

여러 가지 충돌 상황에 따른 FRP 어선 간의 충돌 해석

장인식^{1,*} · 김용섭² · 김일동³

¹홍익대학교 기계정보공학과

²홍익대학교 조선해양공학과

³홍익대학교대학원 기계정보공학과

Collision Analysis between FRP Fishing Boats According to Various Configurations

Insik Jang^{1,*}, Yongseop Kim² and Ildong Kim³

¹Dept. of Mechano-informatics & Design Eng. Hongik Univ.,

²Dept. of Naval Architecture & Marine Eng. Hongik Univ.,

³Graduate School, Dept. of Mechano-informatics & Design Eng. Hongik Univ.

요 약

경제규모의 증대와 더불어 해상물동량이 많아지고 운행하는 선박의 숫자가 증가함에 따라 해상에서의 해난 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 선박의 충돌 사고에 대한 연구는 주로 충돌 사고의 원인 분석에 중점을 두어 왔으나 보다 정확한 분석을 위해서는 역학적인 해석이 더 첨가 되어야 한다. 본 연구는 FRP 재질의 어선 간의 여러 충돌 상황에서의 시간에 따른 변형 거동에 대한 것이다. 선체에 대한 3차원 기하학적인 모델링을 수행 한 후, 유한요소 모델을 구성하고 역학적인 해석 기법인 유한 요소법을 이용하여 동적 해석을 수행하였다. 7.93톤급의 소형어선과 39톤급의 대형어선을 사용하고 두 가지의 충돌각도(90°, 135°)와 세 가지의 충돌속력(5, 10, 15 노트)의 조건을 조합하여 해석을 수행하였으며 각각의 경우에 대하여 응력분포와 변형상태를 살펴보았다. 전체적으로 90° 충돌 각도에서 135° 경우보다 응력이 컸으며, 두 선박이 모두 운항 중에 발생하는 충돌에서 더 큰 최대 응력이 발생하였다. 90° 충돌각도의 경우 소형어선 간 충돌이나 소형 어선과 대형 어선 간의 충돌에서도 충돌하는 선체의 선수부보다 충돌당하는 선체의 측면 부위에서 큰 응력이 발생하였다. 135° 충돌각도로 정지된 소형 어선과 대형어선이 충돌하는 경우에는 대형 어선에서 최대 응력이 발생하였다. 150 ms의 해석시간인 경우 90° 충돌각도에서는 10knot, 15knot 모두 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 파단이 발생하는 것으로 나타났다. 해석 결과는 추후에 부분 별 강도를 고려한 선체의 설계나 충돌사고재구성을 위한 기초 데이터로 사용될 수 있다.

Abstract – In this paper, collision analysis is carried out between two FRP fishing boats. A computer simulation with finite element method is used to accomplish this objective. At first, a detailed geometric model of the boat is constructed using 3-D CAD program. The formation of a finite element from a geometric data of the boats is carried out using HYPERMESH that is the commercial software for mesh generation and post processing. Twelve collision configurations are established by combining two kinds of contact angle(90°, 135°) and three different speed(5, 10, 15knot) for small and large boats. Collision analysis is accomplished using DYNA3D. Stress distribution and deformation shape are investigated for each collision condition. In general, 90° collision angle generate larger stress than 135° case and the collision for two moving boats showed larger maximum stress than the case that one is moving and the other is stationary. When analysis is carried out until 150ms contact parts of two boats are broken for 10 and 15knot collision speed, in which maximum stress is larger than ultimate strength of the material.

Keywords: FRP Boat(합성수지강화 플라스틱 선박), Collision Analysis(충돌해석), Collision Configuration(충돌상황), Finite Element Method(유한요소법), Stress Distribution(응력분포)

*Corresponding author: isjang@hongik.ac.kr

1. 서 론

경제규모의 증대와 더불어 해상물동량이 많아지고 운행하는 선박의 숫자가 증가함에 따라 해상에서의 해난 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 수산업의 발달에 따른 어선 숫자의 증가로 어선 간 충돌사고가 전체 해난 사고의 약 32%를 점하고 있으며, 그 중에서 야간에 영해 내에서의 사고율이 가장 높게 나타난다. 또한 계절적으로는 안개가 많은 봄철에 사고가 빈발하며 사고 당시의 선박의 속력은 5-10노트가 전체 중에서 60%를 점하고 있으며 사고의 선체의 크기는 20톤 미만인 약 25%를 점하고 있다.([1])

선박의 충돌에 대한 연구는 충돌의 역학적인 해석과 사고의 원인 규명 및 사고의 재구성 등 다양하게 수행되어 왔지만, 대부분은 유조선과 같은 대형선박을 대상으로 행하여졌으며, 어선 같은 소형선박에 대해서는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 소형 어선에 대한 연구를 수행하고자 한다. 충돌 사고의 원인 분석에 중점을 둔 연구로는 시스템 다이내믹스법을 이용하여 선박충돌사고 인적요인 모델을 구축하고, 선박충돌사고를 감소시키기 위한 가장 효과적인 대책을 수립하기 위한 정책요소를 제시한 경우 (Keum[2003])도 있고, 선박충돌사고의 발생과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 규명하고, 각 요소 간 상호관계를 파악하여 사고예방대책마련을 위한 우선순위를 결정할 수 있는 방안을 제시한 경우(Yang[2003])도 있으며, 다양한 충돌상황에서도 충돌선박 당사자들의 진술내용을 컴퓨터에 입력하여 충돌당사자 진술의 진위여부를 판단할 수 있고 해양안전심판의 정확도도 높일 수 있는 충돌사고 분석시뮬레이터를 제안한 경우(Park[2002])도 있다. 이러한 연구들은 사고의 정황적인 조건에 대한 것이며 사고의 정확한 분석을 위해서는 역학적인 해석이 더 첨가 되어야 한다.

본 연구에서는 소형 FRP 어선의 충돌을 여러 가지 상황에 대하여 역학적인 분석을 시도하고자 한다. FRP선박은 적당한 강도를 가지면서도 배를 가볍게 건조할 수 있고 썩거나 부식하지 않으며 강선·목선에 비해 초기선가가 10%~20% 정도 비싸지만 내구연한을 감안하면 오히려 선박의 수리 유지비가 저렴하다는 장점이 있어서 소형 어선으로 많이 사용되고 있다. FRP선박은 성형을 제작하여 그 위에 유리섬유를 적층하여 건조하는 방법으로 강선 설계시의 강관의 선정 및 부재의 조합에 의한 설계방식과는 달리 재료설계와 구조설계를 동시에 행하여야 하는 특징으로 FRP 선박의 관련 규칙은 강선에 비하여 설계자유도가 큰 반면 부재에 대한 구체적인 기준이 확정되지 못하고 잠정규정을 설정하여 사용하고 있다.(Koh[2002]) 이러한 강도를 가지는 FRP 선박이 충돌시 나타내는 역학적인 거동을 살펴보고자 한다.

