

다양한 하중 조건에서 Tetrapod 소파블록의 취약부 분석

임정현¹, 원덕희², 한택희², 강영종^{1*}

¹고려대학교 건축사회환경공학부, ²한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부

Evaluation of the Weak Part for Wave Dissipating Blocks under Various Conditions: Tetrapod

Jeong Hyeon Lim¹, Deokhee Won², Taek Hee Han², Young-Jong Kang^{1*}

¹School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

²Coastal Development & Ocean Energy Research Division, Korea Institute Ocean Science & Technology

요약 최근 전 지구적인 기상 변화로 인하여 슈퍼 태풍이 많이 발생되고 있다. 특히 2012년에는 볼라벤과 덴바 등 최대 풍속 60m/s 이상의 태풍이 우리나라에 상륙을 하였다. 설계 파고보다 높은 이상 고파랑이 내습하면서 소파블록을 포함한 항만시설물의 유실 및 파괴가 발생하였다. 우리나라는 주로 Tetrapod 블록이 가장 많이 설치되어 있음에도 불구하고 이에 대한 구조적 평가가 제대로 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 다양한 하중 조건하에서 Tetrapod 블록의 응력 매커니즘을 분석하고 취약부분을 분석하였다. 분석 결과 블록이 무근 콘크리트로 되어 있기 때문에 인장력에 가장 취약한 것으로 나타났으며, 4개의 다리가 연결되는 부분이 가장 취약하여 균열이 시작되는 것으로 분석되었다. 접합부를 부분 보강한다면 취약부가 감소될 것으로 판단된다.

Abstract Super typhoons develop as a result of meteorological changes. In 2012, Typhoons Bolaven and Denba reached Korea. The maximum instantaneous wind speed of the typhoons reached 60 m/sec. Harbor structures including sofa block sustained damage and loss by the abnormally high waves. In Korea, tetrapod blocks were installed the most for wave dissipating. Nevertheless, a structural evaluation of the tetrapod block has not been performed. This study examined the structural mechanism and weakness part of the tetrapod block under a range of boundary conditions. The block has weakness against a tensile force because it is plain concrete. The joint part of the legs is the most vulnerable to tensile stress. The weakest part can be reduced if the joint part is reinforced as a hunch.

Key Words : Weak Part, Tensile, Tetrapod, Wave Dissipating Block

1. 서 론

최근 전 지구적인 기상 변화로 인하여 슈퍼 태풍이 많이 발생되고 있다. 특히 2012년에는 볼라벤과 덴바 등 최대 풍속 60m/s 이상의 태풍이 우리나라에 상륙을 하였다. 설계 파고보다 높은 이상 고파랑이 내습하면서 항만시설물의 유실 및 구조물 파손 등의 피해가 발생하

였다. 특히 볼라벤 내습시 제주에서는 서귀포항 외항방파제의 외측 소파블록 72ton Tetrapod 2300여개가 유실되는 등의 피해가 발생하였다. 이밖에도 많은 태풍에 의하여 가거도 등에 소파 블록피해가 다수 발생하였다.

일반적으로 대부분의 소파블록은 무근 콘크리트로 제작되기 때문에 인장부의 초기 균열발생 후 지속적으로 균열이 확대된다. 우리나라 항만에 가장 많이 적용

본 연구는 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(첨단항만물류기술개발사업 - 고파랑 대응 소파블록 및 상치구조물 기술개발, PM57890)

*Corresponding Author : Young Jong Kang(Korea Univ.)

Tel: +82-2-927-7715 email: yjkang@korea.ac.kr

Received July 2, 2014

Revised August 4, 2014

Accepted August 7, 2014

되어 있는 TTP 소파블록의 거동을 보면 Fig. 1과 같다. 파랑이 내습 시 지반으로부터 상부쪽으로의 하중이 발생하게 되어 소파블록이 회전 및 흔들림이 발생하여 인터락킹력이 상실되어 부유 및 이탈이 발생하여 유실되거나 손상이 발생하게 된다. 이러한 조건에서 Tetrapod는 Fig. 2와 같이 4개의 팔 중 하나가 균열이 발생하여 파괴되는 특징을 보인다. 이러한 파괴들을 분석하기 위한 연구로는 소파블록을 들어 올려 떨어뜨리는 낙하실험에 대한 거동만 분석되었을 뿐 다양한 경계조건에서 소파블록들의 구조적 거동 특성을 분석한 사례가 전무하다[1-3].



