

해상풍력 발전설비의 고능률 용접기술

김 영 식*[†] · 길 상 철**

*한국과학기술정보연구원 ReSEAT프로그램

**한국과학기술정보연구원

High efficient welding technology of the offshore wind power plants

Youngsik Kim*[†] and Sangcheol Kil**

*Korea Institute of Science and Technology Information ReSEAT Program, 305-806 Deajeon, Korea

**Korea Institute of Science and Technology Information, 305-806 Deajeon, Korea

[†]Corresponding author : yskim@reseat.re.kr

(Received January 30, 2015 ; Accepted May 26, 2015)

Abstract

The offshore wind power plants are watched as a new market to accomplish the needed energy, bringing technical and economical challenges. Advanced countries in the field of wind industry are now applying the 600 MPa, 150~200 mm thick high strength steel to offshore wind power plants. Moreover, the high efficient welding methods which is weldable ultra thick high strength steel with 1 pass welding are developed and applied in manufacturing the offshore wind tower. This article deals with the present world wide status of offshore power plants and the tendency of the development of high efficient welding technology for constructing the offshore wind tower. This article intends to offer the materials for development and raising of the domestic offshore wind power technology.

Key Words : Offshore wind power, High efficient, 1 pass welding, Ultra thick, High strength steel

1. 서 론

풍력 발전은 재생가능 에너지 산업으로써 한정된 천연자원, 지구환경 보존의 관점에서 그 가치가 더욱 중요시되고 있다. 풍력발전은 현재 세계전력의 3%를 차지하고 있고 EU에서는 2020년까지 전력수요의 20%를 풍력 발전으로 공급할 정책을 추진하고 있다. 지금까지 풍력 터빈은 주로 육상에 설치되었으나 최근에는 해상 풍력 발전 산업으로 발전하고 있다. 특히 3면이 바다인 우리나라는 그동안 축적해온 조선, 해양 산업 기술을 바탕으로 앞으로 해상 풍력 발전 산업은 세계적인 경쟁력을 갖는 신 산업으로 그 잠재력이 매우 크다고 볼 수 있다. 해상풍력 발전 설비에서 타워 본체는 용접구조물로서 가혹한 환경과 높은 부하에 견딜 수 있도록 그 구성재료인 강재와 용접부는 보다 엄격한 특성이 요구되고 있다. 따라서 해상풍력 발전설비의 제조단

계에서는 이러한 요구특성을 만족하면서도 저비용 고효율의 공정을 구사함으로써 국제경쟁력을 갖도록 하는 용접기술이 매우 중요하다.

본 해설 논문에서는 해상풍력 발전설비의 개발 현황과 해상풍력 발전 타워 구축을 위한 고능률 용접기술의 연구개발 동향을 분석하여 국내의 해상풍력 발전 산업의 국제 경쟁력 제고와 연구개발에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 해상풍력 발전설비의 개발동향

2.1 해외동향

세계 각국의 풍력발전 도입량은 환경보호(탈석유, 탈석탄), 석유대체 전원, 에너지 안전보장(국내 자급율 향상), 신에너지 산업진흥(고용 확보와 외화획득)의 4 항목을 배경으로 증가해 왔다. Fig. 1은 전세계 풍력

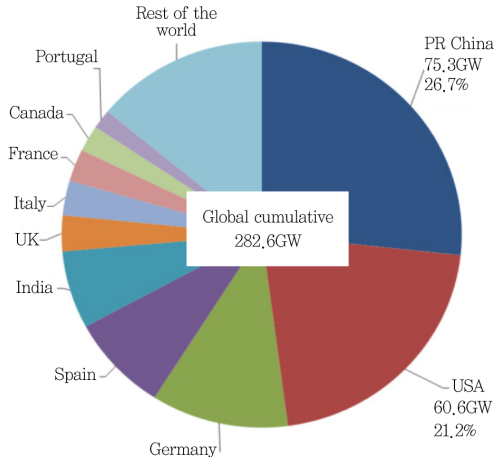


Fig. 1 Gloval cumulative wind power plants in each country¹⁾

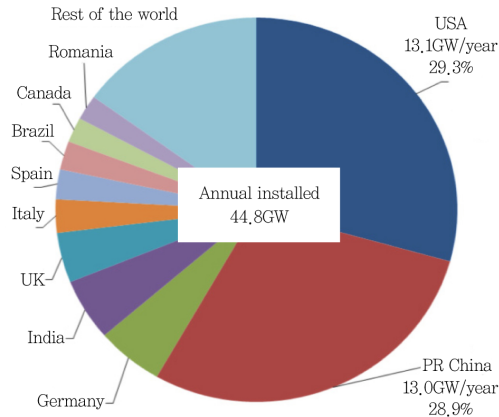


Fig. 2 Gloval annual installed wind power in 2012 year in each country¹⁾

발전설비의 각 국가별 누적 도입량을, Fig. 2는 2012년도 각 국가별 신규도입량 현황을 보인 것이다¹⁾. 미국과 중국 2개국이 누계 135.9 GW (전체의 약 47.9%), 신규 26.1 GW (전체의 약 58.2%)로 전 세계의 약 절반을 차지하고 있다. 양국 이외에는 독일, 스페인, 인도, 기타의 유럽 각국의 순으로 도입비율이 높다.

