

기술보고

선체구조 내충격성능 향상을 위한 고연성강 개발

노명현, 김응수, 박규식, 김상호, 손상훈(포스코)

1. 서론

해상에는 다양한 종류의 선박 및 부유체가 존재한다. 따라서, 해상에서의 충돌/충격으로 인한 손상은 선체구조의 안전 뿐만 아니라 인명과 재산의 손실, 기름 유출로 인한 환경오염과 같은 문제를 일으킬 수 있다. 이러한 해상사고를 방지하기 위해 선박충돌 방지 시스템 등을 통해 충돌을 최대한 회피하는 것이 중요하나, 여러 가지 요인으로 충돌이 발생할 수 있다. 선체구조 관점에서는 이러한 충돌에 대비한 설계를 통해 충돌 시에도 안정성을 확보해야 한다.



그림 1 선박 충돌사고 사례

선체구조의 안정성을 확보하는 방안으로는 충격에 유리한 구조형상의 도입, 충격 예상 부위의 보강재 배치와 같은 구조적인 내충격성능 향상 방안과 충돌에 유리한 소재를 적용하는 방안으로 나눌 수 있다. 본 기사에서는 최근 포스코에서 개발한 고연성강을 소개하고자 한다.

2. 본론

고연성강은 일반 선급용 강재 대비 연신율이 35% 또는 50% 향상된 강재를 말한다. 이러한 고연성강은 2018년 ABS Guide로 제정되었으며, DNV Rule에 2020년 반영되었다. 국내에서는 KR에 의해 2021년 3월 '선체구조용 고연성강 지침서'가 제정되었다. 표 1은 포스코에서 개발한 고연성강(HD35)의 기계적 성질을 나타낸 것이다. 고연성강 개발을 위해 목표 Grade 별로 합금성분 및 압연조건을 적정화하여 강도의 저하 없이 목표로 하는 HD35급 연성을 달성하였다.

표 1 포스코 고연성강 기계적 물성

강종	품질특성	기준	실적
AH36 HD35	항복강도(MPa)	≥355	360~420
	인장강도 (MPa)	490~620	510~526
	연신율 (%) (R1B호)	≥20 (8≤t≤10)	23~25
		≥22 (10<t≤15)	24~29
충격인성(J)	≥34 (0° C)	89~233	
EH36 HD35	항복강도(MPa)	≥355	402~469
	인장강도 (MPa)	490~620	500~530
	연신율 (%) (R1B호)	≥20 (8≤t≤10)	22~26
		≥22 (10<t≤15)	24~29
충격인성(J)	≥34 (-40° C)	103~405	

고연성강을 적용한 선체구조의 합리적인 충돌해석을 위해서는 표 1에 제시된 정적 품질특성 외 동적 품질특성이 필요하다. 따라서, 포스코는 고연성강의 동적 품질특성 확보를 위한 고속인장시험을 수행했다. 총 9종의 변형률 속도(준정적 0.001, 0.1/sec, 고속 0.1, 1.0, 3.0, 10, 30, 100, 200/sec)에 대하여 각 강종 당 3개의 시편을 반복 실험하였다.



그림 2 고속인장시험기 및 고연성강 시편

그림 3은 변형률 속도에 따른 고연성강의 파단변형률 및 동적경화계수 변화를 나타낸 것이다. 포스코 고연성강의 경우 고속의 변형률 상태에서 정적상태의 변형률 기준을 만족하는 것을 알 수 있다 (비례시편 변형률 하한 28% 적용). 또한, 변형률 속도가 증가할수록 동적경화 효과에 의해 강도가 증가하는 전형적인 강재의 성질을 보여주고 있다. 고연성강 고속인장 시험 결과를 바탕으로 Cowper Symonds 모델의 동특성 재료모델을 구축하여, 향후 고연성강의 효과를 정량화하기 위한 유한요소해석에 적용하였다.

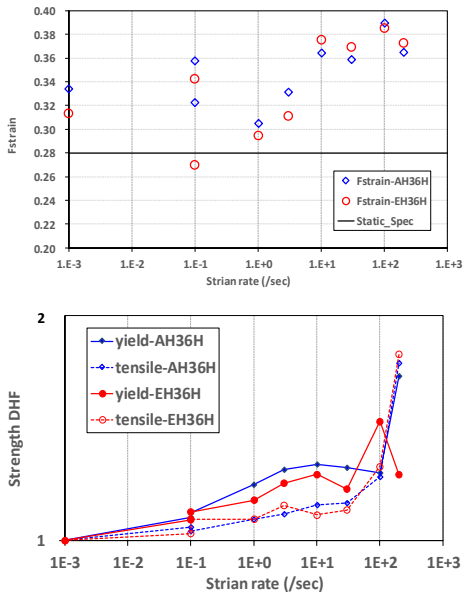


그림 3 변형률 속도에 따른 파단변형률 및 동적경화계수

고연성강의 적용 부위는 ABS Guide에 예시되어 있는 것과 같이 일반 상선의 화물창, 연료탱크뿐만 아니라 특수선 등 다양한 종류의 선체구조에 적용될 수 있다. 또한, 고연성강의 효과는 충격흡수에너지, 임계선속 등을 통해 정량화할 수 있다. 그림 4는 22K급 LPG 운반선 선체에 고연성강을 적용한 효과를 나타낸 것이며, 동적경화 효과는 고려하지 않았다. 이때 HD50급은 단순 비교를 위해 파단연신율을 50% 증가시킨 모델을 적용하였다.