먼저 소형 어선의 기하학적인 모델링을 3-D CAD 시스템을 이용하여 수행한 후, 역학적인 해석 기법인 유한 요소법(Finite Element Method)을 이용하기 위한 모델인 유한요소 모델을 구성한다. 유한요소 모델을 만들기 위하여 소프트웨어인 HYPERMESH를 이용한다. 충돌해석은 시간이 포함되는 동적해석(Dynamic Analysis)인데 이 작업 또한 전용 소프트웨어인 DYNA3D를 이용하여 수

행한다. 충돌 상황의 구성은 소형 어선 간의 충돌과 소형 어선과 대형 어선 간의 충돌로 구분이 되고, 어선들이 충돌 시에 일정 속도로 운행 중인지 정지 상태인지로 구분된다. 또한, 충돌 속도도 5 knot, 10 knot, 15 knot로 구분하였다.

2. 충돌모델의 구성

2.1 소형 어선의 구조

해석에 이용된 선박은 7.9톤과 39톤급 연안연승 어선으로 선체의 대부분은 FRP로 구성되어 있으며 ENGINE ROOM의 엔진은 구조용 강으로 구성되어 있다. 본선은 FRP 선으로서 단판구조로 이루어져 있으며, FRP 적층판의 두께는 평균 8 mm로 하였다. 선체부의 구조로는 외판과 갑판으로 이루어지고, 내부는 적재함과 어창으로 이루어진 공간을 격벽으로 칸막이를 하였으며 엔진 룸에는 소형 어선에 적합한 엔진을 장착하였다. WHEEL HOUSE는 조타실 기능을 할 수 있는 공간이 마련되어 있다. 소형 선박과 대형 선박의 구조는 동일한 것으로 간주하였다.

WHEEL HOUSE 아래 부분에는 ENGINE ROOM을 설계하였으며 선박의 선수 부분 적재함에는 유한요소 모델링인 HYPERMESH에서 Structure mass를 적용함으로써 실제 화물이 적재되어 있는 효과를 내도록 하였다. Table 1에는 각 선체 각 부분의 질량을 계산하여 나타내었다. 순수한 배의 질량은 각각 7.9톤과 39톤이지만 ENGINE ROOM과 적재함을 포함하여 해석에 사용된 선박은 약 13.3톤과 67톤의 질량을 가지고 있다.

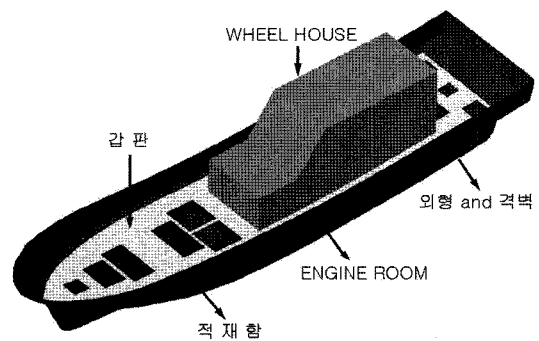


Fig. 1. FRP 소형 어선의 구조

Table 1. 각 부분 별 질량

part	질량 (ton)		material
	대형선박	소형선박	
적재함	53.00	7.00	FRP
외형 및 격벽	3.50	1.21	FRP
WHEEL HOUSE	1.72	0.68	FRP
갑판	1.09	0.39	FRP
ENGINE ROOM	7.66	4.00	구조용강
TOTAL	66.97	13.28	

2.2 선체의 기하학적 모델링

선체 간의 충돌해석을 위한 선박의 형상은 3차원 Program인 CATIA V5 R14를 이용하여 기하학적 모델링을 하였으며 HYPERMESH를 이용한 유한요소 모델링을 하였다. Fig. 2는 측면 충돌 상황을 충돌 각도 90°의 충돌상황을 구현한 것이며, Fig. 3은 충돌 각도를 135°로 구현한 것이다. 각 선체들의 속력을 변화시키면서 충돌상황을 다양하게 구성하였다.

선체의 모델링을 함에 있어서는 3차원 곡선의 형상들이 많기 때문에 Surface 부분에 좀 더 강력한 툴을 보이는 3차원 CAD Program인 CATIA V5 R14를 사용했다. 실제 선박과 거의 흡사한 3차원 곡선을 형성하기 위하여 OFF-SETS TABLE을 참조하여 선박의 선수부에서 선미부까지 하나하나의 point를 3차원 공간상에 표시한 후 3차원 공간상에 point들을 spline을 이용하여 연결하였다. spline으로 연결한 선분들을 조합하여 surface로 형성시켰으며, 각각의 surface들을 join시켜 선박의 형체를 완성하였다. 이로서 실제 선박과 유사한 모델링을 구현할 수 있었다.

2.3 유한요소 모델링

전·후 프로그램인 HYPERMESH를 이용한 유한요소 모델링의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ① Mesh Type : Shell Mesh
- ② Element Size : 50mm
- ③ Number of materials or property sets : 10
- ④ Number of shell element : 148,270
- ⑤ Number of nodal +Scalar points : 146,926
- ⑥ Shell thickness : 8 mm

Fig. 4와 Fig. 5에는 선체 간의 충돌에 대한 유한요소 모델링의 예를 도시하였다.

유한요소 모델링을 하는데 있어서 선체를 구성하는 FRP 적층판 부분은 Shell Mesh를 사용하였으며, Auto mesh를 이용하여 대부분을 Quads Mesh를 하였다. Gap이 생기는 부분은 Trias Mesh를 사용하여 전체 모델에 10% 이내로 하였다. Engine Room에는 설계도면에 적용되어 있는 Engine mass를 적용함으로써 실제와 같이 구현하였으며, 충돌 시에 Engine의 흔들림을 방지하기 위해 Extra node 기능을 적용하였다. 또한 적재함에는 structure mass를 적용함으로써 실제 화물이 적재되어 있는 것과 효과를 낼 수 있게 하였다. Shell의 두께는 8 mm를 적용하였으며 ENGINE ROOM

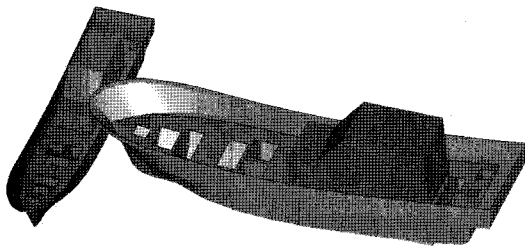


Fig. 2. 충돌 선체 간의 기하학적 모델링 (충돌각도 90°)

