sub> 100%	CO <sub>2</sub> 20%+ Ar80%	CO <sub>2</sub> 20%+ Ar80%
Route interval (mm)	5	5	5	5
Gas amount (ℓ/min)	20	20	20	20
Current (A)	200	200	200	200
Arc voltage (V)	24	24	24	24
Angle (°)	50	50	50	50
Speed (cm/min)	14.4	14.4	14.4	14.4
Temperature (°C)	160	160	160	160



**Fig. 2 GMAW welding equipment**

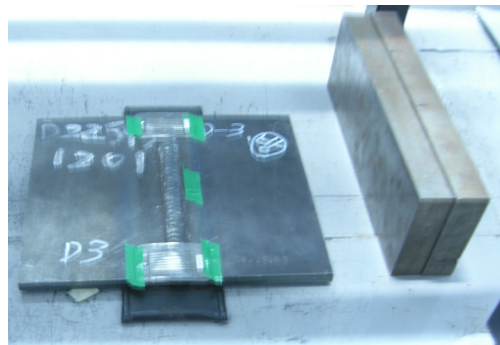
접에 악영향을 끼치게 되므로 용접하기 전에 용접개선부 전체를 밀링가공 후 Sand-paper wheel grinder를 사용하여 깨끗하게 청소한 후 용접하였다.

본 실험에서 용접에 사용한 실딩가스는 CO<sub>2</sub> 100% 및 CO<sub>2</sub>20%+Ar80% 혼합가스를 사용하였으며, 순도는 99.5% 이상에서 바람과 먼지, 습기 등이 없는 실내에서 작업을 하였다. GMAW 장치도는 Fig. 2와 같으며, 사용한 GMAW용접기는 출력이 12.5KW, 350A인 조웰 CO.에서 제작한 것으로 자동 펄스형 GMAW용접기를 사용하였다.

ATOS 80 고장력강의 이면용접부는 완전하게 실딩하고, 각 시험편은 용접조건에 따라 실시하였으며, 용접부의 표면온도가 200°C 이하 서냉한 후 각 패스용접을 하였다.



**Fig. 3 Indication on the Radiograph of equipment**



**Fig. 4 X-ray Radiographic test of welding specimen**

### 2.3 방사선투과시험 조건 및 촬영

본 시험에서는 ATOS 80 고장력강 용접시편 방사선투과검사 절차서에 따라 X선 발생장치를 사용하여 관전압 290kvp, FFD(Focus film distance, 선원-필름간 거리) 600mm를 적용하였고, FFD는 70cm 이었다. 필름은 폭 114mm, 길이 309mm의 것을, 투과도계는 KS형, 모재는 12mm의 것을 사용하였다. 부재쪽 흡 마스크와 조사장 쪽 평 마스크를 적용하여 시험을 수행한 후 20°C, 5분에서 현상하였으며, 필름농도는 2.0을 만족하도록 시험하였다.

시험범위의 사진농도는 결함을 제외하고 1.8~4.0으로 하며, KS B 0845 강 용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법에 따라 분류하였다.

철강의 방사선 투과시험은 KS B 0845(2005년) 규정에서는 결함을 제1종은 등근 블로홀 및 이에 유사한 결함, 제2종은 슬래그혼입, 용입불량, 융합불량 및 이와 유사한 결함, 제3종은 갈라짐 및 이와 유사한 결함, 제4종은 텅스텐 혼입으로 각각 1류, 2류, 3류, 4류로 분류한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력강재를 용



접패스의 용접조건에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 용접 이음의 패스 수에 따라 4, 5패스로 분류하여 실딩가스가 CO<sub>2</sub> 가스 100%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 A2, A3 라 정의하였으며, 보호가스가 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 A8, A9라 정의하였다. 실딩가스의 양은 20l/min, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 맞대기 이음 개선각을 25°, 용접진행속도는 14.4cm/min, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 맞대기이음의 뒷면재는 용접용 세라믹백재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Fig. 5, 6, 7, 8로 나타내었다.

### 3.1 CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 이음 패스 수에 따른 맞대기 이음

Fig. 5는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 용접전류 200A, 용접 패스 수를 4패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층비드에서 아주 작은 블로우 홀 4점 존재하여 2급 정도로 알 수 있으며, Fig. 6에 비교하면 용접 패스수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스보다 용접결함이 적은 것을 알 수가 있다.

Fig. 6은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 용접전류 200A, 용접 패스 수를 5패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드에서 적은 블로우 4개 정도로 제1종 2류 정도이며, 2층 비드에서는 6mm 정도 슬래그 혼입되어 4류 정도이다. Fig. 5에 비교하면 용접 패스수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스를 한 용접부가 용접결함이 많은 것을 알 수가 있다. 이것은 용접 패스 수가 많아짐에 따른 부하와 함께 용접부에 결함이 생길