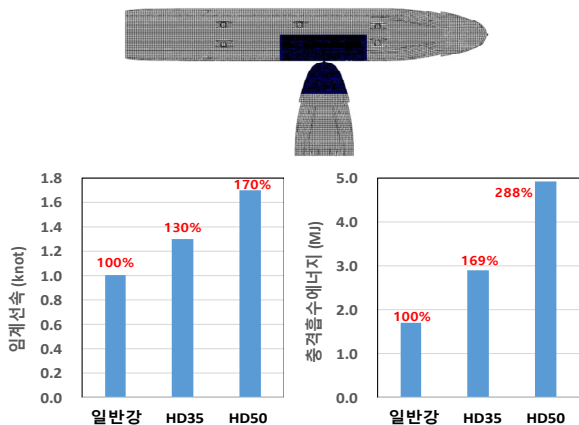


그림 4 22K급 LPG 운반선 고연성과 해석 결과

5만 톤급 PC선 선체의 내빙충돌을 모사하기 위해 그림 5와 같이 가상의 얼음 충돌체를 이용해 충돌해석을 진행하였다. 그림 6의 왼쪽 그림과 같이 모든 충돌체 형상에 대하여

고연성강을 적용 시 임계선속이 증가하고, 충돌체의 선체 충돌 면적이 클수록 (사각형) 원형) 다이아몬드) 더 많은 충격 에너지를 흡수하기 때문에 임계선속이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 6의 오른쪽 그림과 같이 동적경화효과를 고려한 경우가 임계선속이 증가하였다. 따라서, 정밀한 안전성 평가를 위해서는 동적경화효과를 고려한 충돌해석을 적용하는 것이 합리적이다.

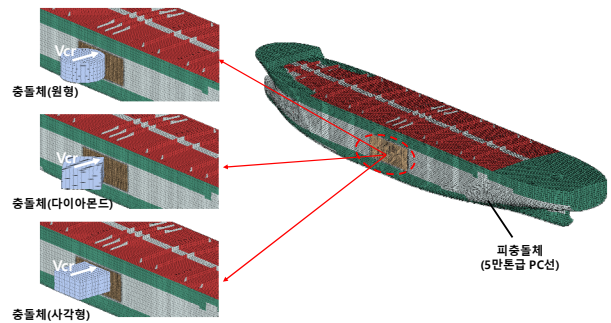


그림 5 충돌체 형상에 따른 5만 톤급 PC선 충돌해석모델

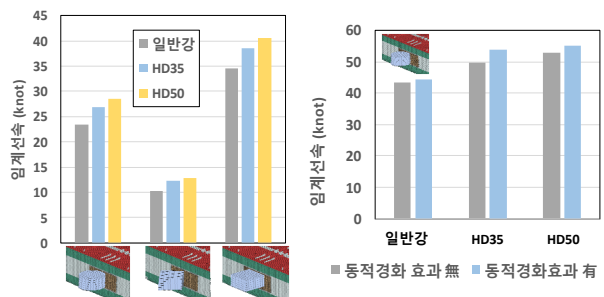


그림 6 충돌체 형상 및 두께에 따른 임계선속 변화

고연성강은 일반 상선뿐만 아니라 함정과 같은 특수선에 적용될 수 있으며, 특히 최근 활발히 연구가 이루어지고 있는 부유식 풍력 하부구조물에도 적용 가능하다. 부유식 풍력 구조물 설계 가이드라인에 따르면 서비스 선박 또는 항로를 벗어난 미상의 선박에 의한 충돌손상 시 일정 기준의 운동안정성을 확보하도록 규정하고 있다. 이러한 부유체 손상에 의한 침수 시 운동안정성 확보를 위해 내부에 차수구획을 설치하는 것이 일반적이나, 차수구획의 설치는 제작비용의 상승을 유발하게 되므로 비용 저감을 위한 대안 도출이 필요하다. IEC 61400-3-2와 DNV-ST-0119에 따르면 충돌 시 손상확률이 일정 기준 이하일 경우 설계 시 손상 운동안정성을 고려하지 않아도 됨을 명시하고 있어 고연성강을 부유체 설계 시 적용함으로써 손상확률을 낮추어 차수구획을 제외한 경제적인 부유체설계가 가능할 것으로 기대된다.

3. 결론

선체구조의 내충돌성을 향상시키기 위한 일반강 대비 파단 연신율이 증가된 고연성강이 개발되었으며, 그 적용효과를 수치해석을 통해 검증하였다. 고연성강은 일반 상선뿐만 아니라 항후 특수선, 부유식 해상풍력 부유체 등 다양한 선박구조에 적용될 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

ABS, [Guide for material requirements for higher-ductility hull structural steel plates and sections] (2018),
 DNVGL [Rules for classification-Ships-Part 2 Materials and welding Chapter 2 Metallic materials] (2020),
 한국선급, [선체구조용 고연성강 지침서] (2021),
 DNV-ST-0119 [Floating wind turbine structures] (2021),
 IEC TS 61400-3-2 [Wind energy generation systems -Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines] (2019).



김 상 호

- 현 재 : POSCO 수석연구원
- 관심분야 : 조선/해양/풍력용 강재개발
- E-mail : spinodal@posco.com



손 상 훈

- 현 재 : POSCO 차장
- 관심분야 : 조선/해양/풍력용 솔루션
- E-mail : worldbestson@posco.com



노 명 현

- 현 재 : POSCO 수석연구원
- 관심분야 : 선체구조, 부유식 풍력
- E-mail : mnoh@posco.com



김 응 수

- 현 재 : POSCO 수석연구원
- 관심분야 : 선체구조, 부유식 풍력
- E-mail : eungsoo.kim@posco.com



박 규 식

- 현 재 : POSCO 수석연구원
- 관심분야 : 선체구조, 부유식 풍력
- E-mail : kyusik.park@posco.com