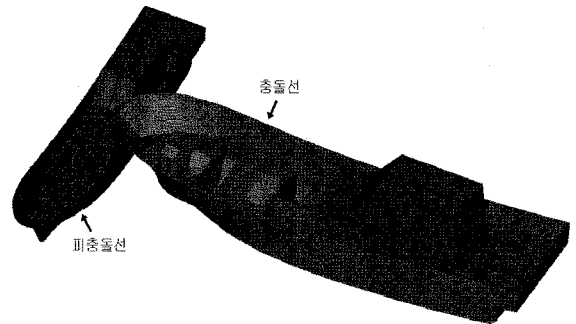


Fig. 4. 충돌 선체 간의 유한요소 모델링(충돌각도 90°)

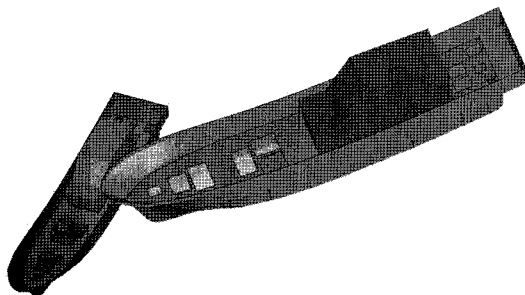


Fig. 3. 충돌 선체 간의 기하학적 모델링 (충돌각도 120°)

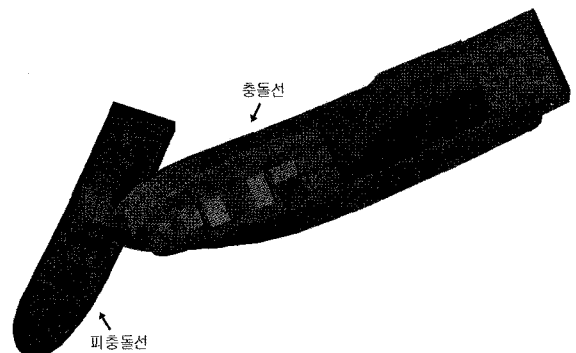


Fig. 5. 충돌 선체 간의 유한요소 모델링(충돌각도 135°)

Table 2. 선체 재질의 특성

Material	Mass density (g/mm ³)	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio	Tensile strength (MPa)
FRP	1.54E-09	13800.0	0.32	165.0
구조용강	7.8E-09	210000.0	0.3	250.0

은 구조용강의 물성치를 적용하였고 ENGINE ROOM을 제외한 모든 부분은 FRP 물성치를 적용하였다. 물성치에 대한 내용은 Table 2에 요약되어 있다. 충돌선은 일정한 속력으로 피충돌선을 향하여 전진하며, 피충돌선에는 아무런 구속조건 없이 정지되어 있는 경우와 충돌하는 선박과 같은 속력으로 움직이는 경우로 되어 있다. 물에 대한 조건을 적용할 수는 있지만 적용 시에 해석에는 아무런 영향을 미치지 못하므로 물에 대한 구속조건은 배제하였다.

3. 충돌 해석

3.1 충돌 상황의 구성

Table 3에 본 연구에서 해석하고자 하는 충돌 상황의 충돌 속력에 대하여 나타내었다. 앞에서 언급된 바와 같이 충돌해석에 고려된 선체가 두 종류가 있으며 소형 선박 간의 충돌과 소형선박에 대형선박이 충돌하는 상황이 설정되었다. 충돌 상황은 충돌 당하는 선박이 정지해 있고 충돌하는 선박이 일정한 속력으로 움직이는 경우와 두 선박이 모두 같은 속력으로 움직이는 경우로 총 6 종류이며 충돌 각도는 2 종류로 설정되어 있다.

3.2. 소형 선박 간의 충돌 해석

3.2.1 정지된 선박에 충돌

충돌해석은 소형 선박 간의 충돌과 소형 선박과 대형 선박의 충돌로 나누어서 수행하였다. 해석은 충돌해석 전용 유한요소해석 프로그램인 DYNA3D를 이용하였는데, Time Integration의 기법 중에 Explicit 방법을 적용하여 짧은 시간 내에 일어나는 현상을 해석하는 경우 물성치나 요소의 크기에 따라 시간간격(Time step size)의 제한이 있다. 총 해석 시간은 충돌하는 선체의 속력을 고려하여 150 ms로 하였다.

Fig. 6에는 여러 가지의 충돌상황 중 정지되어 있는 선박에 충돌각도 90°와 10knot의 속력으로 전진하여 충돌하는 경우에 대하여 75 ms 경과 된 순간의 선체의 변형 모습을 나타내었으며, Fig. 7에는 응력(Von Mises stress)분포를 나타내었다. 10knot의 속력으로 충돌선이 전진 시에 충돌선의 선수부와 피충돌선의 측면부에서 다른 부분에 비해 큰 변형이 일어났다. 충돌 당하는 선체의 측면 부위에서 최대응력이 발생하였는데 크기는 161.76MPa 이며, 반면에 충돌하는 선체의 선수부 부위에서는 최대응력 41.30MPa 으로 나타났다.

Fig. 8에는 정지되어 있는 선박에 충돌각도 135°와 10knot의 속력으로 전진하여 충돌하는 경우에 대하여 75 ms 경과 된 순간의

선체의 변형 모습을 나타내었으며, Fig. 9에는 응력 분포를 나타내었다. 피충돌선의 측면에서 가장 큰 변형이 나타났으나 충돌각도 90°보다는 작은 값을 나타내었으며, 최대 응력도 충돌각도 90°보다는 작게 나타났다. 충돌 당하는 선체의 측면 부위에서 최대응력이 발생하였는데 크기는 43.88MPa 이며, 반면에 충돌하는 선체의 선수부 부위에서는 최대응력 19.86MPa 로 나타났다.

