

모듈화 (Modularization) 관련 연구 동향



최진욱 University of Nevada, Las Vegas Assistant Professor, jinouk.choi@unlv.edu

KICEM

I. 서론

모듈화(Modularization 또는 Modular Construction) 건설 방법이 미국과 유럽을 포함한 전세계 건설 업계와 학자들의 관심 받고 있다. 최근 Construction Industry Institute(CII), National Research Council(NRC), McKinsey Global Institute, World Economic Forum, Autodesk 등 저명한 연구소와 단체들은 건설 산업을 혁신시킬 수 있는 가장 가능성 높은 기법들 중 하나로 모듈화 공법을 손 꼽았다. 미국 건설업계도 모듈화에 대한 관심이 높아져 Modular Building Institute(MBI)이 주최하는 World of Modular(건축), Construction Users Roundtable(CURT)이 주최하는 Offsite Construction Summit나 University of Alberta가 주최하는 Modular and Offsite Construction Summit(학계)등이 최근 몇 년간 각광을 받고 있다.

본 저자가 학회지 제 16권 제 2호에 소개드린 바 있듯이 “모듈화는 현장에서 작업될 일 일정량을 조립공장이나 야외에서 작업을 하는 방법 중 하나로 생산성을 높이고, 원가를 절감하고, 공기를 단축시키고, 품질을 향상시키고, 사고율을 낮춰 안전성을 높일 수 있는 방법이다.”(Choi, 2015; pg. 51 - 54) 이외에도 모듈화 공법은 현장 먼지 유발을 줄이고, 현장 공사소음을 줄이는 등 현장 주위에 영향을 줄이며, 공사 전과 후에 발생하는 건설폐기물을 줄이는 등 친환경적인 장점들까지 최근 들어 주목 받고 있다.

4년 전 기고문에서는 저자가 참여했던 CII Research Team (RT) 283 Modularization의 모듈화 관련 연구활동들에 대해 간략히 소개드린 바 있다. 이번 본 고에서는 학회에서 요청 받은 바 대로 본 저자의 최신 모듈화 관련 연구활동들에 대해 간략히 소개드리고자 한다.

II. 본론

1. 저자 간략 소개

본 저자는 2016년부터 라스베가스 소재 네바다 주립대 (University of Nevada, Las Vegas)에 조교수로 근무하고 있다. 텍사스 주립대 (University of Texas at Austin)에서 건설 관리 세부 분야로 석사 및 박사 학위를 토목공학으로 받았다. 2014년 박사학위 취득 후 아이오와 주립대(Iowa State University)와 홍콩시립대(City University of Hong Kong)에서 포닥으로 근무하였다. 현재 연구주책임자(Principal Investigator)로 미국 국립 과학 재단(National Science Foundation; NSF), 건설 산업 연구원(Construction Industry Institute; CII), 연방 교통부(US Department of Transportation - UTC)에서 수주한 연구 프로젝트를 진행하고 있다. 연구 관심 분야로는 모듈화, 표준화, 시운전과 건설 노동력 다양성 등이 있다.

본 저자는 현재 건설 산업 연구원(CII)에 속한, 모듈화의 장점을 널리 알리고 새로운 모듈에 관한 CII 연구 주제를 제안하는 Think Tank 역할을 하고 있는, 모듈화 소그룹 (Modularization for Business Advancement [MCBA] - 前 Modularization Community of Practice [MCOPI])의 학계 고문으로 활동 하고 있으며 대학원 시절 건설 산업 연구원(CII)의 모듈화 연구팀(RT283 Industrial Modularization)과 시운전 연구팀(RT312 Best Practices for Startup, Commissioning, and Initial Operations)에 학생연구원으로 참여한 바 있다. 현재 건설 산업 연구원(CII)에서 발주한 표준화(Design Standardization) 프로젝트를 연구주책임자로 연구를 진행하고 있다. 본 저자는

학자로서 1) 더 광범위적이고 효과적인 모듈화 사용을 위한 최적의 환경을 만드는 것과 2) 연구와 교육에 있어서 글로벌 아카데미 롤 모델로 활동하는 것을 커리어 목표로 가지고 있다.