최근에는 육상에서의 풍력 적지가 포화상태에 이르고, 육상보다 바람이 강하고 광대한 지역을 이용 가능한 해상풍차의 개발과 도입 진전이 유럽을 중심으로 개시되어 새로운 시장으로 주목되고 있다. 유럽에서의 해상 풍력 풍차의 설치량은 현재로서는 육상풍력의 10%에도 미치지 못하지만 2000년대 중반 이후 신규 설치량에서 차지하는 비중이 계속 상승하고 있다. Fig. 3은 유럽 풍력시장에서의 육상풍력과 해상 풍력의 비율을 나타낸 것이다²⁾.

Table 1은 2011년 말 해상풍력 주요국가의 누적발전량을 보인 것이다²⁾ 영국은 2,093.7 MW 규모의 해

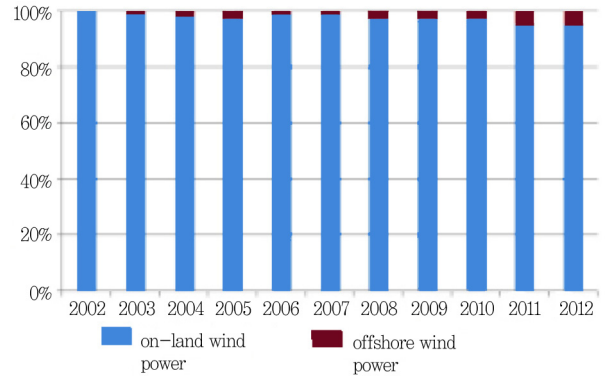


Fig. 3 The ratio of on-land and offshore power plants in Europe²⁾

Table 1 Cumulative offshore power plant in important countries²⁾

Rank	Country	2011 (MW)	Proportion(%)
1	U.K	2,093.7	51.1
2	Denmark	857.3	20.9
3	PR China	258.4	6.3
4	Netherlands	246.8	6.0
5	Germany	200.3	4.9
6	Belgium	195	4.8
7	Sweden	163.7	4.0
8	Finland	26.3	0.6
9	Ireland	25.2	0.6
10	Japan	2	0.1
Gloval total		4,096	-

상풍력발전용량을 가지고 있어 세계에서 가장 주도적인 국가라 할 수 있다. 뿐만 아니라, 1,866.9 MW가 건설 중에 있으며, 3,304.9 MW 이상이 계획 중에 있다²⁾. 다음이 덴마크, 중국, 네델란드, 독일 순서로 해상풍력 발전용량을 갖고 있다.

2.2 국내동향

최근 정부는 태양광과 풍력을 각각 제2의 반도체와 조선산업으로 육성한다는 “신 재생에너지 산업 발전전략”을 발표한 이후 해상풍력 로드맵을 발표하고 서남해 2.5 GW 해상풍력 종합추진계획을 발표하였다. 이에 의하면 2019년까지 5 MW급 해상풍력 500기(2.5 GW)를 설치할 수 있도록 약 9조원에 달하는 재원을 정부가 투자한다는 계획이다.

우리나라는 해상풍력 산업에 상대적으로 글로벌 경쟁

력을 갖고 있는 조선, 해양플랜트, 건설, 전기, IT 등 연관산업을 접목할 경우 세계시장 선점이 가능할 것으로 평가되며, 협소한 국토여건을 감안하면 해상풍력산업은 육상풍력보다 환경파괴 민원발생이 적고 대규모 단지개발도 가능할 것으로 전망되고 있다.

국내 조선업체 및 중공업업체들은 서남해안 해상풍력 사업이 진행됨에 따라 그 동안 축적된 기술력을 토대로 설비를 갖추고 해상풍력발전터빈을 개발하기 시작했다. 아직까지는 두산중공업의 3 MW급이 최대이기는 하나, 향후 5~7 MW급 개발을 위해 박차를 가할 것으로 보인다.

3. 해상풍력 발전설비의 용접기술

3.1 해상풍력발전설비의 소재기술

해상 풍력 발전설비의 구성요소 중 블레이드는 주로 유리섬유 복합재료(Glass Fiber Reinforcement Plastic, GFRP)가 사용되고 있으며, 탄소섬유 복합재료(Carbon Fiber Reinforcement Plastic, CFRP) 또한 성능향상 및 경량화목적으로 사용량이 많아지고 있다. 구성요소 중 너셀(nacelle)부에 포함되는 허브와 프레임은 구상 흑연 주철이 주로 사용된다.

풍차 타워의 재료로는 현재 복합소재가 국내에서 개발 중에 있으나³⁾ 현재는 주로 강재가 사용되고 있으며, 육상용 풍력발전에 사용되는 강관의 규격은 주로 DIN 규격의 S355J2G3 및 S355N으로 항복강도는 약 355 N/mm²이다. 해상 풍력 발전 타워에는 열가공제어(Thermo-mechanical Controlled Process, TMCP) 압연에 의한 저온용 S355G+M, 또는 S355G9+M 등이 사용된다. 풍력발전 타워는 원추형 강구조물이다. 육상의 풍력발전 타워의 전형적인 높이는 120 m이다. 수송상의 이유로 플랜지를 가공한 3개의 분할부품으로 구성되어 나사 고정에 의해 현장 조립으로 건설된다.

