Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 8 pp. 5400-5405, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.8.5400
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

수상태양광 구조물의 강재특성에 관한 연구

최영관[1*]
[1]한국수자원공사 K-water연구원

A Study on Steel Properties for Floating Photovoltaic System Structure

Young-Kwan Choi[1*]
[1]**K-water Institute, Korea Water Resources Corporation**

요 약 수상태양광을 개발하기 위해서는 무엇보다 가볍고 높은 인장을 갖는 재료를 적용하여 부력에 부담을 줄여주고 부식저항이 높은 재료특성이 요구된다. 따라서 수상태양광발전 구조물에 적합한 강도, 내구성, 제작 및 용접성을 개선시킨 새로운 고강도 강재의 수상태양광 적용가능성 연구가 필요하다. 본 논문에서는 수상태양광에 적합한 강재선정을 위해 일반강재(SS400)와 고강도강재(POSH 690)의 기계적 하중시험과 강재의 부식시험을 수행하였다. 고강도 신소재강에 대한 시험결과 기존 일반 강재에 비해 기계적 성능이 우수한 것으로 검증되었고, 이 강재를 실제 현장에 제작하여 비교한 결과 기존 강재에 비해 중량이 30~40% 정도 중량감소 효과를 확인하였다.

Abstract For the development of a floating photovoltaic system, materials with light weight and high tensile strength must be applied to reduce the burden on buoyancy, and material characteristics with high resistance to corrosion in water environment is required. Accordingly, a new high strength steel material with improved strength, durability, manufacturability, and weldability that are appropriate for floating photovoltaic system structures is needed. This paper reports the results of a mechanical load test and steel corrosion test on general steel (SS400) and high strength steel (POSH 690) for the selection of an appropriate steel material for a floating photovoltaic system. The results of a test on new high strength steel revealed excellent mechanical performance compared to general steel. The new steel material was manufactured for use in an actual site, and the weight was reduced by approximately 30~40% compared to existing general steel.

Key Words : Floating Photovoltaic System, Floating PV Structure, Corrosion Test, Load Test

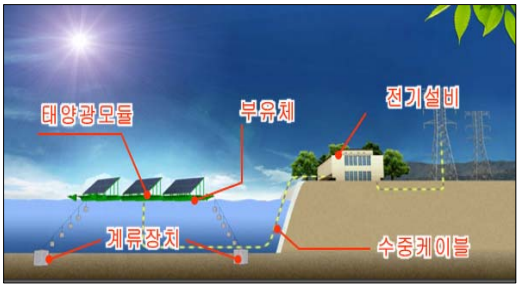
1. 서론

1.1 수상태양광 발전시스템

그동안 태양광발전 기술은 주로 태양광 셀(cell)의 효율을 높이는 연구에 치중해 왔고 그 결과 태양광발전에 드는 비용이 화석연료로 발전한 비용과 같아지는 그리드 패리티(grid parity) 달성을 머지않아 기대할 수 있을 정도의 성과를 내왔다. 근래에 들어서 태양광의 설치방법이나 운영효율 개선에 관한 새로운 응용기술들이 많이 개발되고 있는데, 그 중에 최근 국내외적으로 각광을 받고 있는 수상태양광(Floating Photovoltaic) 기술도 태양광발전의 하나의 응용기술이라 할 수 있다. 수상태양광발전은 기존의 육상태양광 발전기술과 수상부유(floating) 기술을 융합한 새로운 개념의 태양광발전 시스템이다. 수상태양광 발전시스템은 태양전지 모듈을 육상이 아닌 수상에 설치한 것으로 Fig. 1과 같이 태양광 모듈, 물위에 부상하여 태양광 모듈을 고정시키는 구조체 및 부유체, 부유체를 고정 시키고 수위변동에 대응하는

본 논문은 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구과제로 수행되었음.
*Corresponding Author : Young-Kwan Choi(K-water)
Tel: +82-42-870-7661 email: music@kwater.or.kr
Received April 14, 2014 Revised (1st June 9, 2014, 2nd July 11, 2014) Accepted August 7, 2014

계류장치, 생산된 전력을 전송하고 전력계통에 연계하는 전기설비 등으로 구성된다[1-10].