[Fig. 1] Behavior of wave dissipating block under wave load



[Fig. 2] Failure state of tetrapod blocks

본 연구에서는 다양한 경계조건 하에서 소파블록의 응력 전달 메커니즘을 해석적으로 분석하여 구조적인 거동 특성을 분석하였다. 대상 소파블록 모델로는 Tetrapod로 선정하여 다양한 경계조건과 하중상태에서 소파블록의 구조적 취약부를 검토하였다.

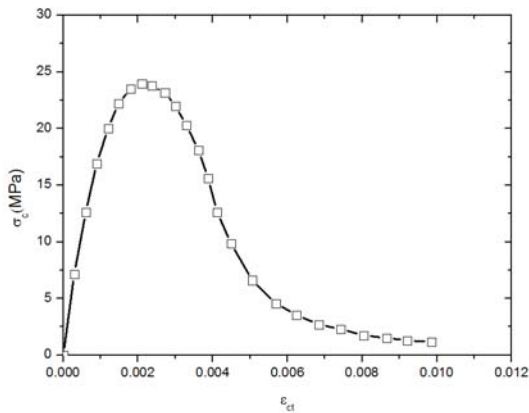


[Fig. 3] Wave dissipating block models for analysis (Tetrapod)

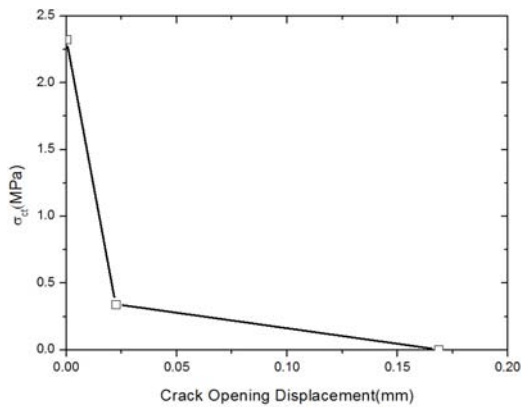
2. 해석방법

소파블록은 경제적인 측면과 염분에 의하여 강재가 부식되어 균열이 발생하는 것을 방지하기 위하여 주로 무근 콘크리트가 적용된다. 본 연구에서는 소파블록의 소성 거동 특성을 분석하기 위하여 재료 비선형성을 고려하여 해석을 수행하였다. 일반적으로 소파블록에 적용되는 콘크리트의 압축강도는 19MPa~21MPa의 보통강도 콘크리트이므로, 본 해석에서는 콘크리트의 압축강도는 21MPa, 최대 인장 강도는 2.3MPa로 가정하였다. 콘크리트의 재료모델은 CEB-FIP 1990 모델[4]을 Fig. 4와 같이 적용하였다.

경계 조건으로는 균집상태를 고려하여 소파블록에 맞도록 경계조건을 고려하였으며, 각각의 지점은 콘크리트의 국부파괴를 방지하기 위하여 면지기로 모사하였다. 재하하중은 소파블록의 자중을 연직방향으로 재하하고, 추가적으로 Noboru.S(2009)[3]에서 제시한 소파블록 자중의 5배에 해당하는 하중을 경계조건에 맞도록 면하중으로 재하 하였다.