타워 직경은 보통 4,500 mm이며 무게는 200톤이다. 판두께는 타워본체의 벽두께가 최대 60 mm이다. 해상 풍력 발전용 타워의 경우에는 최대직경이 7000 mm이며, 타워본체의 벽두께는 최근 150~200 mm까지 개발되고 있다.

강관 및 용접이음부는 -40℃에서의 양호한 인성이 요구되며 과거의 취성과파괴를 고려하여 안전상의 이유에서 -50℃에서 최저 인성값 27 J을 요구하는 경우도 있다⁴⁾.

3.2 해상풍력타워 용접의 필요조건

판두께 100~200 mm의 극후 강관의 고능률 용접을 위해서는 입열량이 100 kJ/cm 이상의 대입열 용접 적용이 요구된다. 생산성 향상을 위해서는 가능하면 작은 용접패스로 극후 강관의 집합공정이 완료되는 용접방법이 요구된다.

대입열 용접 시는 용접열영향부에서 결정립 조대화 현상이 일어나 파괴 인성을 크게 열화시키기 때문에 성분계와 미량원소 첨가 등의 방법으로 결정립조대화를 일으키지 않는 대입열 대책강을 이용하여야 한다²⁴⁾.

해양환경에서 염분으로 인한 염해부식, 갈바닉 부식에 대응하기 위해서는 충분한 내식성을 확보할 수 있어야 하고 풍력과 파랑에 의한 피로하중에 대한 충분한 내구성을 갖는 용접부를 구현할 수 있는 용접기술이 필요하다.

극후강관의 대입열 내로우 갭 용접 시 용접부의 기계적 성질을 개선하기 위해서는 충분한 용입부가 얻어지고 탁월한 비드외관 및 슬래그박리성이 양호한 용접재료가 요구된다.

풍력타워와 같은 대형 구조물은 구조물 자중에 의해 스스로 용접부를 구속하게 되며, 대입열을 통해 접합된 용착 금속이 냉각하면서 균열이 형성될 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 확산성 수소량 저감의 용접재료가 요구된다.

3.3 해상풍력 발전설비의 용접기술 개발현황

3.3.1 해상풍력 발전타워 구조물용 고능률 SAW 법
 풍력 타워 제작 시 수평 이음매 및 원주이음매 제작에 적합한 대표적인 용접공정은 서브머지드아크용접(SAW: Submerged Arc Welding)공정이다. SAW 공정은 아크가 노출되지 않기 때문에 열효율이 높다. 또한 깊은 용입이 얻어져서 이음부의 그루브 간격의 허용차를 크게 할 수 있어 비용절감을 가져올 수 있다. 또한 용접 속도가 높고, 용접 폼(fume)의 해독을 줄일 수 있다.

SAW법의 고능률 용접법으로 최근 SF-SAW법이 개발되어 있다⁵⁾. 이 방법은 용융 플럭스를 와이어 속에 충전하여 이음매 없는 코어드 와이어(Seamless Flux Cored Wire)를 제조하여 이를 이용함으로써 종래의 솔리드 와이어에 비해 동일 용접조건에서 고속 고능률의 용접이 가능하다. 이 방법은 또한 플럭스 속에 유효 합금 성분이 첨가됨으로써 탁월한 용접금속의 기계적 성질을 얻을 수 있다.



Fig. 4 Tandem SAW method⁶⁾

3.3.2 탄뎀 SAW에 의한 생산성 개선
 최근에는 탄뎀(Tandem)SAW 용접이 풍력타워 조립과 같은 후판용접에 사용되고 있다⁶⁾. 탄뎀SAW 용접은 Fig. 4와 같이 선행토치(lead torch), 후행토치(tail torch)로 구성되어 있으며, 두 개의 용접 토치가 같은 방향으로 이동하며 용접을 수행한다. 이와 같은 방식의 용접기법은 용접 공정의 횡수를 줄이고, 열손실을 최소화하여 용접공정에서의 열효율을 높일 수 있다.

다전극 용접은 선행토치(Lead torch)가 용접을 진행하게 되면 일정 간격을 유지한 채 후행토치(Tail torch)가 선행토치가 용접한 모재위에 연속적으로 2차 용접을 수행하게 된다. 높은 전류와 전압을 사용함으로써 용착량을 증가시키고, 빠른 용접속도로 입열량을 감소시켜 생산성을 향상시키는 용접 기법이다.

용착속도를 더욱 향상시킬 수 있는 용접법으로 탄뎀·투윈(Tandem. Twin) SAW법이 최근 개발되어 있다⁴⁾. 이 방법은 Fig. 5와 같이 4개의 전극(보통 전부 2.5 mm)이 다 같이 1개의 용융지를 형성한다. 이 용접법은 2대의 용접전원과 2대의 와이어 송급 유닛을 사용한다.

