

ATOS 80 고장력강의 보호가스량에 따른 용접부 방사선검사에 관한 연구

백정환*, 최병기⁺

(Manuscript received: Sep, 6, 2012 / Revised: Nov, 7, 2012 / Accepted: Dec, 10, 2012)

A Study on Indications in Radiographic Tests in Welding Specimens According to Shielded Amounts of ATOS 80 High-strength Steel

Jung-Hwan Baek*, Byung-Ky Choi⁺

Abstract

In constructing all kinds of equipment and steel structures, discontinuous areas such as weld defects formed in a welded structure tend to generate cracks that will result in damage. In this study, ATOS high-strength steel welding becomes important in butt welding where the tensile strength of the steel is over 80kg/mm². Structural discontinuities such as joints are more susceptible cracks in part due to their repeated loading and fatigue crack growth. The quality of parts produced depend on the shielded amounts of steel and on the skill of the welders in making strong welds. It is true that there are many factors that can be used to generate a lot of research in this area. However geometry and load conditions due to the combined effects with many issues could be solved through this study. Butt welding material at a plate thickness of 12t in ATOS 80 high-strength steel with a 4 pass, 20l/min, 24V/200A welder is good at making specimens with the quality shown in radiographic testing.

Key Words : Radiographic test(방사선 시험), Welding conditions(용접조건), Structures(구조물), Shielded amounts(보호가스량), High-strength steel(고장력강)

1. 서론

용접은 여러 가지 산업 발전과 더불어 급속히 발전하여 가정 기구를 비롯하여 여러 종류의 기계, 건축, 선박, 교량, 차량, 자동차, 항공기, 압력용기 등의 제작과 과학의 첨단인 로켓트 제작 및 원자로 등 접합에 있어서 가장 큰 비중을 차지하는 접합 방법이다^(1,2). 용접은 약 6,000°C 정도의 높은 온도로 국부적으로

로 진행하여 용접재료에 금속조직의 변화 및 열응력 영향을 크게 받으므로 철구조물의 용접결함과 같은 불연속부에서 반복 하중에 의한 피로균열이 발생하여 성장되면 일시에 파손되는 사고가 많이 발생하고 있다^(3,4,5). 특히, 용접은 용접조건에 의한 용접사의 기능에 따라 용접부의 강도를 좌우된다. 이에 대하여 계속적으로 연구가 진행되고 있으나 야금학적 및 기하학적인 조건과 하중형태 등의 복합적인 영향으로 인해 아직도 해결해

* 조선대학교 대학원 기계공학과

+ 교신저자, 조선대학교 공과대학 기계공학과

주소: 501-759 광주광역시 동구 필문대로

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

야 할 문제가 많이 남아 있다⁽⁶⁾.

각종 플랜트설비나 철구조물의 용접부에 발생된 결함, 외부에서 가하는 하중, 용접부에 함유된 불순물로 하여금 재료의 항복응력 이하의 작은 응력과 내부 응력은 용접부의 내·외부결함을 서서히 성장시켜 어느 한도 하중에서 급속 파괴로 인하여 큰 사고를 발생하게 된다⁽⁷⁾. 이에 따라 용접구조물의 파괴를 방지하기 위하여 용접부의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 용접부 내에 존재하고 있는 용접결함 및 내부 응력을 최대한 감소시켜야 한다^(8,9). 그러나 용접하는 동안에 용접결함과 열에 의한 내부응력이 발생하기 때문에 용접 조건 최적화로 용접 결함 발생을 최소화하여야 한다.

용접부 검사는 용접제품의 사용여부를 결정하기 때문에 사용할 철구조물의 용접부에 대해서는 파괴검사를 할 수 없기 때문에 비파괴검사를 통하여 철구조물의 용접접합부 검사를 하고 있다⁽¹⁰⁾.

현재, 고강도 재료가 필요한 불도저, 크레인, 굴삭기 등의 붐대, 덤프트럭의 적재함, 건설기계, 각종 농기계 등의 프레임 및 구조물 제작에 주로 80kg/mm²급 ATOS 고장력강을 많이 사용하고 있다.