SHIP COLLISION SMALL VS SMALL 90 DEGREE
Time = 0.074996

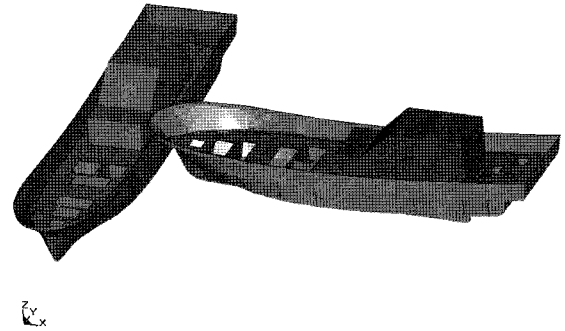


Fig. 6. 충돌선체의 변형 형상 (정지, 운항, 각도: 90° 계산시간: 75 ms)

SHIP COLLISION SMALL VS SMALL 90 DEGREE
Time = 0.074996
Colors of Effective Stress (v-m)
max: 161.76, at elem# 196139
min: 0, at elem# 129586

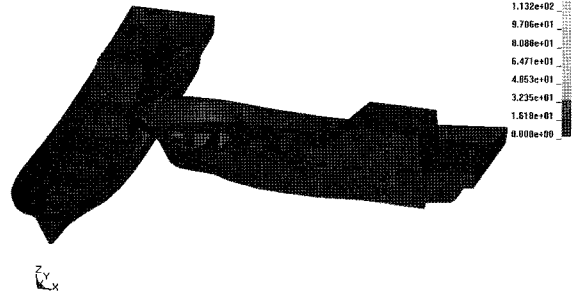


Fig. 7. 충돌선체의 응력 분포 (정지, 운항, 각도: 90° 계산시간: 75 ms)

SHIP COLLISION SMALL VS SMALL 135 DEGREE
Time = 0.075

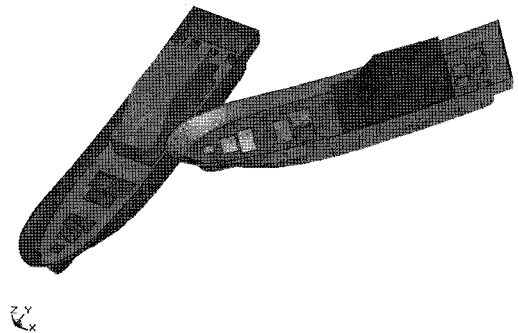


Fig. 8. 충돌선체의 변형 형상 (정지, 운항, 각도: 135° 계산시간: 75 ms)

Table 3. 속력별 충돌 상황 구성

충돌선	피충돌선			
	0 knot	5 knot	10 knot	15 knot
5 knot	★	★		
10 knot	★		★	
15 knot	★			★

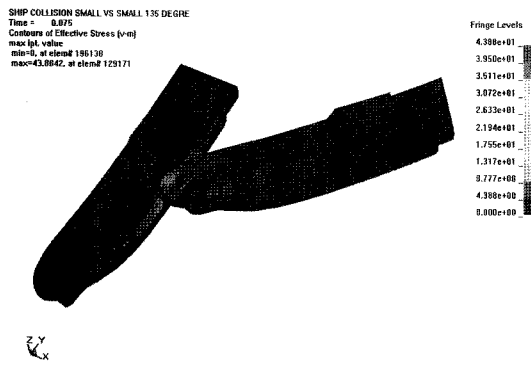


Fig. 9. 충돌선체에서의 응력 분포 (정지, 운항, 각도: 135° 계산시간: 75 ms)

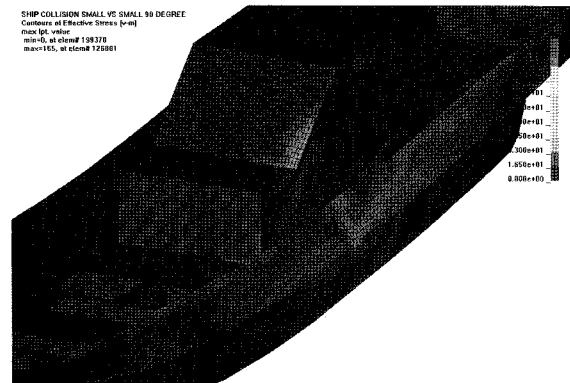


Fig. 10. 피충돌선체의 응력분포 (정지, 운항, 각도: 90° 계산시간: 150 ms)

위와 같은 충돌 조건에서 계산 시간이 150ms 경과 된 순간의 선체의 국부적인 응력분포를 Fig. 10, 11에 나타내었다. 10knot의 속력으로 충돌선이 전진 시에 충돌하는 선체의 선수 하방부와 충돌 당하는 선체의 측면에서 최대응력이 발생하는데 크기는 165MPa 이다. Table 2에 나타난 FRP의 인장강도가 165MPa 이므로 90° 충돌 시 충돌선과 피충돌선 모두 충돌 부위에서 파단이 일어나는 것으로 간주할 수 있다. 인장강도 또는 최대 인장강도(Tensile strength)는 재료가 견딜 수 있는 최대 응력을 의미하므로 파단이 일어나는 점에서의 응력이라고 할 수 있다. 본 논문에서 FRP의 인장강도는 165MPa이다.

Fig. 12, 13에는 정지되어 있는 선박에 10knot의 속력으로 전진하여 충돌각도 135°로 충돌하는 경우에 대하여 150ms 경과 된 순간의 국부적인 응력 분포를 나타내었다. Fig. 13에 충돌하는 선체의 선수의 우측 상부의 최대 응력을 나타내며 Fig. 12에서 피충돌선의 측면 상부에 최대응력이 발생하였는데 크기는 70.06MPa 이다.

Table 4와 Table 5에는 정지된 소형 선박에 여러 가지의 충돌각도로 다른 소형선박이 충돌하는 충돌상황에서의 최대응력을 75ms 경과 시와 150ms 경과 시에 대하여 각각 나타내었다. 전체적으로 90°의 충돌 각도에서 135°의 경우보다 응력이 컸으며 충돌하는 선체의 선수부보다 충돌당하는 선체의 측면 부위에서 큰 응력이 발생하였다. 사용된 선체 재료의 인장응력이 165MPa인데 15knot의 충돌속력, 90°의 충돌상황에서는 해석시간이 75ms 인 시점에

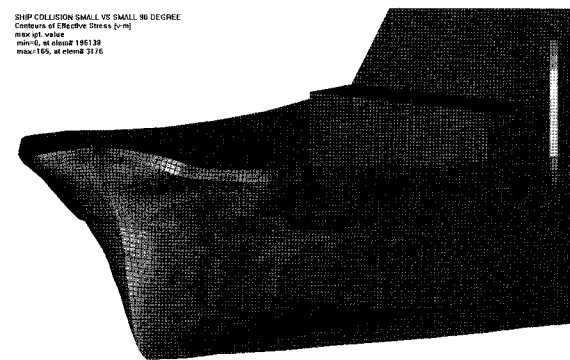


Fig. 11. 충돌선체의 응력분포 (정지, 운항, 각도: 90° 계산시간: 150 ms)

이미 충돌 부위에서 파단이 일어나는 것으로 나타났다. 충돌속력 5knot인 경우에는 충돌각도나 부위에 상관없이 모두 인장강도보다 작은 응력 값을 나타내었다. 그러나 150ms의 해석시간인 경우 90° 충돌각도에서는 10knot, 15knot 모두 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 파단이 발생하는 것으로 나타났다. 135°의 충돌 각도에서는 10knot의 경우에는 인장강도보다 훨씬 작은 응력을 나타내었으나 15knot의 충돌속력에서는 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 모두 파단이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 4. 소형선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형: 정지, 소형: 운항, 해석시간 75ms)