이 용접법은 1,800A를 초과하는 높은 전류로 100 cm/min.을 초과하는 속도로 입열량을 제한하여 비드 단면적을 감소시킨다. 이 때문에 후속비드에 의한 텀퍼링을 빈번하게 시행한다. 이 텀퍼링효과에 의해 용접금속이나 열영향부의 기계적 성질이 개선된다. C-Mn합금 와이어 전극을 이용하여 최저 -50℃에서의 저온인성을 만족시키기 위해서는 패스수를 증가하여 다층 용접을 시행하는 것이 바람직하다.

탄뎀 법에 제3의 와이어를 추가하여 더욱 고능률을 기하기 위한 방법으로 Fig. 6과 같은 다전극용접법이 개발되어 있다⁴⁾. 이 용접법은 1개의 그루브에 3~5분의 와이어를 사용하여 용접이 이루어지는 방법이다.

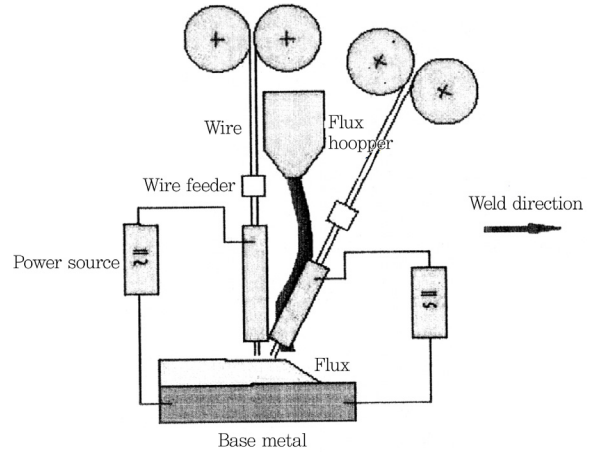


Fig. 5 Tandem twin SAW method⁴⁾

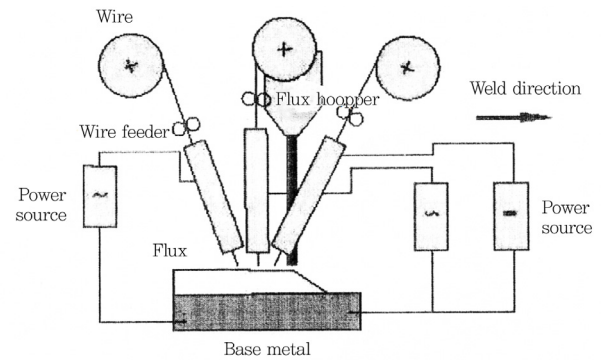


Fig. 6 3 pole SAW method⁴⁾

4분의 와이어(4 mm), 4대의 전원 및 4대의 와이어 송급유닛을 이용하여 풍력발전 타워를 문제없이 제작한 실적이 있다. 이 용접에서는 42 Kg/h의 용착속도(사용률 100%)가 얻어졌다. 또한 전 인성값이 -20℃ 이하의 시험온도에서 충분한 값을 나타내었다.

3.3.3 내로우 갭 SAW (SUBNAP) 용접

극후의 이음 용접용으로 SUBNAP법(Submerged Narrow Gap Process)이 개발되어 있다⁷⁾. SUBNAP법이란 내로우갭의 용접에서 탁월한 슬래그박리성 및 비드외관이 얻어지는 용융플럭스(NF-1)와 3.2 mm 또는 4.0 mm의 솔리드와이어를 조합시켜 시행하는 고능률이며 경제적인 용접이 가능한 시공법이다. 또한 용착속도를 투윈 와이어(Twin wire)에 비해 약 50%, 싱글 와이어와 비교하여 100% 증가시키는 기술로 1개의 콜드와이어를 동일한 콘택트 팁(Contact tip)내에서 2개의 핫 와이어(Hot wire)와 평행하게 공급하는 서브머지드 아크 용접법으로 ICE™공법이 개발되어 있다⁸⁾. 이 공법은 콜드와이어 삽입위치의 변화를 제어하여 용접공정을 안정화 시킨다.

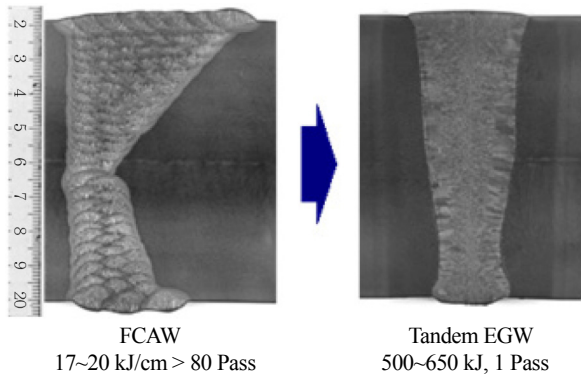


Fig. 7 Comparison of welded section between FCAW and Tandem EGW

3.3.4 판두께 100 mm의 극후강판을 1 패스로 용접 가능한 다전극 EGW 용접

SAW법보다 더욱 고능률의 용접법으로서 일렉트로가스 아크 용접(EGW)이 사용되고 있다. 두꺼운 두 모재 끝과 수냉 Cu판의 벽으로 용융지를 둘러싸고 실딩가스로 탄산가스를 사용하며 연속적으로 송급되는 전극 와이어에 의해 아크를 발생시켜 용접하는 수직 상진용접법이다. 여기에 2개의 전극와이어를 동시에 송급하여 더욱 능률을 향상시킨 탄템 EGW법이 개발되어 있다. Fig. 7은 일반 FCAW 법과 탄템 EGW법의 용접부 거시단면과 패스수를 비교한 것이다. 80 mm 두께의 강판재를 접합하는데 FCAW의 경우에는 80 패스 이상이 소요되지만 탄템 EGW의 경우에는 1 패스로 용접이 가능하다.