본 논문에서는 용접시편 재료로 80kg/mm²급 ATOS 고장력강을 채택하였는데, POSCO에서 생산된 ATOS는 ‘Sted for Automobile Structure’를 의미하며, 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. 그러나 ATOS의 높은 강도는 기존 80kg/mm²급 고장력강보다 반복하중에 대한 피로파괴가 높을 뿐만 아니라 내구성이 높고 가격은 비싸지만, 용접은 고강도이기 때문에 신중하게 하여야 한다.

이에 본 연구에서는 80kg/mm²급 ATOS 고장력강을 보호가스량에 따른 용접조건에 따라 용접한 후, 용접부에 X선을 조사하여 용접부 결함 존재 여부를 확인하여 용접결함을 규명하고, 적합한 용접조건을 구하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 모재

본 연구에 사용된 강재는 인장강도는 80kg/mm²급 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 용접결함을 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 3, 4와 같이 용접보호가스 종류 및 혼합가스 조성한 비율과 용접보호가스량에 따라 용접한 용접부 내외부를 X 방사선 검사에 의하여 촬영된 필름을 판독하여 용접결함 등급을 판정하여 용접결함 상태를 파악하여 비교, 검토하였다. 용접방법은 플럭스 코어드 아크 용접법(Flux cored arc welding)으로 시험편의 용접조건에 따라 아래보기로 용접하였다.

ATOS 80 고장력강을 GMAW로 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 용접에 악영향을 끼치게 되므로 용접하기 전에 용접개선부 전체를 밀링가공 후 sand-paper wheel 그라인더를 사용하여 깨끗하게 청소한 후 용접하였다.

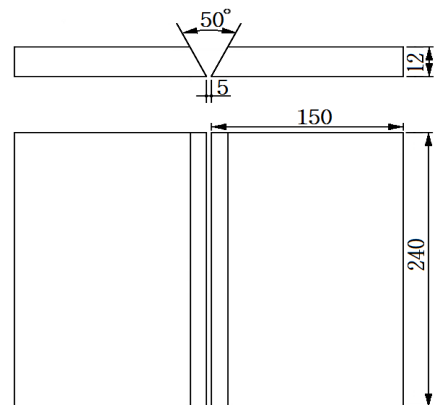


Fig. 1 Nonrestraint welding condition welding specimen

Table 3 Nonrestraint welding condition of pass and mixed gas

X-film NO.	A-2	A-8
SPEC. NO	A125451201	A225451201
Pass	4	
Protect gas	CO ₂ 100%	CO ₂ 20%+Ar 80%
Route interval l(mm)	5	
Gas amount (L/min)	20	
Current (A)	200	
Arc voltage (V)	24	
Angle (°)	50	
Speed (cm/min)	14.4	
Temperature (°C)	160	

Table 4 Nonrestraint welding condition of shieldgas amount

X-film NO.	B-2	B-3	B-8	B-9
SPEC. NO	B125451151	B125451251	B225451151	B225451251
pass	4			
Protect gas	CO ₂ 100%		CO ₂ 20% + Ar 80%	
Gas amount (L/min)	15	25	15	25
Route interval (mm)	5			
Current (A)	200			
Arc voltage (V)	24			
Angle (°)	50			
Speed (cm/min)	14.4			
Temperature (°C)	160			