2. 과거 모듈화 관련 연구

본 저자는 모듈화 공법에 관련한 여러 연구들을 수행하였으며 2014년을 시작으로 현재 2018년 말까지 모듈화와 관련하여 6편의 저널 페이지, 6개의 컨퍼런스 페이지, 그리고 3편의 연구보고서를 게재하였다. 우선 2015년 기고문 (Choi 2015)에서도 간략하게 소개드린 바 있듯이 2010년부터 2012까지 본 고의 저자가 연구를 보조하고 북미 17개 기업이 참여한 건설 산업 연구원 (CII)의 모듈화 연구팀(주 연구 책임자 Dr. James T. O'Connor [본 저자의 지도교수]; Dr. William J. O'Brien)이 수행한 연구과제로 2012년과 2013년에 세편의 보고서들(CII 2012; CII 2013; O'Connor et al. 2013)이 나왔다. 연구팀은 이 연구에서 다섯가지 해법 요소들을 제시하였다(CII 2012): 1) 사업성 분석 프로세스(a business case process); 2) 실행계획 차이(execution plan differences); 3) 결정적 성공 요인(critical success factors); 4) 표준화 전략(a standardization strategy); 그리고 5) 모듈화 극대화 가능자(modularization maximization enablers).

과거 2015년 기고문에서 간략하게 위의 다섯 가지 해법 요소들에 대해 설명드렸다고 1) '사업성 분석 프로세스' 해법 요소에선 어떻게 하면 모듈화 적용에 따른 이득과 비용들을 평가할지에 대한 해법들을 제시하였고, 2) 두번째 해법인 '실행 계획 차이'에서는 프로젝트 실행계획과 실행에 있어 전통적인 건설 방법과 모듈화 기법의 차이점을 찾아냈으며, 3) '결정적 성공 요인'에서는 21가지의 모듈화 성공 요인들을 찾아 냈으며, 4) '표준화 전략' 해법 요소에서는 어떻게 하면 표준화와 모듈화가 조화가 되어 시너지 효과를 낼 수 있을지에 대해 연구하였으며, 5) 마지막 '모듈화 극대화 가능자' 해법 요소에서는 현재 건설산업 차원에서 모듈화 기법 적용을 방해하는 장애물을 극복하기 위한 가능자들 제시하였다(Choi 2015). 다섯가지 해법 요소의 간략한 한글 소개는 2015년 기고문(Choi 2015)을; 더 자세한 연구 방법론 및 연구 결과는 세편의 보고서들(CII 2012 & 2013; O'Connor et al. 2013)이나 저널 페이지들(O'Connor et al. 2014; 2015a; 2015b)과 컨퍼런스 페이지들(O'Brien et al. 2015 & O'Connor et al. 2017) 참고 하시길 바란다.

이후 후속 연구로 저자의 박사 학위 논문에서 모듈화 결정

적 성공 요인과 프로젝트 성과의 연관성에 대해 공업 프로젝트 중심으로 연구하여 1) 모듈화한 공업 프로젝트들의 특성을 찾아 내고, 2) 모듈화 결정적 성공 요인들의 성취도를 측정하고, 그리고 3) 모듈화 결정적 성공 요인들과 프로젝트 성과의 연관성을 찾았다(Choi 2014). 위의 모듈화 연구팀의 연구 결과와 저자의 박사 학위연구 결과를 바탕으로 건설 산업 연구원(CII)은 "모듈화 계획(Planning for Modularization)"을 CII Best Practices 중 하나로 2015년 선정하였으며 작년 저자가 학계 고문으로 활동하고 있는 MCBA 그룹과 함께 "모듈화 계획"관련 홍보 동영상 제작하였다. 홍보 동영상은 여기 (<https://www.construction-institute.org/resources/knowledgebase/best-practices/planning-for-modularization>)에서 확인 할 수 있다.

3. 최근 모듈화 관련 연구

본 절에서는 본 저자가 최근 연구를 완료했거나 진행 중인 모듈화 관련 연구를 간략하게 소개드리고자 한다.

3.1 모듈화 사업성 분석 모델 및 툴 개발

위에서 간략하게 설명드린 '사업성 분석 프로세스' 해법 요소를 바탕으로 MCBA 회원들의 도움을 받아 최근 모듈화 사업성 분석 모델 및 툴을 개발하였다. 이 툴은 현장에서 작업될 일들이 조립공장이나 야외로 옮길 모듈화 정도를 모듈화의 장 단점들과 모듈화에 관련된 유무형적인 요소들을 고려하여 최적화 할 수 있도록 도와주는 툴이다. 이에 관한 자세한 내용은 Choi et al. (2019)이나 Choi and O'Connor(2015)에서 찾아보실 수 있다.

3.2 모듈화 결정적 성공 요인(Critical Success Factors)

심화 분석

본 저자의 박사 연구(Choi 2014) 결과를 바탕으로 한 1) 모듈화한 공업 프로젝트들의 특성, 2) 모듈화 결정적 성공 요인들의 성취도를 측정, 그리고 3) 모듈화 결정적 성공 요인들과 프로젝트 성과의 연관성에 관련 된 컨퍼런스나 저널 페이지들이 현재 리뷰 중이거나 제출 준비 중이며 이를 바탕으로 최근 저널페이지(Choi et al. 2016)에서는 모듈화 공업프로젝트에서 프로젝트 실적을 (비용과 공기를 중점으로) 성공적으로 달성하기 위한 조합들을 찾았다.