(a)



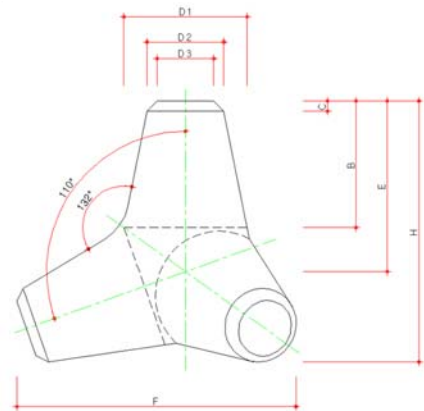
(b)

[Fig. 4] Material properties of concrete

(a) CEP-FIP 1990 21 MPa concrete compression material model[4] (b) CEP-FIP 1990 21 MPa concrete tensile material model - CMOD(Crack Mouth Opening Displacement)[4]

3. Tetrapod 소파블록의 거동 분석

Tetrapod 블록은 1950년에 프랑스에서 개발되었으며, 블록과 블록사이의 인터락킹 효과로 인하여 파랑에 대한 저항을 높인다. 2층적 사용 시 공극률이 약 50%정도 되며, 월파랑 감소가 매우 크다. 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있으며, 국내의 경우 대부분을 차지한다.



[Fig. 5] Dimension of tetrapod block

본 해석에서는 범용프로그램 ABAQUS[5]를 이용하였으며, Fig. 5와 Table 1과 같이 72ton의 Tetrapod 블록을 대상모델로 선정하였으며, 해석 요소는 10절점 Solid 요소(C3D10)를 사용하였다.

[Table 1] Detail dimension of tetrapod

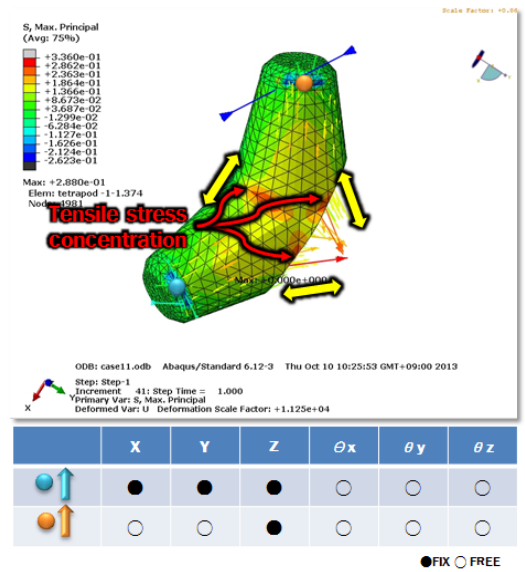
Articles	Dimension(mm)
D1	2240
D2	1400
D3	1030
H	4700
S	5615
B	2280
C	185
E	3070
F	5025

Tetrapod는 2층적을 하기 때문에 블록들이 서로 불규칙적으로 배치될 때가 많아 다양한 경계조건하에 놓을 경우가 많다. 이때의 상태를 고려하여 다양한 조건에서 Tetrapod 블록의 거동을 분석하였다. 경계조건은 Table 2와 같이 8가지 경우를 고려하였다. Load case 1은 평평한 지면에 배치되어 있을 때 연직하향으로 상단의 다리에 하중이 작용하는 경우이며, Load case 2는 평평한 지면에 연직하향의 하중이 3개의 다리중 하나에만 작용할 경우, Load case 3은 방파제의 거치 형태와 동일하게 1:1.5의 경사면에 블록이 배치되고 블록 다리의 조인트 부분에 하중이 작용할 경우, Load case 4는 Load case 3와 동일한 경사면에 배치되고 경사부에

수직하도록 상단의 다리에 하중이 작용할 경우, Load case 5 경사면에 배치되고 연직하향으로 상단의 한쪽 다리에 하중이 작용할 경우, Load case 6 다른 블록에 의해 두 다리가 고정되고 한쪽다리 끝단에 연직하향으로 하중이 작용할 경우, Load case 7는 Load case 6과 같이 다른 블록에 의해 두 다리가 고정되고 한쪽다리 끝단에 수평으로 회전력이 작용하도록 하중이 작용할 경우, Load case 8은 다른 블록에 두 다리가 고정되고 소파블록의 중심부에 연직하향으로 하중이 작용할 경우를 나타낸 것이다.

Fig. 6~13은 하중 조건에 따른 주응력 방향과 응력 집중부를 나타낸 것이다.