[Fig. 1] Concept of Floating PV System

1.2 수상태양광 구조체용 고강도 신소재

여러 산업분야에 적용중인 기존의 일반강도 강재는 높은 인장강도를 갖지만 인성이 낮아 재료의 피로균열 및 취성파괴가 일어나기 쉽다. 또한 제작 시 성형 및 용접이 까다로워 시공성이 떨어지는 단점이 있어 수상태양광의 구조체용으로 사용하기 위해서는 많은 개선이 필요하다는 문제점을 가지고 있다. 수상에 태양광 발전소를 건설하기 위해서는 무엇보다 가볍고 높은 인장을 갖는 재료를 적용하여 부력에 부담을 줄여주면서 수상환경에서 부식저항이 높은 재료특성이 요구된다. 특히 육상태양광과 같은 고정된 지반과는 달리 파랑, 갑작스런 해일 등 진동피로를 지속적으로 받으며 수상에 계류 되어 있어야 하는 수상태양광 구조물의 특성 때문에 부력체 하면과 수중지반 사이에 응력의 감쇠구조 및 경량, 방수, 방식, 고강도의 특성은 필요 충분한 조건이여야 한다.

일반적으로 고강도강 이라함은 490MPa 이상 980MPa 이하의 인장 강도를 갖는 용접구조용강을 지칭하지만, 최근에는 인장강도 570MPa 이상의 강재를 뜻한다. 국내의 경우는 570MPa 급의 용접구조용 강재가 생산되고 있으나 최근까지 그 이상의 강재는 규정되어 있지 않다. 고강도강을 사용하면 높은 허용응력을 가질 수 있으므로, 판의 두께를 얇게 하여 자중을 감소시켜 전체적인 설계의 합리성을 증대시키고, 제작 편의성이 증대되므로 안정된 제작 품질을 얻을 수 있다. 따라서 이를 강재 제작 기술로 보완하고 개발하여 수상의 태양광 발전소 구조물에 적합한 강도, 내구성, 제작 및 용접성을 개선시킨 새로운 고강도 강재가 필요하며, 이 강재의 수상태양광 적용 가능성 연구가 필요하다. 본 논문에서는 수상태양광에 적합한 강재선정을 위해 일반강재(SS400)와 고강도강재(POSH 690)의 기계적 하중시험과 강재의 부식시험을 수행하고자 한다.

2. 하중 및 부식실험

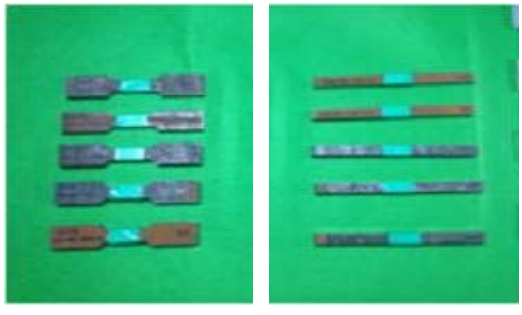
2.1 실험개요

실험은 Table 1과 같이 일반구조용 압연강재와 고강도 신소재 강재를 이용하여 하중시험을 하였다. 또한 수상환경과 유사한 조건하에서 강재의 부식 변화를 보기 위한 부식시험을 하였다.

[Table 1] Rolled steel and High strength new materials steel of general structure

Division	Rolled Steel	High Strength New Materials Steel
Model	SS400	POSH 690
Tensile strength(N/mm^2)	400~510	over 690
Yield strength(N/mm^2)	245	over 610
Elongation(%)	21	over 16

기계적 하중시험시 기존 한국전력공사(KEPCO)에서 사용 중인 고강도 경완철의 시험기준을 적용하였으며, 기존 일반구조용 압연강재가 KS 규격품임을 고려하여 Fig. 2와 같이 고강도 신소재 강재에 대해서만 KS B 0801 아령형 5호로 시편을 제작하여 시험하였다.



(a) (b)