3.3 모듈화 공법의 기회와 과제에 대한 인식 조사

본 저자가 홍콩에 포닥으로 있는 동안 인천대학교에 재직 중이신 김태완 교수님과 협업으로 진행한 고밀도 도시 지역에서의 모듈화 공법의 기회와 과제에 대한 인식 조사를 진행하여 그 연구 결과가 저널에 게시되었으며(Choi et al, 2017), 최근 관련 연구의 연장선으로 서비스업 중심 도시에서의 모듈화 공법에 대한 인식 조사를 라스베가스 실무자들을 중심으로 연구 중이다.

3.4 표준화 연구

위에서 소개한 ‘표준화 전략’ 해법 요소의 후속 연구로, 건설 산업 연구원(CII)의 Upstream, Midstream, and Mining Sector 위원회의 발주를 통해, 본 저자는 높은 수준의 디자인 표준화 달성 기법에 대한 연구주책임자로서 2017년 4월부터 연구팀을 이끌며 과제를 수행 중에 있다. 이 연구는 표준화 연구에 포커스를 두고 있지만 모듈화를 기본 전제 조건으로 두고 연구를 수행하고 있으며 코노코 필립스, 윌리파슨스, KBR 과 같은 모듈화 및 표준화 분야의 16명의 전문가들과 함께 연구팀을 꾸려 수행중이다. 연구과제에 대한 정보는 여기나 (<https://www.construction-institute.org/groups/research-teams/rt-umm-01>) Choi et al, (2018)에서 찾아 보실 수 있으며 2019년 8월 5일부터 나흘간 샌디에고에서 열리는 CII Annual Conference에서 연구 결과를 처음으로 공개할 예정이다.

3.5 모듈화 교육 모듈 개발

본 저자는 학자로서 더 광범위적이고 효과적인 모듈화 사용을 위한 최적의 환경을 만들기 위해 모듈화에 대한 교육이 절박함을 직시하고 다양한 눈높이의 교육모듈 개발에 힘 쏟고 있다. 첫번째로 모듈화 관련 대학원 수업을 2017년도에 처음으로 개발하여 매년 봄 학기 UNLV 대학원생들을 대상으로 수업을 진행하고 있으며 이 과목 개발 방법론 및 상세 커리큘럼은 Choi(2018)에서 찾아 보실 수 있다. 두번째로, 현재 건설 산업 연구원(CII)와 MCBA의 협업으로 실무자를 위한 모듈화 계획에 관한 교육 모듈을 개발 중에 있다. 또한, 학부 수준의 모듈화 과목의 필요성을 인지하고 학부 수준의 교육 모듈 개발 계획을 가지고 있다.

3.6 The US Department of Energy Solar Decathlon

미국 에너지부(The US Department of Energy)에서 주최하는 Solar Decathlon은 대학생들이 재생 가능 에너지로 구동되는 고효율의 혁신적인 집을 직접 설계하고 짓는 대회로 2~3년마다 열리고 있다. 본 저자가 근무하고 있는 네바다 주립대(UNLV)에서는 2013년과 2017년에 이어 2020년 대회에 3번째로 참가하고 있다. 다가올 Solar Decathlon 2020 대회에서저자는 UNLV의 부연구책임자로서 참가하고 있으며 모듈화 공법을 적용하여 UNLV 캠퍼스가 있는 라스베가스에서 직접 만들어 대회장소인 워싱턴 DC까지 모듈을 운송하여 대회에 참석 할 예정이다. 저자는 이 프로젝트에 여러 기술들을 적용하여 다양한 연구들을 수행할 예정이다. 대회에 대한 자세한 정보는 여기에서 (<https://www.solardecathlon.gov/>) 찾아 보실 수 있다.



그림 1. 2017년 UNLV's Team Las Vegas의 모듈러 하우스 (Picture by Julian Prestia)

위에 소개드린 연구 이외에도 모듈화 교량(Accelerated Bridge Construction [ABC]) 관련 기초 연구들 - 모듈화 교량 사업성 분석(Sakhakarmi et al, 2018); 실행계획 차이 (Prajapati and Choi - under review)와 드론을 이용한 모듈 운송방법 혁신(Choi and Kim - under review) 등의 연구들을 현재 진행 중이다.