7.93 VS 7.93	5 knot		10 knot		15 knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	16.88	12.92	41.30	19.87	123.66	24.17
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	80.87	27.63	161.77	43.88	165	58.08

Table 5. 소형선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형: 정지, 소형: 운항, 해석시간 150ms)

7.93 VS 7.93	5 knot		10 knot		15 knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	43.77	18.86	165	30.13	165	165
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	157.19	39.99	165	70.06	165	165

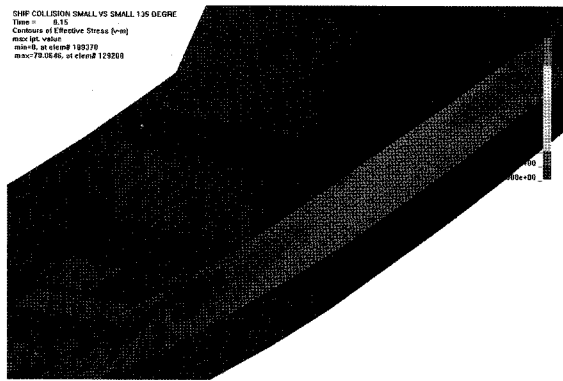


Fig. 12. 피충돌선체의 응력분포 (정지, 운항, 각도: 135° 계산시간: 150 ms)

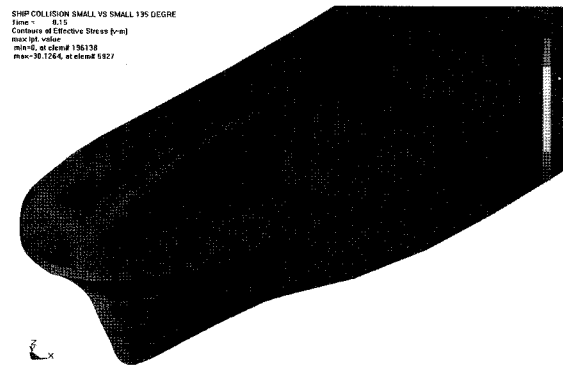


Fig. 13. 충돌선체의 응력분포 (정지, 운항, 각도: 135° 계산시간: 150 ms)

3.2.2 같은 속력으로 움직이는 선박 간의 충돌

Table 6에는 두 선박이 같은 속력으로 진행하는 중에 두 종류의 각도로 충돌하는 경우에 대하여 해석하여 75ms 경과 후의 결과를 나타내었다. 각각 5knot의 속력에서 90°로 충돌하는 경우 선체의 선수부(충돌선) 윗부분에서 22.67MPa의 응력이 발생하였고 충돌 당하는 선체의 측면부 윗부분에서 87.98MPa의 응력이 집중되었다. 10knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부 충돌부분에서 51.18MPa의 응력이 발생하였으며 충돌 당하는 선체의 측면부 맨 윗부분에서 151.93MPa의 응력이 집중되었다. 15knot의 경우 충

돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선)에 휩 현상이 나타나며 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 피충돌선의 측면을 따라 올라가면서 WHEEL HOUSE와 충돌하고 있다. 충돌하는 선체의 선수부 윗부분에서 82.75MPa의 응력이 발생되며 충돌당하는 선체의 측면부에는 이미 파단에 이르는 165MPa의 응력이 WHEEL HOUSE 충돌부위에서 나타났다.

135°로 충돌하는 경우에서, 5knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 윗부분에서 13.10MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 29.19MPa의 응력이 발생되었다. 10knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 윗부분에서 18.98MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 42.55MPa의 응력이 발생되었다. 15knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 윗부분에서 22.74MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 57.66MPa의 응력이 발생되었다. 135°의 충돌각도에서는 충돌하는 두 선박의 진행방향이 유사하여 정지되어 있는 선박에 같은 각도로 충돌하는 경우에 비하여 최대 응력이 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다.

Table 7에는 두 선박이 같은 크기의 속력으로 진행하는 중에 두 종류의 각도로 충돌하는 경우에 대하여 해석하여 150ms 경과 후의 결과를 나타내었다. 90°의 충돌각도와 5knot의 속력으로 충돌하는 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 충돌부분에서 40.62MPa의 응력이 발생하였고 충돌 당하는 선체의 측면부 맨 윗부분에서 파단응력 직전의 응력인 164.93에 응력이 발생하였다. 충돌 당하는 선체(피충돌선) 또한 5knot의 속력으로 전진하고 있으므로 밀림현상은 일어나지 않고 있다. 10knot의 경우 100ms이 경과하면 서부터 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 약간 들리면서 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선)를 올라타면서 WHEEL HOUSE까지 충돌을 일으키고 있다. 135ms에 이르자 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 윗부분 즉, 충돌 당하는 선체(피충돌선)의 WHEEL HOUSE와의 충돌부위에서 165MPa의 파단응력이 발생함으로써 충돌선과 피충돌선은 모두 파단응력이 나타났다. 15knot의 경우 100ms의 해석시간에 이르자 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 휩 현상이 나타나며 파단응력인 165MPa의 응력이 나타났다. 충돌선과 피충돌선은 계속 전진하며 피충돌선 측면부의 변형으로 충돌

Table 6. 소형선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형, 소형 : 운항, 해석시간 75ms)

7.93 VS 7.93	5knot & 5knot		10knot & 10knot		15knot & 15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	22.67	13.10	51.18	18.98	82.75	22.74
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	87.98	29.19	152.93	42.55	165	57.66

Table 7. 소형선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형, 소형 : 운항, 해석시간 150ms)

7.93 VS 7.93	5knot & 5knot		10knot & 10knot		15knot & 15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	40.62	19.09	165	31.27	165	152.12
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	164.93	43.76	165	82.28	165	165

선의 WHEEL HOUSE에도 큰 영향을 미치며 파단응력이 나타나고 있다.

135°로 충돌하는 경우에서, 5knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 윗부분에서 19.09MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 43.76MPa의 응력이 발생되었다. 10knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 윗부분에서 31.27MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 82.28MPa의 응력이 발생되었다. 15knot의 경우 5knot, 10knot의 충돌에 비해 변형이 크게 나타나고 있으며, 해석시간 135ms에 이르자 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 우측 중간부위에서 73.40MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 중간 부위에서 파단 응력값인 165MPa의 응력이 발생되었다. 135°의 충돌각도에서는 충돌하는 두 선박의 진행방향이 유사하여 정지되어 있는 선박에 같은 각도로 충돌하는 경우에 비하여 최대 응력이 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다. 그러나 15knot의 충돌속력에서는 충돌당하는 선체에서 파단이 일어났다.