[Fig. 2] Sample for mechanical load test
(a) POSH 690 (b) SS400

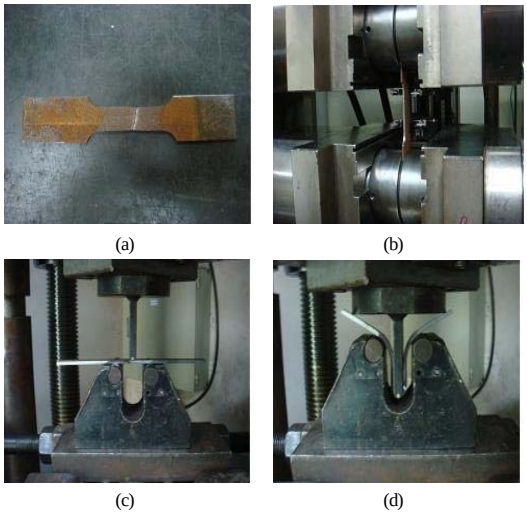
강재의 부식시험을 위해 '한국산업규격-염수 분무 시험 방법(KS D 9502)'에 따라 Fig. 3과 같이 기존 일반구조용 압연강재와 고강도 신소재 강재시편을 제작하였다[11]. 추가로 각각의 강재에 무도금 상태와 용융 아연도금 상태로 1wt%의 염화칼슘용액에서 부식정도를 조사하였다. 그리고 도금의 두께별, 용액 농도별에 따라 (1~5wt %까지) 염화칼슘 용액에 침수시켜 부식의 변화를 관찰하였다.

(a) (b)

[Fig. 3] Sample for Corrode Test
(a) POSH 690 (b) SS400

2.2 하중시험 결과

제작한 고강도 강재 시편으로 Fig. 4와 같이 시험한 결과 아래 Table 2와 같은 시험 결과를 얻었다.



(a) (b)

(c) (d)

[Fig. 4] Mechanical Load Test of High Strength Steel
(a) Sample figure (b) Tensile test
(c) Bending test(Before) (d) Bending test(After)

[Table 2] Mechanical Load Test Result of High Strength Steel

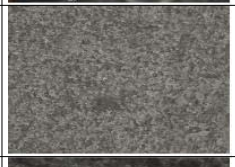
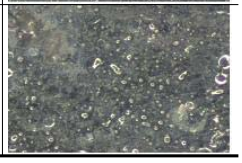
	REF(3.5T)	3T	3.5T	4.5T	5T	5.5T
YP (kgf/mm^2)	62	75.1	77.6	75.8	73.1	61.2
TS (kgf/mm^2)	70	81.5	81.7	82.4	79.4	68.3
EL (%)	16	22	22	24	24	26

시험 결과 기존 일반강재(SS400)보다 인장력 및 항복강도가 2배 이상의 결과를 얻을 수 있었다. 기준시편과 비교 시 항복점(YP : Yield Point)의 경우 21%, 인장강도(TS : Tensile Strength)의 경우 13%, 연신율(EL : Elongation) 23% 만큼 증가하였다.

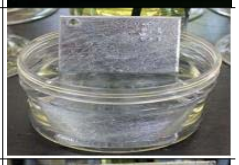
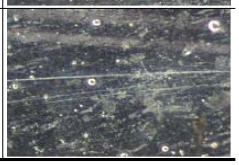
2.3 강재의 부식시험(침지시험) 결과

일반강재와 고강도 강재를 각각 무도금 상태와 도금 상태로 시험한 결과는 Table 3과 같다.

[Table 3] Corrosion Test Result of General Structure Rolled Steel(SS400 6.0T)

Test #2	General structure rolled steel(SS400 6.0T)	
	Uncovered steel	Plated steel
Sample Figure		
Sample Figure		
Test Result		
×10		
×50		

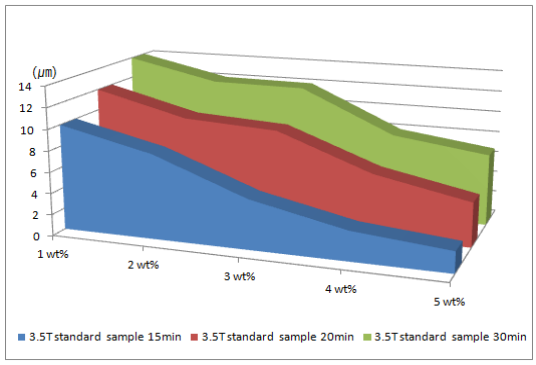
[Table 4] Corrosion Test Result of High Strength Steel(POSH 690 3.5T)

Test #2	High strength steel(POSH 690 3.5T)	
	Uncovered steel	Plated steel
Sample Figure		
Sample Figure		
Test Result		
×10		
×50		

도금두께와 용액의 농도에 따른 부식실험에서는 Table 5 및 Fig. 5 와 같이 침적시간이 짧을수록, 용액농도가 높을수록 부식이 심하게 발생하였다. 일반적 도금두께는 크기와 형상에 따라 차이가 있으나 일반적으로 10분에 약 70㎛ 정도이다.