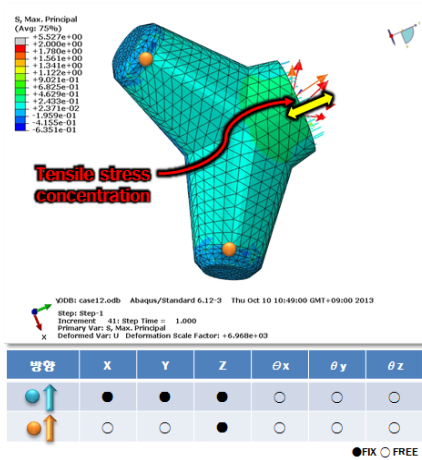
Fig. 6은 하중 케이스 1에 대한 것으로 평평한 곳에 배치된 블록의 상단에 자중의 5배의 하중이 작용하게 된 경우를 나타낸 것으로 3개의 다리에 하중이 고르게 분포하는 것을 볼 수 있으며, 4개의 다리가 연결되는 중심부에서 가장 큰 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다.



[Fig. 6] Load case 1

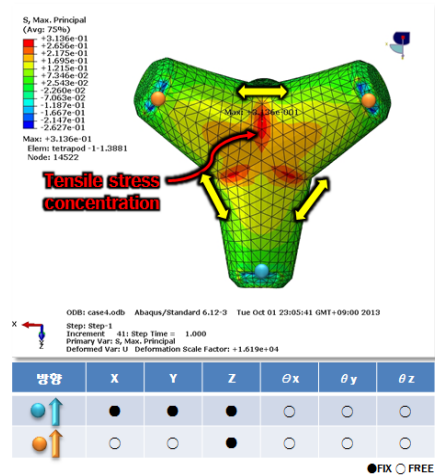
[Table 2] Boundary conditions

Load Case 1	Load Case 2	Load Case 3	Load Case 4
Load Case 5	Load Case 6	Load Case 7	Load Case 8
: x,y,z direction fix : y direction fix		: Load : Self-weight	



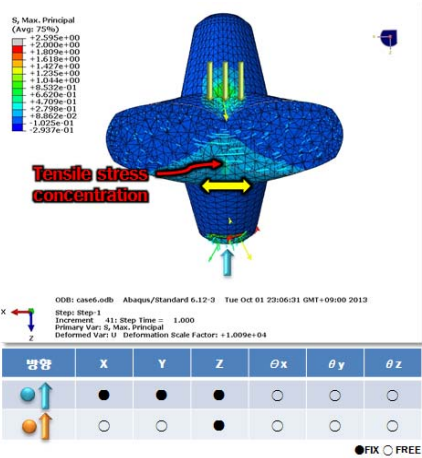
[Fig. 7] Load case 2

Fig. 7은 하중 조건 2로서 평평한 곳에서 자중의 5배의 하중이 3개의 지지다리 중 하나의 다리에만 집중적으로 작용하는 경우를 나타낸 것으로 소파블록의 하단 부분에 가장 큰 인장응력이 발생하였으며, 균열이 시작되는 것으로 나타났다.



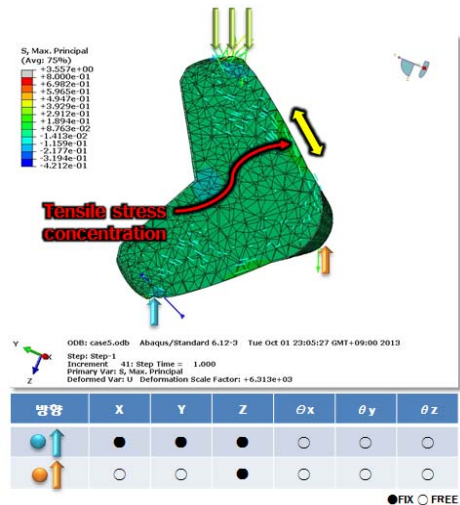
[Fig. 9] Load case 4

Fig. 9는 하중 케이스 4로서 1:1.5의 각도를 갖는 방파제에 블록이 설치되었을 경우를 가정한 것으로 하중이 경사면에 수직으로 블록의 상단에 작용할 경우를 가정한 것이다. 외부하중의 조건은 하중 케이스 1과 동일하지만 자중이 다른 것이 특징이다. 이러한 하중 조건에서 발생하는 인장응력을 보면 작용하중의 영향으로 하중조건 1과 같이 블록 하단의 3개의 다리에서 인장응력이 발생한다. 자중의 자중방향이 다르지만 하중조건 1과 동일한 응력 패턴을 갖는 것으로 나타났다.