판 두께 100~200 mm의 극후강판에 대응할 수 있는 고능률 다전극 EGW 기술이 개발되었다⁹⁾ Fig. 8은 4전극 EGW법 용접기기의 모식도를 보인 것이다.

Fig. 8에 보이는 4전극 EGW법은 강판의 표면측과 이면측에 각각의 용접 캐리지가 접촉하여 각 캐리지에 2전극을 배치하는 구성으로 되어 있다. 판두께 100 mm 정도 이상의 후강판을 1패스로 용접시공을 하기 위해서는 판두께의 반분 즉 50 mm 정도 이상의 판두께 부분을 각각 2전극으로 분담하여 이것을 동시에 용접시공을 시행한다.

이 용접 기술에서 용접금속의 기계적 성질을 충분히 확보하기 위해 후강판 용 대입열 용접에 적합한 전용의 용접재료가 개발되어 있다. 인장강도 500~600 MPa 급의 고강도 강재로 판두께 100~200 mm의 극후강판에 대해 개발된 용접재료를 적용한 결과, 용접금속은 모재강도에 필적하는 강도가 얻어졌고, 특히 100 mm 판 두께 이음부에서는 해상풍력 철탑에서 요구하는 -40°C에서의 30 J 이상으로 요구 인성값을 충분히 만족하는 결과를 얻었다.

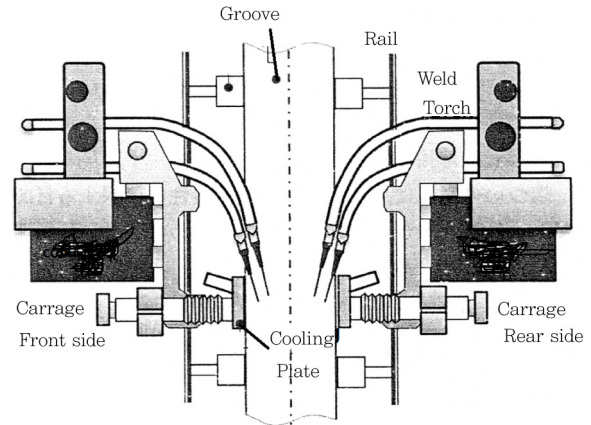


Fig. 8 Schematic of 4 pole EGW method⁹⁾

4전극 EGW법은 판두께 100 mm에서 200 mm의 극후강판의 고능률 용접법으로서 극후강판의 양면을 동시에 1패스로 용접이 가능하고 판 두께 100 mm에서는 용접속도 82 mm/min. 판 두께 200 mm에서는 34 mm/min.의 용접속도를 구현할 수 있다.

4. 해상풍력 발전설비 용접기술의 최근의 연구동향

4.1 국외의 연구동향

풍력타워 설비의 용접기술 연구 동향은 대기 중 전자빔 용접 적용에 관한 연구 1건을 제외하면, 주로 기존의 SAW 용접을 기반으로 하는 고능률 대입열 용접기술 개발에 관한 연구들이다. 또한 용접공정에서의 용입 불량과 같은 용접결함 및 용접 잔류응력이 타워의 파괴 강도에 미치는 영향, 용접잔류응력을 제거하기 위한 기계적인 후처리 등에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.

독일의 하노바(Hannover) 재료과학 연구소에서는 풍력타워의 용접에 대기중 전자빔 용접방법(non-vacuum electron beam welding)의 적용 기술을 개발하여 기존의 SAW용접과 비교하여 재료와 시간의 절약을 가져왔음을 발표하였다¹⁰⁾.

스웨덴의 ESAB 회사에서는 풍력발전타워 제작용 고품질, 고능률의 용접 시공기술로 투윈 아크(Twin arc)나 탄템 SAW법을 개발하였고, SAW법의 다전극화 기술을 개발하여 풍력 타워 제작에 적용함으로써 최저한의 투자비용과 고용착속도 및 고인성의 용접부를 얻을 수 있음을 발표하였다⁴⁾.

일본의 Nippon Steel & Sumikin Welding Co.에서는 풍력타워 구조물 용접 전용의 Seamless type Flux Cored Wire를 개발하여 이 와이어를 이용한

SAW(SF-SAW)법을 개발하였다. 또한 내로우갭 SAW (SUBNAP)법을 개발하여 기존의 SAW법과 비교하여 70% 까지의 작업능률 향상을 가져올 수 있음을 발표하였다⁵⁾.

풍력 타워 용접 시 용접 잔류응력은 타워의 파괴 강도에 지대한 영향을 미치므로 이에 대한 다수의 연구가 발표되어 있다. 중국의 Jiang, Wenchun 등은 타워 용접 시 용접 잔류응력 분포를 해석하고 플랜지와 셸부 접합부의 그루브 형상을 K형 베벨(bevel)로 하여 안쪽 용접은 모목형 필릿으로, 바깥쪽 용접은 볼록형 필릿접합을 함으로써 용접잔류응력을 최소화할 수 있음을 보고하였다¹¹⁾.