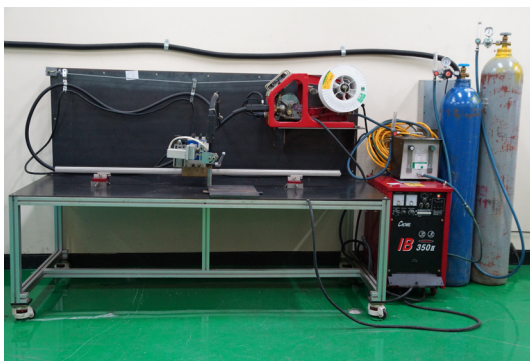


Fig. 2 GMA welding equipment

본 실험에서 용접에 사용한 실딩가스는 CO₂ 100% 및 CO₂ 20%+Ar80% 혼합가스를 사용하였으며, 순도는 99.5% 이상에



Fig. 3 Indication on the Radiograph of equipment

서 바람과 먼지, 습기 등이 없는 실내에서 작업을 하였다. GMAW 장치도는 Fig. 2와 같으며, 사용한 GMA용접기는 출력이 12.5KW, 350A인 조웰 CO.에서 제작한 것으로 자동 펄스형 GMA용접기를 사용하였다.

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

2.3 방사선투과시험 조건 및 촬영

본 시험에서는 ATOS 80 고장력강 용접시험 방사선투과검사 절차서에 따라 X선 발생장치를 사용하여 관전압 290kvp, FFD(Focus film distance) 600mm를 적용하였고, 선원-필름 간 거리(FFD;focus film distance)는 70cm 이었다. 필름은 폭 114mm, 길이 309mm의 것을, 투과도계는 KS형, 모재는 12mm의 것을 사용하였다. 부재쪽 흠 마스크와 조사창 쪽 평마스크를 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 분류하였으며, 철강의 방사선 투과시험은 KS B 0845(2005년) 규정에서는 결함을 제1종은 등근 블로홀 및 이에 유사한 결함, 제2종은 슬래그혼입, 용입불량, 용합 불량 및 이와 유사한 결함, 제3종은 갈라짐 및 이와 유사한 결함, 제4종은 텅스텐 혼입으로 각각 1류, 2류, 3류, 4류로 분류한다⁽¹¹⁾.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력강재를 실딩가스의 용접조건에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 용접이음의 보호가스량에 따라 15 L/min, 20 L/min, 25 L/min로 분류하여 실딩가스가 CO₂가스 100%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 B2, A2, B3 라 정의하였고, 보호가스가 CO₂가스 20% + Ar80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 B8, A8, B9라 정의하였다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인

4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 맞대기 이음 개선각을 25°, 용접진행속는 14.4cm/min, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160°C로 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9 로 나타내었다.

3.1 CO₂가스 100%일 때 이음 패스 수에 따른 맞대기 이음

Fig. 4는 보호가스 CO₂ 100%에 보호가스량을 15 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상의 블로우 홀과 2층에서는 길게 융합불량으로 존재하여 불합격인 것을 알 수가 있다. 보호가스 CO₂ 100%에 가스보호량을 20 L/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 Fig. 5와 같이 A2와 비교하여 보면, 보호가스량이 5 L/min이 적어 용접부에 완전 실드할 수 있는 가스보호량이 부족하여 침투하는 외부 공기를 막지 못하여 블로우 홀이 발생하고, 비드가 일부가 융합되지 못하였다고 사료된다.

Fig. 5은 보호가스 CO₂ 100%에 가스보호량을 20 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을

나타낸 것으로서, 1층비드만 아주 작은 블로우 홀 4점이 존재하여 2급 정도이며, 2층과 표면에는 아무 결함이 없으므로 용접부가 X선 검사 기준에 합격인 것을 알 수 있다. Fig. 4와 같이 가스보호량을 15 L/min로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 B2에 비교하면 본 용접조건에서는 가스보호량이 20 L/min로 용접하여 나타난 용접 결과가 매우 안정적으로 나타난 것은 가스보호량이 20 L/min가 적합하였기 때문이라 사료된다.

Fig. 6은 보호가스 CO₂ 100%에 가스보호량을 25 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층은 아무 용접결함이 나타나지 아니했으나, 2층에서는 아주 작은 언더컷과 융합불량으로 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 이것은 보호가스 CO₂ 100%에 가스보호량을 20 L/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 Fig. 5와 같이 A2와 비교하여 보면, 본 용접조건에서 가스보호량이 25 L/min로 용접한 것이 1층에서는 완전히 실드하여 아무런 결함이 없으나 2층에서는 실딩가스가 약간의 난류 현상이 있어 용접 결함이 약간 존재하였기 때문이라 사료된다.