3.3 소형 선박과 대형 선박간의 충돌

3.3.1 정지된 선박에 충돌

소형 선박과 대형 선박의 충돌은 소형 선박이 정지해 있거나 일정한 속력으로 움직일 때 대형 선박이 설정된 충돌 각도로 충돌하는 경우에 대하여 해석하였다. Fig. 14에는 여러 가지의 충돌상황 중 충돌각도에서 정지되어 있는 소형 선박에 대형 선박이 10 knot의 속력으로 전진하여 충돌하는 경우에 대한 해석결과를 나타내었다. 75ms 경과 된 순간의 선체의 변형 모습을 나타내었으며, Fig. 15에는 응력분포를 나타내었다. 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선)의 측면과 WHEEL HOUSE까지 충돌을 일으키고 있으며, 충돌하는 선체의 선수부에 82.90MPa의 응력이 발생되었고 충돌당하는 선체의 측면부 맨 윗부분에 113.23MPa의 응력이 발생되었고 WHEEL HOUSE에도 약한 응력이 발생되었다. 소형 어선 간의 충돌과 다른 점은 충돌

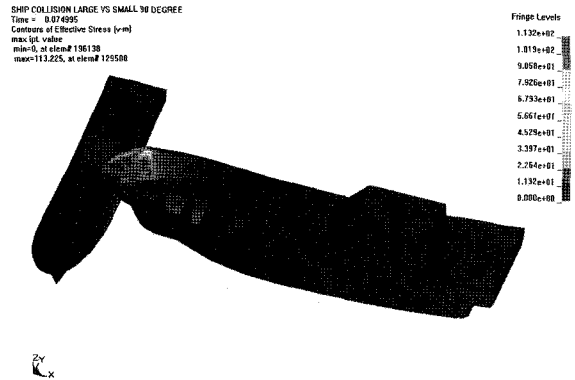


Fig. 15. 충돌선체의 응력 분포 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 90° 계산시간: 75 ms)

하는 선체의 높이가 높아서 소형선박의 WHEEL HOUSE 부분에서 접촉이 일어난다는 것이다.

Fig. 16에는 충돌각도 135°에서 정지되어 있는 소형선박에 대형선박이 10knot의 속력으로 전진하여 충돌하는 경우에 대한 해석결과를 나타내었다. 75ms 경과 된 순간의 선체의 변형 모습을 나타내었으며, Fig. 17에는 응력분포를 나타내었다. 10knot의 속력으로 충돌선이 전진 시에 충돌선의 선수부와 피충돌선의 측면에 약간의 변형이 나타났으며, 충돌각도 보다는 작은 최대 응력이 나타났다. 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 약간 우측부위가 피충돌선의 WHEEL HOUSE와 충돌하며 100.17MPa의 응력이 집중되었고 충돌 당하는 선체(피충돌선)는 배 밑 부분에서 81.17MPa의 응력이 발생하였다.

Fig. 18과 Fig. 19는 정지해 있는 소형 선박에 대형 선박이 충돌하는 경우에 있어서 150ms의 해석시간에 국부적인 응력분포를 나타내었다. Fig. 18에서 보듯이 피충돌선이 충돌선에 비하여 높이가 낮으므로 최대응력 부위가 측면 최상단 보다 약간 아래로 나타났다. Fig. 19에서도 최대응력 부위가 선수부의 중간 정도의 높이로 나타났다. 120ms에 이르자 충돌하는 선체의 선수부(충돌

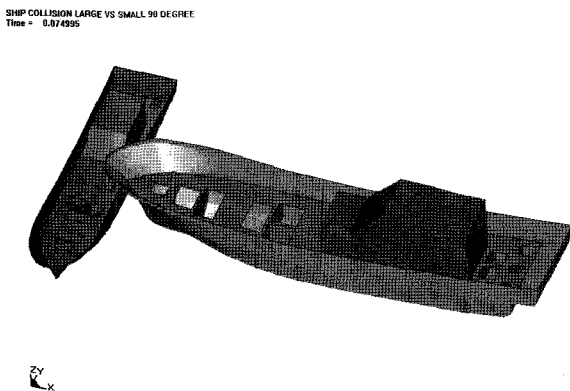


Fig. 14. 충돌선체의 변형 형상 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 90° 계산시간: 75 ms)

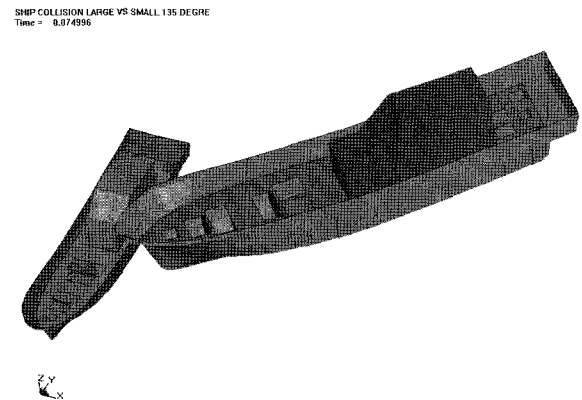


Fig. 16. 충돌선체의 변형 형상 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 135° 계산시간: 75 ms)

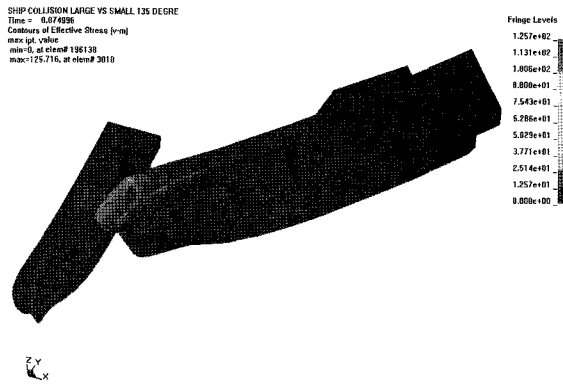


Fig. 17. 충돌선체의 응력 분포 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 135° 계산 시간: 75 ms)

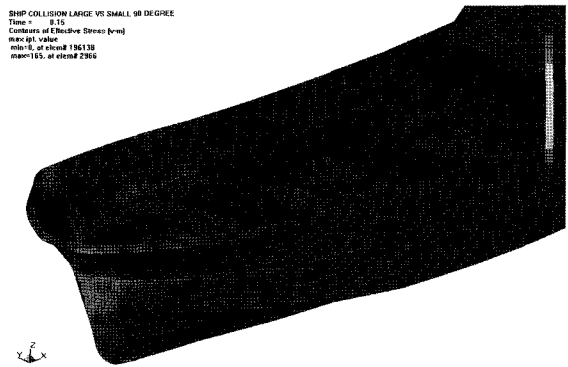


Fig. 19. 충돌선체의 응력 분포 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 90° 계산 시간: 150 ms)