독일의 하노바(Hannover) 강 구조 연구소에서는 풍력타워 용접 시 용접 후의 용접잔류응력 제거를 위한 후처리로서 초음파 충격 처리(Ultrasonic Impact Treatment : UIT)를 채용하여 타워의 피로파괴 저항을 현저히 향상할 수 있음을 보고하였다¹²⁾. 또한 독일의 Rahlf, Uwe는 용접 후 후처리 공정으로 고주파 피닝을 실시함으로써 풍력타워의 피로수명연장과 더불어 경제적인 타워 제작이 가능하다는 것을 파괴역학적인 해석을 통해 밝히고 있다¹³⁾.

스페인인 Cicero, S. 등은 타워 셸의 원주형 맞대기 용접부에서 생길 수 있는 용입 부족이 타워의 사용수명에 미치는 영향을 분석하고 여러 가지 단면 형태의 용접부에서 허용 가능한 결함의 크기와 결함 형상에 대하여 분석하였다¹⁴⁾.

미국에서 발간되는 Welding Journal에는 2006년 이후 풍력 타워 용접과 관련하여 3건의 해설논문이 발표되어 있다. 그 내용은 풍력 타워 용접 시 선형 운동 모듈을 사용함으로써 효율향상을 가져올 수 있다는 내용¹⁵⁾과 알루미늄계 풍력타워 제작 시 GTA 인버터와 씨너지 펄스 GMA용접, 무선조정 GTA 용접으로 품질과 생산성을 향상시킬 수 있음을 보고한 내용¹⁶⁾, 그리고 해상풍력 발전설비의 경우, 두께 140 mm의 강판을 이용하여 높이 80~140 m의 타워설비를 제작 시 생산성 향상을 위해 용착량을 최소화할 수 있는 접합 단면형상과 탄뎀(Tandem) SAW 용접방법과 같은 용접방법의 최적화가 중요한 요소임을 발표하였다¹⁷⁾.

4.2 국내의 연구동향

국내에서는 컨테이너 조선용으로 EH36 Grade (490 MPa 급) 강재가 판두께 133 mm까지 생산되고 있으며, EH40 (510 MPa급) 강재가 100 mm 두께까지, 그리고 EH47 (610 MPa급)의 고강도 강재가 90 mm 두께의 대입열 용접용 강재로 생산되고 있다. 국

내에서는 500 MPa이상의 인장강도와 -50℃에서 150 J 이상의 샤르피충격에너지를 갖는 강재를 제공받을 수 있다¹⁸⁾. 따라서 해상풍력 타워용으로 적용 가능한 강재가 생산되고 있어, 금후 해상풍력타워의 수요에 맞추어 적정 강도와 두께를 갖는 강 소재가 생산될 수 있는 생산기반설비가 갖추어진 현상에 있다.

풍력 타워의 소재개발을 위한 대책사업으로 국토 교통부 건설교통기술 촉진 연구사업으로 2012년부터 2017년까지 “10 MW급 강재 및 3 MW급 복합 합성구조 풍력발전 타워 설계기술 개발”이라는 과제명으로 연구단이 발족되어 현재 2년차 연구가 진행되고 있다³⁾. 복합소재 타워는 기존의 강재타워를 대체하거나 보완할 수 있는 신개념으로서 국내외적으로 개발사태가 미미한 현상에서 복합신소재를 풍력타워구조에 적용하고자 하는 시도는 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

풍력 타워 용접부의 강도 평가에 관한 연구가 발표되어 있다^{19,20)}. 이 연구는 국내에서 최초로 풍력타워의 용접에 관하여 발표된 연구로 타워 도어(Door) 근방의 필릿 용접부의 피로강도를 FEM 방법에 의해 해석한 연구이다.

해상풍력 타워의 용접 시공을 가정하여 루트 패스 용접 시 용접조건 설정에 관한 연구²¹⁾가 수행되었고, TMCP 강을 적용한 풍력타워의 용접공정에 따른 기계적 물성평가에 관한 연구가 수행되어 다전극 SAW 용접 시 용접속도를 적정하게 유지 할 경우, 용접부의 기계적 특성이 기준치 이상으로 만족하였음을 보고한 논문이 발표되었다^{22,23)}.

풍력타워의 파괴 안전성에 지대한 영향을 미치는 용접 잔류응력과 변형거동을 해석한 연구가 발표되어 있다. 타워 제작을 위한 원통형 셸 제작 시 원주 용접으로 탄뎀 SAW용접을 적용할 경우, 용접부 근방의 잔류응력과 변형거동에 관하여 3차원 탄소성 해석을 통한 FEM 방법으로 분석한 결과가 발표되어 있다⁶⁾.

5. 결 론

1) 풍력 발전은 현재 세계 전력의 약 3%를 담당하고 있으며, EU에서는 2020년까지 전력수요의 20%를 풍력발전으로 공급할 정책을 추진하고 있다. 2022년에는 세계 각국의 풍력발전 도입량이 900 GW에 도달할 것으로 예상되고 있다.