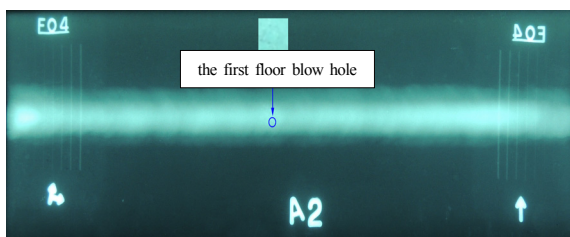


Fig. 5 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100%

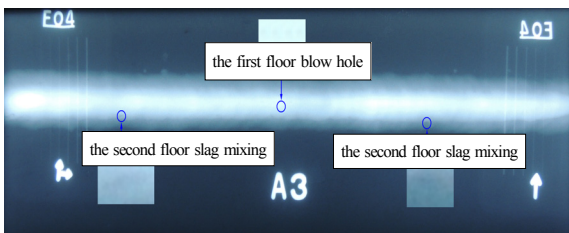


Fig. 6 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO<sub>2</sub> 100%

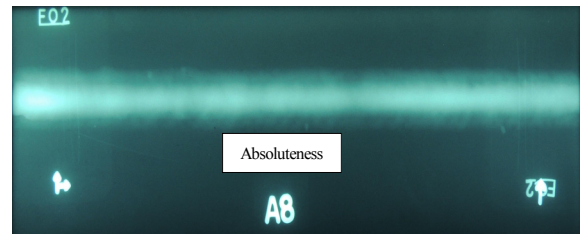


Fig. 7 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%

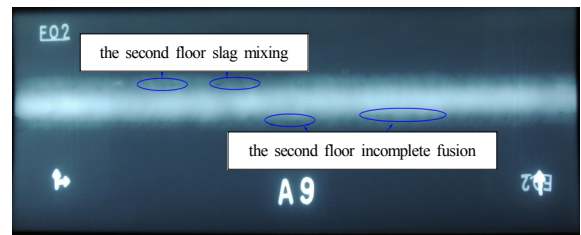


Fig. 8 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%

수 있는 작업요소가 많기 때문이라 생각하며, 또한 용접슬래그 제거를 완전히 못하였기 때문에 발생할 수 있다고 사료된다.

### 3.2 CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%일 때 이음 패스 수에 따른 맞대기 이음

Fig. 7은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%의 혼합가스에 용접 전류 200A, 용접 패스 수를 4패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸 것으로 알 수 있는데, 이는 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 스패터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

Fig. 8은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%의 혼합가스에 용접 패스 수를 5패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 2층에서 25mm 이상 슬래그 혼입되고, 긴 길이의 융합불량으로 불합격인 것을 알 수 있다. Fig. 7과에 비교하면 용접 패스 수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스를 한 용접부가 2층에서 슬래그 혼입과 융합 불량 등 용접결함이 많은 것을 알 수가 있다. 또한 용접슬래그 제거를 완전히 못하였기 때문에 발생할 수 있다고 사료된다.

## 4. 결 론

위 실험을 통하여 인장강도 80kg/mm<sup>2</sup>급 ATOS 고장력강을 용접패스 수에 따라 용접한 용접부를 X선으로 검사하여 나타

난 용접부의 결합 존재 여부와 용접패스 수의 적합한 용접조건을 구하고자 하여 실험한 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아토스 80 고장력강재를 CO<sub>2</sub>가스 100%의 보호가스로 5패스로 맞대기 용접 후 X선 검사 결과보다, 4패스 맞대기 용접한 결과가 용접결합이 아주 적게 나타났으므로 CO<sub>2</sub>가스 100%를 혼합한 상태에서는 4패스로 용접하는 방법이 적합한 조건이라 판단한다.
- (2) 아토스 80 고장력강재를 CO<sub>2</sub>가스 20%와 Ar 80%의 보호가스로 5패스로 맞대기 용접후, X선 검사 결과보다 4패스 맞대기 용접한 결과가 용접결합이 전혀 나타나지 아니 하였으므로 CO<sub>2</sub>가스 20%에 Ar 80%를 혼합한 상태에서는 4패스로 용접하는 방법이 적합한 조건이라 판단한다.
- (3) 두께가 12mm인 아토스80 고장력강재의 GMA welding에서는 보호가스에 관계없이 5패스로 용접한 것보다 4패스로 맞대기 용접하는 것이 적합한 용접조건이라 사료된다.

### 후 기

이 논문은 2010년 조선대학교 교내 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### References

- (1) Cary. H. B., 1979, *Modern Welding Technology*, Prentice Hall, Inc., p. 11.
- (2) Orowan, E., 1955, "Energy Criteria of Fracture," *Welding Journal*, Vol. 34, No. 5, pp. 1575~1582.

- (3) Leonard, P. C., 1987, *Welding Handbook. Eight Edition*, American Welding Society, Vol. 1, pp. 152~153.
- (4) Shin, J. S., 1996, "A Study on Stress Concentration Factor at Fillet Welded Joint," *Transactions of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 33. No. 4. pp. 35~39.
- (5) Suk, C. S., Kim, S. Y., and Park., G. H., 1999, "Response of Welding Residual Stress and Fatigue Crack of Development," *Journal of Mechanical Science and Technology of the Society*, Vol. 23. No. 9, pp. 21~26.
- (6) Normark, G. E., Muller, L. N., and Kelsey, R. A., 1982, *Effect of Residual Stress on Fatigue Crack Growth Rate in Weldments of Aluminium Alloy 5456 Plate*, ASTM STP 776, pp. 44~62.
- (7) Kitagawa, H., and Suh., C. M., 1987, "Crack Growth Behavior of Fatigue Microcracks in Low Carbon Steels," *Fatigue Fracture Engineering Material Structure*, Vol. 9, No. 6, pp. 409~424.
- (8) Choi, B. K., Jang, K. C., Choi, B. H., and Lee, K. A., 2006, "Influence of Carbon Content on the Mechanical Properties of the Ni-Co Alloy," *Journal of Korea Machine Tool Society*, Vol. 15, No. 5, pp. 7~13.
- (9) Cho, K. S., 2008, "Welding Specimen of Radiographic Examination," *The Korean Welding and Joining Society*. Vol. 21, No. 6, pp. 4~9.
- (10) Oh, H. K., Jung, J. G., and Cha, Y. H., 1999, *Welding Engineering*, Wonchang Publishing Co., Korea, pp. 395.