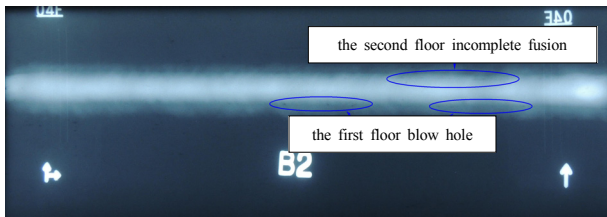


Fig. 4 X-ray Radiographic test film of welding specimen at CO₂ 100% in 15 L/min

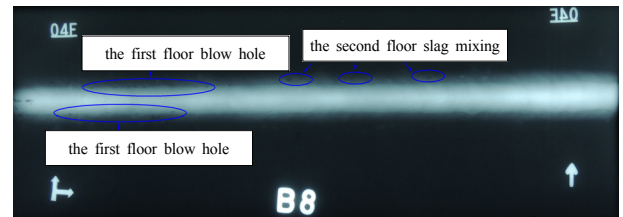


Fig. 7 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO₂ 20% +Ar 80% in 15 L/min

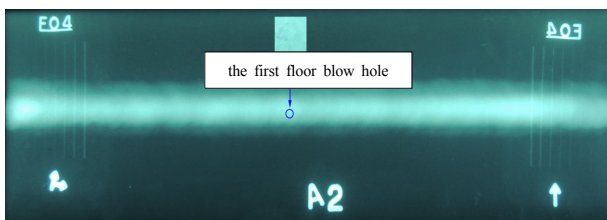


Fig. 5 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO₂ 100% in 20 L/min

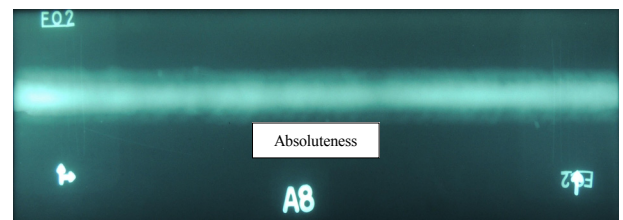


Fig. 8 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO₂ 20% +Ar80% in 20 L/min

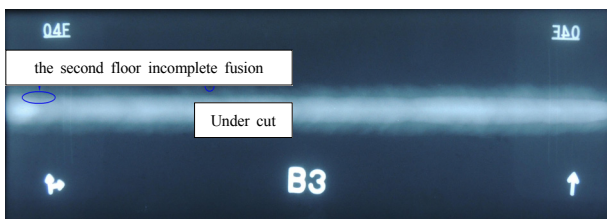


Fig. 6 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO₂ 100% in 25 L/min

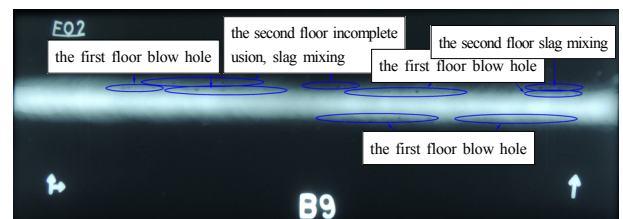


Fig. 9 X-ray Radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO₂ 20% +Ar 80% in 25 L/min

3.2 CO₂ 20%와 Ar 80%일 때 보호가스량에 따른 맞대기 이음

Fig. 7은 보호가스가 CO₂ 20% +Ar 80%인 혼합가스의 보호가스량을 15 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상 수많은 블로우 홀과 2층에서는 10mm 이상 슬래그 혼입으로 용접결함이 존재하여 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 보호가스 CO₂ 20% +Ar 80%의 가스보호량을 20 L/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 Fig. 8과 같이 A8과 비교하여 보면, 보호가스량이 5 L/min이 적어 용접부에 완전 실드할 수 있는 가스보호량이 부족하여 침투하는 외부 공기를 막지 못하여 블로우 홀이 많이 발생하고, 비드가 2층에서는 슬래그 혼입이 되었다고 사료 된다.