2) 해상 풍력 풍차의 설치량은 현재로서는 육상풍력의 10%에도 미치지 못하지만 2000년대 중반 이후 신규설치량에서 차지하는 비중이 계속 상승하고 있다.

3) 해상 풍력 시장은 풍력산업의 신성장 동력으로 풍부한 자원 및 안정적인 발전이 가능한 해상 풍력의

장점으로 2015년까지 매년 30% 이상의 고성장을 지속할 것으로 전망되고 있다.

4) 우리나라는 2010년 「서남해 2.5 GW 해상풍력 종합추진계획」을 수립하고 실증단계, 시범단지, 확산 단계의 3단계로 나누어 2019년까지 5MW급 해상풍력 500기(2.5 GW)를 설치할 수 있도록 약 9조원에 달하는 재원을 정부가 투자한다는 계획을 추진 중에 있다.

5) 해상 풍력 발전 설비 중 타워 본체는 가장 중요한 부분이며, 항복강도 355 MPa급 이상의 고강도를 갖는 TMCP강으로 -50℃에서 최저 인성값 27J을 갖는 고강도, 고인성의 강재가 요구되고 있다. 타워의 최대직경은 7000 mm이며, 타워본체의 벽두께는 최근 150~200 mm까지 개발되고 있다.

6) 판두께 100~200 mm의 극후 강판의 고능률 용접을 위해서는 입열량이 100 kJ/cm 이상의 대입열 용접 적용이 요구된다. 생산성 향상을 위해서는 가능하면 작은 용접패스로 극후 강판의 접합공정이 완료되는 용접방법이 요구된다.

7) 판두께 100 mm이상의 극후판의 고강도 강재를 고능률이면서 고품질의 용접부를 얻을 수 있는 새로운 용접법으로 SAW법을 개량한 SF-SAW법과 내로우 갭 SAW(SUBNAP)법, 탄템 SAW, 1 전극 콜드 와이어 (One electrode cold wire) 평행 송급 기술인 ICE™용접법, 다전극 SAW법, 다전극 EGW법 등이 개발되어 있다.

8) SCI-E의 데이터 베이스를 이용한 풍력 발전설비의 용접 기술관련 논문을 검색한 결과, 관련 논문은 2006년 이후부터 발표되고 있으며, 풍력 타워의 용접 시공 및 용접 후처리와 관련한 논문은 8건으로 2013년 1건, 2012년 1건, 2010년 3건, 2009년 3건으로 검색되었다. 일본의 경우에는 용접기술지에 해설 논문으로 2008년 1건, 용접학회지의 2010년 7월호에 “풍력 에너지와 그 용접기술의 특집” 기사로 3건의 해설논문이 발표되어 있다.

9) 국내의 연구 논문은 6건이 검색되었는데 그 내용은 풍력타워 제작을 위해 TMCP 고강도강의 다전극 SAW 용접 적용 시 기계적 특성 분석 연구와 타워의 도어부분과 같은 응력집중부의 피로파괴 해석, 용접시의 잔류응력 거동해석에 관한 연구 등이다.

10) 유럽에서는 1996년부터 대단위 풍력 발전 타워 설비가 등장하고 있으나, 풍력발전 또는 해상풍력 발전 설비의 용접과 관련한 연구논문이 희소한 편이다. 이것은 풍력 발전 설비의 도입 역사가 짧고 또한 지금까지는 기존의 조선분야나 철골 건축분야에서 사용해 오던 용접기술을 풍력 발전 타워 구축에 그대로 적용 가능하

였기 때문이다.

11) 금후 단위 설비의 발전용량이 증대해 가는 추세에 있고, 특히 해상 풍력 발전설비를 위해서는 판두께 200 mm까지의 극후 고장력강판이 타워구축에 적용되고 있어 최근 들어 국내외적으로 풍력 타워 구축을 위한 고능률의 대입열 용접기술 개발에 관한 관심이 증대해 가고 있다.

12) 해상풍력시장은 세계적으로 현재 초기시장 단계에 있어 경쟁이 상대적으로 약한 편이다. 따라서 우리나라는 상대적으로 글로벌 경쟁력을 갖고 있는 조선, 해양플랜트, 건설, 전기, IT 등 연관산업을 바탕으로 국내 풍력 설비업체들이 개발에 주력한다면 시장 진입의 기회가 확대될 것이며, 그와 더불어 고부가가치가 창출될 것으로 판단된다.

13) 금후 해상 풍력발전 구조물 건조를 위해서는 용접 시공법의 더욱 고능률화와 용접부에 대한 고강도화, 고인성화, 피로특성의 개선 등 요구사항이 더욱 확대될 것으로 예상된다. 풍력발전 구조물용 강판의 극후물화 및 수요 확대에 대응하기 위해 고능률 용접재료 및 용접 시공법의 국내 개발이 요구되고 있다.

후 기

본 기술해설은 미래창조과학부 과학기술진흥기금과 복권기금을 지원받아 수행하는 ReSEAT프로그램의 성과물입니다.