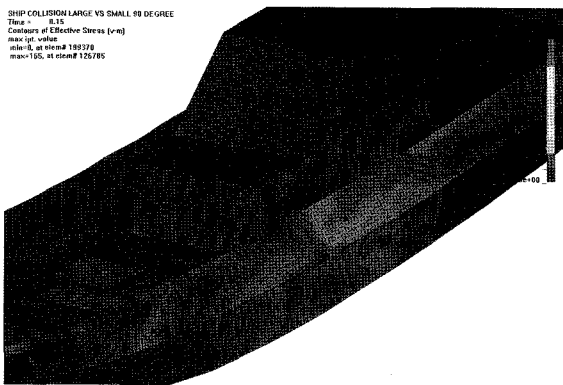


Fig. 18. 피충돌선체의 응력 분포 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 90° 계산 시간: 150 ms)

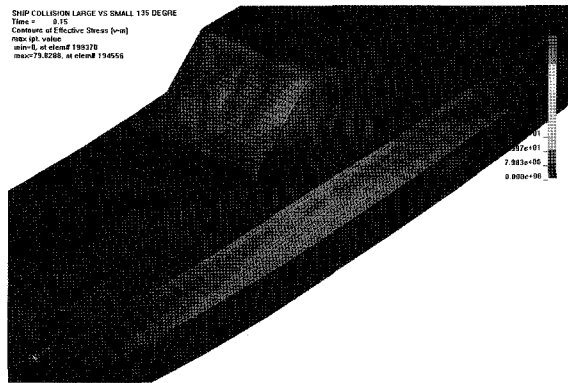


Fig. 20. 피충돌선체의 응력 분포 (소형: 정지, 대형: 운항, 각도: 135° 계산 시간: 150 ms)

선)가 약간 들리면서 중간 약간 밑 부분에 파단응력인 165MPa의 응력이 발생되었다.

Fig. 20에는 충돌각도 135°에서 정지되어 있는 소형선박에 대형 선박이 10knot의 속력으로 전진하여 충돌하는 경우에 대해서 150ms 시점에서의 각 선체에 대한 응력분포를 나타내었다. 높이의 차이에 의하여 충돌하는 선체의 선수 우측부가 피충돌선의 WHEEL HOUSE와 충돌하며 파단응력인 165MPa에 도달하며, 해석시간 150 ms에 이르자 충돌 당하는 선체(피충돌선)는 배 밑 부분에서

79.83MPa의 응력이 발생하였다.

Table 8과 Table 9에는 각 충돌상황에서의 최대응력을 75ms 경과 시와 150ms 경과 시에 대하여 나타내었다. 전체적으로 90°의 충돌 각도에서 135°의 경우보다 응력이 컸으며 충돌하는 선체의 선수부보다 충돌당하는 선체의 측면 부위에서 큰 응력이 발생하였다. 사용된 재질의 인장응력이 165MPa인데 15knot의 충돌속력, 90°의 충돌상황에서는 해석시간이 75ms 인 시점에 이미 파단에 이르는 것으로 나타났다. 충돌속력 5knot 인 경우에는 충돌각도나 부위에 상관없이 모두 인장강도보다 작은 응력 값을 나타내었다.

Table 8. 소형, 대형 선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형: 정지, 대형: 운항, 해석시간 75ms)

39.0 VS 7.93	5knot		10knot		15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	5.72	77.93	82.90	125.72	165	165
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	95.41	65.08	113.23	79.83	165	87.51

Table 9. 소형, 대형 선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형: 정지, 대형: 운항, 해석시간 150ms)

39.0 VS 7.93	5knot		10knot		15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	62.27	100.17	165	165	165	165
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	109.85	81.17	165	85.03	165	165

그러나 150 ms의 해석시간인 경우 90° 충돌각도에서는 10knot, 15 knot 모두 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 파단이 발생하는 것으로 나타났다. 135°의 충돌각도에서는 10knot의 경우에는 인장강도보다 훨씬 작은 응력을 나타내었으나 15knot의 충돌속력에서는 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 모두 파단이 발생하는 것으로 나타났다.

3.3.2 같은 속력으로 움직이는 선박 간의 충돌

Table 10에서는 두 선박이 같은 크기의 속력으로 진행되는 중에 두 종류의 각도로 충돌하는 경우에 대하여 해석하여 75ms 경과 후의 결과를 나타내었다. 각각 5knot의 속력에서 90°로 충돌하는 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)의 우측부위 윗부분에서 63.61MPa의 최대응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선) 맨 윗부분에서 103.97MPa의 응력이 집중되었다. 10knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)의 우측 부위가 피충돌선의 WHEEL HOUSE와 충돌하면서 휨 현상이 크게 나타나 파단응력인 165MPa의 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부(피충돌선)가 약간 기울어지며 측면부에 휨 현상이 나타났고 107.73MPa의 응력이 집중되었고 WHEEL HOUSE에도 응력이 집중되었다. 15knot의 경우 해석시간 30ms에 충돌 당하는 선체의 측면부 맨 윗부분에서 파단응력인 165MPa의 응력이 집중되었으며, 45ms에 이르자 충돌하는 선체의 선수부 약간 우측부위에도 휨 현상이 크게 나타나며 파단응력인 165MPa의 응력이 집중되었다. 해석시간 75ms에 이르자 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 충돌 당하는 선체(피충돌선)의 측면부 모두에서 파단 응력에 도달하였다.

135° 충돌하는 경우에는 5 knot의 경우를 제외하고는 전체적으로 90°의 경우보다 최대응력 값이 작은 것으로 나타났다.

Table 11에는 두 선박이 같은 크기의 속력으로 진행되는 중에 두 종류의 각도로 충돌하는 경우에 대하여 해석하여 150ms 경과 후의 결과를 나타내었다. 90°로 충돌하는 경우 5knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 약간 우측부위 윗부분에서 큰 변형이 나타났고 파단응력 직전에 값인 164.99MPa에 응력이 집중되었으며, 충돌 당하는 선체의 측면부에는 105.84MPa의 응력이 집중되었다. 10knot의 경우 해석시간 90ms에 이르자 충돌 당하는 선체

의 측면부(피충돌선) 약간 밑 부분에서 측면부의 큰 변형과 우측으로 밀림 현상이 나타났고 파단응력인 165MPa의 응력이 집중되었다. 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 또한 선수부가 크게 변형되고 파단응력인 165MPa의 응력이 나타났다. 15knot의 경우 충돌 당하는 선체(피충돌선)의 측면부, 갑판, 배 밑 부분까지도 휨 현상이 크게 나타나며 우측으로 많이 밀림 현상이 나타났고 충돌하는 선체의 선수부(충돌선) 또한 휨 현상이 크게 나타나며 두 배 모두 파단응력인 165MPa의 응력이 발생하였다.