III. 결론

본 고에서는 학회에서 요청 받은 바 대로 본 저자의 최신 모듈화 관련 연구활동들에 대해 간략히 소개하는데 중점을 두었다. 본 저자는 위에서 소개한 모듈화 관련 연구들 외에도 미국 국립 과학 재단(NSF), 건설 산업 연구원(CII), 연방 교통부(US DOT - UTC), 네바다주립대(UNLV)에서 발주한 연구들 - 시운전계획, 건설 노동력 다양성, 캘리포니아 고속철 건설, 인프라 재해 탄력성 증대와 같은 연구들도 완료했거나 진행중에 있다.

최근들어 한국에서도 건설산업 전반으로 학계나 현장에서 모듈화 공법에 대한 관심이 높아지고 있다. 이번 학회 기고문이 모듈화 공법에 관심있는 분들께 도움이 되길 소망하며 연구 협업이나, 컨설팅, 자문, 또는 교육 강연과 같은 기회로도 연결 될 수 있길 기대한다.

참고문헌

- Choi, J. (2014). "Links between Modularization Critical Success Factors and Project Performance." Ph.D., The University of Texas at Austin, Austin, TX.
- Choi, J. (2015). "조립식 (Prefabrication) 및 모듈화 (Modularization) 관련 연구 동향." KICEM 학회지 제16권 제2호 2015. 6.
- Choi, J. (2018) "A New Graduate Course on Modular Construction: University of Nevada, Las Vegas," Proceedings of 2018 Modular and Offsite Construction (MOC) Summit.
- Choi, J.; Chen, X.; Kim, T. (2017) "Opportunities and Challenges of Modular Methods in Dense Urban Environment," International Journal of Construction Management, Available at <<http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2017.1382093>>
- Choi, J.; Kim, D. (under review) "A New UAV-based Module Lifting and Transporting Method: Advantages and Challenges," 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019)
- Choi, J.; O'Connor, J.T. (2015) "Modularization Business Case Analysis Tool: Learning from Industry Practices," 2015 Modular and Offsite Construction Summit & 1st International Conference on the Industrialization of Construction.
- Choi, J.; O'Connor, J.T.; Kim, T. (2016) "Recipes for Cost and Schedule Successes for Industrial Modular Projects: Qualitative Comparative Analysis Approach," ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001171, 04016055.
- Choi, J.; Shane, J.S.; Kwak, Y.H.; Shrestha, B.*. (2018) "Achieving Higher Levels of Facility Design Standardization in the Upstream, Midstream, and Mining Commodity Sector: Barriers and Challenges," 2018 Construction Research Congress (CRC), Available at <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784481301.028>>
- Choi, J.; O'Connor, J.T.; Kwak, Y.H.; Shrestha, B. (2019) "Modularization Business Case Analysis Model for Industrial Projects," ASCE Journal of Journal of Management in Engineering, Accepted for publication on Aug. 21, 2018.
- Construction Industry Institute (CII; 2012). "Industrial Modularization: How to Optimize; How to Maximize." The University of Texas at Austin: Construction Industry Institute, Austin, TX, RS283-1
- CII (2013). "Industrial Modularization: Five Solution Elements." The University of Texas at Austin: Construction Industry Institute, Austin, TX, IR283-2
- O'Connor, J. T., O'Brien, W. J., and Choi, J. (2013). "Industrial Modularization: How to Optimize; How to Maximize." The University of Texas at Austin: Construction Industry Institute, Austin, TX, RR283-11
- O'Connor, J.T.; O'Brien, W.J.; Choi, J. (2014) "Critical Success Factors and Enablers for Optimum and Maximum Industrial Modularization", ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000842, 04014012.
- O'Connor, J.; O'Brien, W.; Choi, J. (2015a) "Standardization Strategy for Modular Industrial Plants," ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001001, 04015026.
- O'Connor, J.T.; O'Brien, W.J.; Choi, J. (2015b) "Industrial Project Execution Planning: Modularization vs. Stick-built," ASCE Practice Periodical on Structural Design and Construction, 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000270.
- O'Brien, W.J.; O'Connor, J.T.; Choi, J., (2015) "Modularization Business Case: Process Flowchart and Major Considerations," 2015 Modular and Offsite Construction Summit & 1st International Conference on the Industrialization of Construction.
- O'Connor, J.; O'Brien, W.; Choi, J., (2017) "Industry-wide Maximization Enablers for Higher Levels of Modularization," Proceedings of The First International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Constructed Infrastructure Facilities, international Society for Maintenance And Rehabilitation of Transport infrastructures, 1-6.
- Prajapati, E.; Choi, J., (under review) "A Pilot Study of Identifying Execution Plan Differences for Accelerated Bridge Construction," Proceedings of 2019 Modular and Offsite Construction (MOC) Summit.
- Sakhakami, S.; Choi, J.; Park, J., (2018) "Business Case Process for Accelerated Bridge Construction," Proceedings of 2018 International Road Federation Global R2T Conference & Expo.