References

1. Hasegawa K, Market Trend of Wind Turbine and Technical Problem of Construction for Increasing Output Power, *Jnl. of JWS*, 83 (1) (2014), 53-58 (in Japanese)
2. ISSUE QUEST, Recent Market Tendency & Development Strategy of the Offshore Wind Power & Offshore Plants, (2013), 345-379 (in Korean)
3. Sang-Youl Lee, et al., Development of Wind Tower Made of Composite Materials (1), *Jnl. of Korea Society for Advanced Composite Structures*, (2013), 17-23 (in Korean)
4. Martin Gehring, High Quality & High Efficient Welding Technology of Wind Tower, *Welding Technology*, 56 (9) (2008), 88-93 (in Japanese)
5. NAKAZAWA H, NAGASAKI H, Welding Consumables and Process for the Wind Tower Structures, *Jnl. of JWS*, 79 (7) (2010), 648-652
6. Kim Ji Sun, Kim In Ju, A Study on Characteristic of Residual Stresses in a Wind Tower Using the Tandem Circumferential Welding Process, *Journal of the Korean*

Society of Manufacturing Technology Engineers, 21 (6) (2012), 938-945

7. NIPPON STEEL & SUMIKIN WELDING CO., LTD, Narrow Gap Sub-merged Arc Welding, *SUBNAP method, Technical report*, (2009), 1-31
8. Hannes Raudsepp, High Efficient SAW, ICE™-!, Cold Wire Feeding Technology, *Welding Technology*, 61 (4), (2013), 55-59
9. Kumatani T, et al., Development of Multi-pole Electro-gas Welding for 100mm thick plate by 1 Pass, *Welding Technology*, 62 (2), (2014), 73-77 (in Japanese)
10. Hassel, T, et al., Economical joining of tubular steel towers for wind turbines employing non-vacuum electron beam welding for high-strength steels in comparison with submerged arc welding, *Welding in the world*, 57 (4), (2013), 551-559
11. Jiang Wenchun, Fan Qinshan, Gong Jianming, Optimization of welding joint between tower and bottom flange based on residual stress considerations in a wind turbine, *ENERGY*, 35 (1), (2010), 461-467
12. Schaumann, P., Keindorf, C, Experiments & Simulations of Post Weld Treatment with High Frequency Needle Peening for Welded Joints, *ADVANCED STEEL CONSTRUCTION*, 5 (3), (2009), 237-258
13. Rahlf, Uwe : An alternative calculation approach for high frequency peening - further validation and practical application in wind energy technology, *STAHLBAU*, 78 (9), (2009), 637-644
14. Cicero, S., Lacalle, R., Cicero, R, Estimation of the maximum allowable lack of penetration defects in circumferential butt welds of structural tubular towers, *ENGINEERING STRUCTURES*, 31 (9), (2009), 2123-2131
15. Anonymous, Wind Turbine Welding System Uses Linear Motion Modules, *WELDING JOURNAL*, 88 (8), (2009), 50-51
16. Brent W, Mike V, Equipping Welding Cells to Fabricate Wind Towers, *WELDING JOURNAL*, 91 (1), (2012), 49-51
17. TOBIAS FINNDIN, Optimizing Welding and Cutting for Wind Tower Production, *WELDING JOURNAL*, 89 (8), (2010), 30-33
18. Korea patent, Manufacturing Method of the High Strength Steel with High Impact Value, *POSCO*, Patent No. 10-1271792-0000(2013-05-30)
19. D.Y. Han, K.M. Ahn, W.H. Choi, A Study on the Strength of the Welded Part of the Wind Turbine Tower, *Abstracts of 2006 Spring Annual Meeting of the Korean Society for New & Renewable Energy*, (2006), 304-307
20. D. Y. Han, J. U. Kho, W. H. Choi, A Study on the Fatigue Strength of the Welded Part of the Door on the Wind Turbine Tower, *Abstracts of 2005 Spring Annual Meeting of the Korean Society for New & Renewable Energy*, (2005), 72-75
21. S. M. Jung, I. S. Kim, J. S. Kim, H. H. Na, J. H. Lee, Characteristic of the 1st Pass Weld in Manufacturing the Offshore Wind Tower using High Strength Steel, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 21 (2) (2012), 349-354
22. C. W. Ji, C. Y. Choi, D. G. Nam, H. C. Kim, J. H. Jang, K. H. Kim, Y. D. Park, Evaluation on Mechanical Properties with Welding Processes for Off Shore Wind Tower Application, *Journal of KWJS*, 32 (1), (2014), 15-21 (in Korean)
23. C. W. Ji, C. Y. Choi, D. G. Nam, H. C. Kim, J. D. Kim, S. K. Kim, Y. D. Park, Evaluation and Comparison of Weldability with Various Welding Processes on TMCP Steels, *Journal of KWJS*, 32 (1), (2014) 6-14
24. KWJS, Welding & Joining Handbook, part 1 (2008) 233 (in Korean)



- 김영식
- 1944년생
- 한국과학기술정보연구원
- 용접부 파괴와 강도, 용접공정, 재료공학
- e-mail : yskim@hhu.ac.kr



- 길상철
- 1958년생
- 한국과학기술정보연구원
- 용접야금, 비철재료, 재료공학
- e-mail : kilsc@kisti.re.kr