[Table 5] Corrosion Test Result of Steel(3.5T Standard Sample Thickness)

Solution Concentration	3.5T standard sample[㎛]		
	15minute	20minute	30minute
1 wt%	10	12	14
2 wt%	8	9.8	12.1
3 wt%	4.7	9.3	12
4 wt%	2.8	6	8
5 wt%	2	4.2	6.8

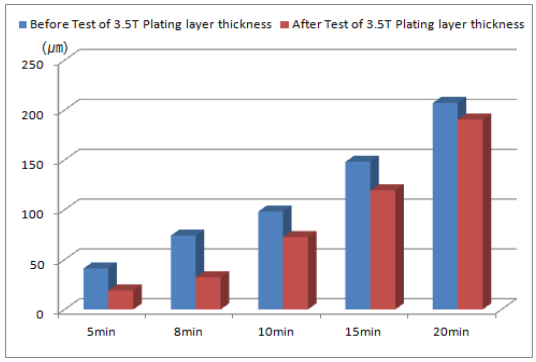


[Fig. 5] Change of Plating Layer at Various Concentrations

또한 5분, 8분, 10분, 15분, 20분을 표준시편과 동일한 두께인 3.5T 시편에 적용하여 1wt% 용액에 7일간 침척 후 피막두께 측정기를 이용하여 측정하였다. 그 결과 Table 6 및 Fig. 6과 같이 두께가 두꺼울수록 감소율이 작아서 부식 저항성이 높게 나타났다.

[Table 6] Corrosion Test Result of Steel(3.5T Standard Sample Thickness)

Plating Time	3.5T Plating layer thickness[㎛]		
	Before Test	After Test	Reduction Ratio(%)
5minute	41	19.1	53.4
8minute	74	32.1	56.6
10minute	98	72.5	26.0
15minute	148	119.4	19.3
20minute	207	190.3	8.1



[Fig. 6] Change of Plating Layer by Plating Time

3. 실험의 고찰

3.1 시험결과

2.2절에서 하중시험 결과 고강도 경량 강재(POSH 690)는 기존 일반강재(SS400)보다 인장력 및 항복강도가 2배 이상의 결과를 얻을 수 있었다. 기준시편과 비교 시 항복점(YP : Yield Point)의 경우 21%, 인장강도(TS : Tensile Strength)의 경우 13%, 연신율(EL : Elongation) 23% 만큼 증가하였다. 따라서 고강도 경량 강재(POSH 690)가 수상 태양광발전 시스템의 구조체 부재로 사용 가능할 것으로 판단된다.

2.3절에서는 시험용액의 농도별, 도금침적 시간별에 따라 부식정도를 조사결과 도금 층이 두꺼울수록 부식저항성이 높은 것으로 조사되었다.

또한 고강도 강재 (POSH 690)와 일반강재(SS400)에 대하여 침지시험을 통해 비교 검토한 결과, 두 강재 모두 동일한 시험조건에서 무도금 상태와 도금 상태에서 부식에 변화를 확인 할 수 있었으며, 무도금상태의 강재가 도금상태의 강재에 비해 급속도로 부식이 발생되어 향후 장기간 침전되었을 경우 강재의 내구성에 영향을 줄 수 있을 것으로 추정된다. 또한 Fig. 7에서와 같이 도금상태의 강재 또한 전혀 부식이 발생되지 않는 것은 아니었으며, 공기 중에 노출되어 수면에 닿는 부분에서 부식(백화현상)발생이 진행되었으나 도금 조건 변경으로 충분한 대비는 가능할 것으로 판단된다.

(a) (b)

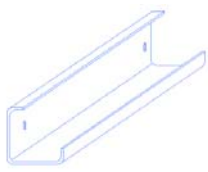
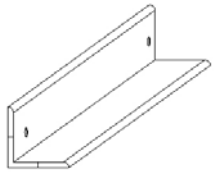
[Fig. 7] Comparison of Uncovered and Plated Steel
(a) Uncovered Steel (b) Plated Steel

3.2 고강도 강재의 적용

자연파괴를 최소화하고 발전소 건설에 큰 부분을 차지하는 부지매입의 필요성이 없는 수상태양광 발전은 태양광 발전분야에서 한축을 담당 할 수 있는 훌륭한 대안이라 할 수 있다. 본 연구의 실험을 통해 고강도 경량자재 적용에 따른 부재의 중량감소와 이를 적용하기 위한 기술적 기초조사에서 구조물의 신뢰성과 발전소 건설시의 경제성 확보가 가능함을 알게 되었다.