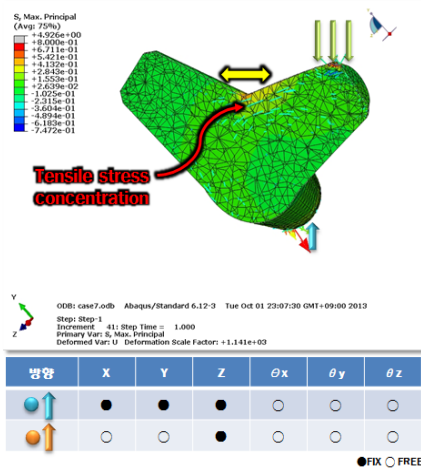
[Fig. 8] Load case 3

Fig. 8은 하중 케이스 3으로서 1:1.5의 각도를 갖는 방파제에 블록이 설치되었을 경우를 가정한 것으로 이때 자중의 5배의 하중이 블록 다리 연결부에 작용하였을 경우에 대하여 고려한 것이다. 블록 다리 연결부 하단에서 큰 인장응력이 발생하는 것으로 나타났으며, 균열이 발생할 경우 지속적인 하중의 작용으로 인하여 파괴될 것으로 판단된다.



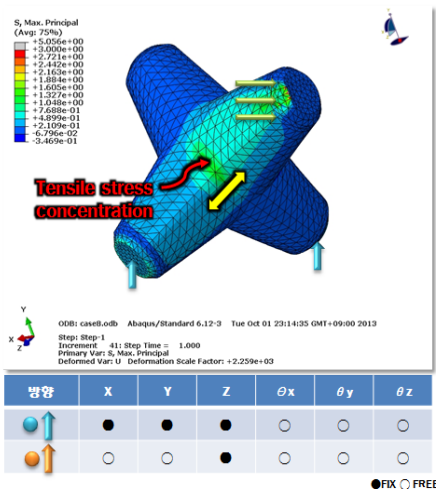
[Fig. 10] Load case 5

Fig. 10은 하중 케이스 5로서 경사면에 배치되고 연직하향으로 상단의 한쪽다리에 하중이 작용할 경우를 나타낸 것으로 하중은 자중 방향과 동일하게 작용한다. 이때 상단에 인장응력이 발생하는 것으로 나타났으며, 다른 블록에 의하여 지지되는 부분인 경사면 하단의 다리에서 지압과괴가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.



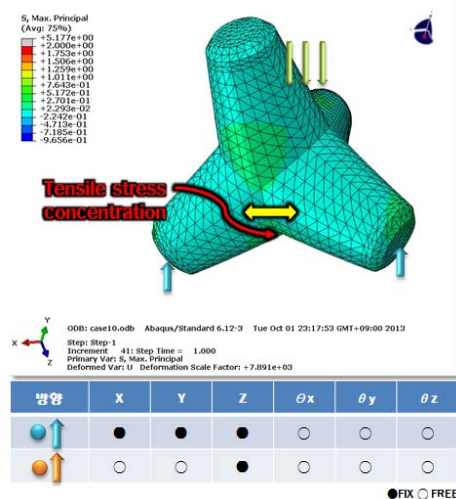
[Fig. 11] Load case 6

Fig. 11은 하중 케이스 6으로서 다른 블록에 의해 두 다리가 고정되고 한쪽다리 끝단에 연직하향으로 하중이 작용할 경우를 나타낸 것으로 다리의 연결부에 인장응력이 발생하는 것으로 나타났으며, 태풍시에는 충분히 이러한 조건이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 12] Load case 7

Fig. 12는 하중 케이스 7로서 하중 케이스 6과 같이 다른 블록에 의해 두 다리가 고정되고 한쪽다리 끝단에 수평으로 회전력이 작용하도록 하중이 작용할 경우를 고려한 것이다. 회전력에 의하여 2.4MPa 이상의 인장응력이 발생하는 것으로 나타났으며 연결부에 균열이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 13] Load case 8

Fig. 13은 다른 블록에 두 다리가 고정되고 소파블록의 중심부에 연직하향으로 하중이 작용할 경우를 나타낸 것으로 하면 다리 연결부에 인장응력이 약 2MPa 정도 발생하는 것으로 나타났다.