Fig. 8은 보호가스 CO₂ 20% + Ar 80%인 혼합가스의 가스보호량을 20 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 용접결함이 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸 것으로 알 수 있는데, 이는 CO₂ 20%에 Ar 80%를 혼합하므로 아크가 안정되고 스패터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

Fig. 9은 보호가스가 CO₂ 20% +Ar 80%인 혼합가스의 보호가스량을 25 L/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함이 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상 수많은 블로우 홀과 2층에서는 많은 용착 불량과 슬래그 혼입으로 용접결함이 존재하여 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 보호가스 CO₂ 20% +Ar 80%의 가스보호량을 20 L/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 Fig. 8과 같이 A8과 비교하여 보면, 보호가스량이 5 L/min이 많아 용접부에 난류 현상으로 오히려 아크 흐름과 용착 금속의 유동성을 방해하였기 때문에 수많은 용접결함이 발생하였다고 사료된다.

4. 결론

위 실험을 통하여 인장강도 80kg/mm²급 ATOS 고장력강재 혼합가스 비율에 따른 보호가스량에 따라 용접한 용접부를 X선으로 검사하여 나타난 용접부의 결함 존재 여부와 보호가스량의 적합한 용접조건을 구하고자 하여 실험한 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 두께 12mm의 아토스 80 고장력강재 맞대기 용접에서 CO₂ 가스 100%, 4패스로 용접한 후, X선 검사 결과 보호가스량이 15 L/min, 20 L/min, 25 L/min에서 가장 적은 결함을 나타낸 20 L/min가 보호가스량 15 L/min, 25 L/min로 GMAW 용접에서는 가장 적합한 용접조건이라고 판단한다.

- (2) 두께 12mm ATOS 80 고장력강재 맞대기용접에서 CO₂ 20% + Ar 80%, 4패스로 용접한 후, X선 검사 결과 보호가스량이 15 L/min, 20 L/min, 25 L/min에서 가장 적은 결함을 나타낸 20 L/min의 조건이 GMAW 용접조건으로 가장 적합한 용접조건이라고 판단한다.
- (3) 두께 12mm ATOS 80 고장력강재 맞대기용접에서 혼합가스 비율에 관계없이 보호가스량 20 L/min이 좋은 용접 결과를 가져 왔으며, 15 L/min에서는 보호가스량이 부족하여 용접부를 완전 실드하지 못하여 결함이 발생하였고, 20 L/min에서는 보호가스량이 많아 난류 현상으로 인하여 용접부 일부결함이 발생하였다고 사료된다.

References

- (1) Cary, H. B., 1979, *Modern Welding Technology*, Prentice Hall, Inc., p. 11.
- (2) The Korean Welding and Joining Society, 2002, *Welding and Joining Dictionary*, The Korean Welding and Joining Society, p. 135.
- (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) Kim, D. Y., 1995, *A Study on the Fatigue Behavior of Coped Stringer in Steel Railroad Bridge*, A Thesis for a Doctorate, Hanyang University, Republic of Korea, p. 38.
- (7) Wareing, J., 1976, "Fatigue Crack Growth in a Type 316 Stainless Steel at Elevated Temperatures," *Metallurgical Transaction A*, Vol. 6A, No.5, pp. 1367~1377.
- (8) The Japan Society of Engineers, 1984, *The Fracture Example and Interpretation Technology of Machinery Structure*, Technical Data.
- (9) 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.
- (10) Cho, K. S., 2008, "Welding Specimen of Radiographic Examination," *The Korean Welding and Joining society*, Vol. 21, No. 6, pp. 4~9.
- (11) Oh, H. K., Jung, J. G., and Cha, Y. H., 1999, *Welding engineering*, Wonchang Publishing Co., Korea, p. 395.