장경간 복합구조물에 적용 중인 볼타입의 스페이스 프레임을 Table 7에서와 같이 앵글형태로 제작하여 구조물을 조립하면 전체 구조물의 중량이 감소되어 작업성이 개선될 수 있고 결국 구조물에 대한 경제성 향상을 기대할 수 있다.

[Table 7] Comparison of High Strength Angle and Normal Angle Iron

	High strength angle iron	Normal angle iron
Manufacture	Manufacturing Lip Channel shape with folding 2T high strength steel	Gutting 900mm with normal commercial 4T thickness
Image		
Size	45 × 2 × 900mm	45 × 4 × 900mm
Weight	1.47kg	2.47kg

4. 결론

고강도 신소재강에 대한 시험결과 기존 일반 강재에 비해 기계적 성능이 우수한 것으로 판단되며, 이에 대한 강재를 실제 현장에 제작하여 비교한 결과 기존 강재에 비해 중량이 30~40% 정도 중량감소 효과를 얻었다.

K-water는 주암댐에 설치한 2.4kW 실증플랜트를 시작으로 합천댐 100kW, 500kW 고정식 수상태양광, 100kW 추적식 수상태양광, 시화호 20kW 실증플랜트를 설치함으로써 수상태양광의 선두기업으로써 다양한 시도를 하고 있다. 향후 본 연구에서 실험한 고강도 경량부재의 특성결과를 이용하여 수상태양광 구조체 부분의 원가절감이 가능하다고 사료되며, 이를 통해 육상태양광 경쟁형 수상태양광을 개발함으로써 태양광시장이 수상태양광으로 인해 다시 활력을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, Se-Hyeon Lee, “A Study on the Development of Tracking Floating Photovoltaic System to Increase Generation Efficiency”, EU PVSEC 2013. October 2013

[2] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, Kern-Joong Kim, “Empirical Research on the efficiency of Floating PV systems compared with Overland PV Systems”, CES-CUBE 2013. July 2013

[3] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, Kern-Joong Kim, “A Study on the Design and Implementation of a Prototype for a Tracking Type Floating Photovoltaic System”, ISGC&E 2013. July 2013

[4] Nam-Hyung Lee, Young-Kwan Choi, Kern-Joong Kim, “Performance Analysis of Floating PV Systems for Development Tracking Type Floating PV System”, ISGC&E 2013. July 2013

[5] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, Kern-Joong Kim, “Analysis of the Grounding System of Floating Photovoltaic Systems”, ISGC&E 2013. July 2013

[6] An-Kyu Lee, Gang-Wook Shin, Sung-Tack Hong, Young-Kwan Choi, “A study on development of ICT convergence technology for tracking-type floating photovoltaic systems”, International Journal of Smart Grid and Clean Energy. July 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.12720/sgce.3.1.80-87

[7] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, An-Kyu Lee, Kern-Joong Kim, “A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems”, International Journal of Smart Grid and Clean Energy. July 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.12720/sgce.3.1.70-74

[8] Young-Kwan Choi, “A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact”, International Journal of Software Engineering and Its Applications(IJSEIA) Vol:8 No:1, pp.75~84, 2014

[9] Young-Kwan Choi, Jong-Seok Yi, “The Technique of Installing Floating Photovoltaic Systems” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.14, No.9, pp. 4447-4454, 2013

[10] Young-Kwan Choi, Nam-Hyung Lee, Kern-Joong Kim, Yong Cho, “A Study on the Influence to Solar Radiation by Changing the Azimuth and Tilt of a Photovoltaic Array” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.62, No.5, pp. 7112-716, 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.5.712

[11] Korea industrial standards, “Salt Splay Test”, KS D 9502, 1997

[12] Myeong-Seok Seo, “Research of Mechanism and steel physical properties of steel structure for Floating PV”, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 2012

최 영 관 (Young-Kwan Choi) **[정회원]**

- 2001년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)
- 2004년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2004년 1월 ~ 현재 : 한국수자원공사 K-water연구원 차장
- 2007년 6월 : 기술사 (발송배전, 건축전기설비, 소방)

<관심분야>
신재생에너지, 태양광발전, 에너지세이빙, 전기화재