[Table 3] Max Principal tensile Stress by load case

Load case	Max Principal tensile Stress(MPa)
Case.1	0.36
Case.2	2.21
Case.3	2.10
Case.4	0.31
Case.5	1.01
Case.6	0.80
Case.7	2.78
Case.8	2.21

Table 3은 하중 케이스별로 발생하는 주인장응력을 나타낸 것으로 하중 케이스 2,3,7,8에서 가장 큰 인장

응력이 발생하는 것으로 나타났으며, 그중 하중 케이스 7이 가장 큰 인장응력이 발생하여 균열이 발생하였을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 우리나라에 가장 많이 설치되어 있는 Tetrapod 블록의 하중조건에 따른 거동 특성을 분석하였다. Tetrapod는 무근 콘크리트로서 Fig. 2와 같은 형태로 파괴된다. 많은 하중 조건 중 Tetrapod 블록은 다른 블록에 의해 두 다리가 고정되고 한쪽다리 끝단에 수평으로 회전력이 작용할 경우에 허용인장응력을 넘는 것으로 나타났으며, 소파블록자체가 단독적인 충격에 의한 파괴보다는 다른 소파블록들과 인터락킹 된 상태에서 회전력이나 충격을 받을 때 가장 취약한 것으로 판단된다. Tetrapod 블록은 모든 하중조건에서 연결부가 가장 취약한 것으로 나타났다. 소파블록 제작 시 심혈을 기울여야 하며, 접합부에서 급격한 각도변화 보다는 라운딩을 주어 응력집중을 줄여주는 것이 필요한 것으로 판단된다.

References

[1] J A ZWAMBORN and J D SCHOLTZ . Dolos Armour Design Consideration, Coastal Engineering, 2420-2434. 1986

[2] R. Hakenberg, I. Vos-Rovers, J.S. Reedijk, M. Muttray, Structural Integrity of the Xbloc breakwater armour units prototype and numerical droptests, International Conference on Coastal Engineering. Lisbon, 2004

[3] S. Noboru., M. Iwanami, M Yamamoto, I. Nishiwaki, Structural Performance Evaluation of New - Type Wave Dissipating Concrete Block, COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, 31, 3436-3448, 2009

[4] Euro-International Committee for Concrete (CEB), CEB-FIP Model Code, Thomas Telpord 1990

[5] Simulia, ABAQUS, 2013

임 정 현(Jeong-Hwa Lee)

[준회원]



- 2012년 2월 : 순천대학교 토목공학과 (학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학부 구조공학 (석박사 통합과정)

<관심분야>

토목공학, 구조공학, 강구조

원 덕 희(Deok Hee Won)

[정회원]



- 2008년 8월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 (구조공학석사)
- 2011년 8월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 (구조공학박사)
- 2011년 9월 ~ 2012년 6월 : 고려대학교 연구교수
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연구원

<관심분야>

강구조, 합성구조, 신재생에너지, 해양구조

한 택 희(Taek Hee Han)

[정회원]



- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2007년 11월 ~ 2008년 12월 : Auburn University 토목공학과 연구원
- 2009년 1월 ~ 2011년 1월 : 서울메트로 기술연구소 전문위원
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 책임연구원

<관심분야>

합성구조, 해양에너지, 비선형 구조해석

강 영 종(Young-Jong Kang)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1992년 6월 : Auburn대학교 Civil Engineering (구조공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1994년 2월 : 공주대학교 토목공학과 전임강사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

<관심분야>

강구조, 합성구조, 신재생에너지, 철도, 해양구조