135°로 충돌하는 경우에서, 5knot의 경우 150ms까지 계산하여도 충돌선과 피충돌선에서 최대응력이 파단응력에는 미치지 못한 것으로 나타났다. 10knot의 경우 충돌하는 선체의 선수부(충돌선)가 피충돌선의 WHEEL HOUSE와 충돌하며 파단 응력 값인 165MPa의 응력이 집중되었고 충돌 당하는 선체(피충돌선)는 배 밑 부분에서 124.18MPa의 응력이 발생하였다. 15knot의 경우 120ms에 이르자 이미 충돌 당하는 선체(피충돌선)의 측면부 중간부위에서 파단응력인 165MPa의 응력이 집중되었다. 해석시간 150ms에 이르자 충돌선과 피충돌선 모두 파단응력인 165MPa로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 FRP 어선 간의 충돌을 여러 가지 상황에 대하여 역학적 분석을 시도하였다. FRP선박은 적당한 강도를 가지면서도 배를 가볍게 건조할 수 있고 썩거나 부식하지 않으며 선박의 수리 유지비가 저렴하다는 장점이 있어서 중·소형, 어선으로 많이 사용되고 있다. 먼저 소형 어선의 기하학적인 모델링을 3-D CAD 시스템을 이용하여 수행한 후, 역학적인 해석 기법인 유한 요소법(Finite Element Method)을 이용하기 위한 모델인 유한 요소 모델을 구성하였다. 유한 요소 모델을 만들기 위하여 소프트웨어인 HYPERMESH를 이용하였다. 충돌해석은 시간이 포함되는 동적해석(Dynamic Analysis)인데 이 작업 또한 전용 소프트웨어인 DYNA3D를 이용하여 수행하였다. 소형 어선과 대형 어선에 대하여 두 가지의 충돌각도(90°, 135°)와 세 가지의 충돌속력(5, 10, 15 knot)의 조건을 조합하여 해석을 수행하였으며 각각의 경우에 대하여 응력분포와 변형상태를 살펴보았는데 충돌 상황에 따라서 다음의 몇 가지 결과를 얻을 수 있었다.

Table 10. 소형, 대형 선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형, 대형 : 운항, 해석시간 75ms)

39.0 VS 7.93	5knot & 5knot		10knot & 10knot		15knot & 15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	63.61	110.53	165	165	165	165
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	103.97	57.91	107.73	104.19	165	107.56

Table 11. 소형, 대형 선박 간의 충돌 상황에서 최대응력 (MPa) (소형, 대형 : 운항, 해석시간 150ms)

39.0 VS 7.93	5knot & 5knot		10knot & 10knot		15knot & 15knot	
	90°	135°	90°	135°	90°	135°
충돌하는 선체의 선수부 (충돌선)	164.99	107.62	165	165	165	165
충돌당하는 선체의 측면부 (피충돌선)	134.12	112.98	165	124.18	165	165

소형 어선 간의 충돌에서는

1) 전체적으로 90°의 충돌 각도에서 135°의 경우보다 응력이 컸으며 충돌하는 선체의 선수부보다 충돌당하는 선체의 측면 부위에서 큰 응력이 발생하였다.

2) 두 선박이 모두 운항 중에 충돌하는 경우에 발생하는 응력이 정지된 선박에 충돌하여 발생하는 응력보다 크게 나타났다.

3) 15knot의 충돌속력, 90°의 충돌상황에서는 해석시간이 75ms 인 시점에 이미 파단에 이르는 것으로 나타났다.

4) 충돌속력 5knot 인 경우에는 충돌각도나 부위에 상관없이 모두 인장강도보다 작은 응력 값을 나타내었다.

5) 150ms의 해석시간인 경우 90°충돌각도에서는 10knot, 15knot 모두 충돌하는 선체나 충돌 당하는 선체에서 파단이 발생하는 것으로 나타났다.

소형 어선과 대형 어선 간의 충돌에서는

6) 발생응력은 90° 충돌 각도에서는 소형 어선 간의 충돌 경우와 유사한 경향을 나타내지만, 135°의 충돌각도에서는 충돌하는 대형선박의 응력이 크게 나와 반대의 경향을 나타내었다.

7) 135°의 충돌각도에서 소형 선박과 충돌하는 대형 선박의 접촉부가 상대적으로 취약한 것으로 예측된다.

8) 해석 시간 75ms에서 90°각도에서 충돌의 경우 소형 선박 간의 충돌 응력보다 먼저 파단응력에 도달함을 알 수 있으며, 135°의 충돌각도에서는 대형 선박에서의 응력이 훨씬 크게 나타나서 15knot로 충돌하는 경우에는 파단이 일어났다.

9) 150ms의 해석 시간에서는 소형 어선 간의 충돌과 유사하게 90°의 충돌 각도에서는 10knot, 15knot에서 파단이 발생하였고 135°의 충돌각도에서는 10knot에서는 충돌하는 대형 어선에서만 파단이 일어나고 15knot에서는 두 어선 모두에서 파단이 일어났다.

여러 가지의 충돌 상황에 대하여 충돌 모델을 바꾸어 가면서 해석을 수행하였는데 해석 결과는 추후에 부분별 강도를 고려한 선체의 설계에 필요한 기초 데이터로 사용될 수 있다. 또한, 선박 간의 충돌 사고 발생 시 사고 선체의 변형된 형상을 이용하여 충돌

전 상황을 역으로 유추할 수 있는 선체 간의 충돌 사고 재구성(Collision Accident Reconstruction)의 데이터베이스를 구성하는데 정보를 제공할 수도 있다.

후 기

본 연구는 해양수산부에서 지원하는 KSGP 과제의 연구비로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 해양안전심판원, 2004, 충돌사고현황표, 해양안전심판원.
- [2] 장인식, 채덕병, 2001, “차체의 변형형상과 변형정도에 의한 자동차 충돌상황의 재구성,” 한국자동차공학회 논문집, 제9권, 제1호, pp.171-180.
- [3] 김종수, 2003, “시스템 다이내믹스에 의한 선박충돌사고의 인적요인 분석에 관한 연구,” 한국항해항만학회지, 27권, 5호, 493-498.
- [4] 양원재, 2003, “폐지구조모델을 이용한 선박충돌사고 원인의 구조분석,” 한국해양학회지, 27권, 2호, 137-143.
- [5] 박계각, 2002, “선박 충돌사고 분석을 위한 시뮬레이터 구축,” 한국항해항만학회지, 26권, 3호, 275-280.
- [6] 고재용, 2002, “적층 방향에 따른 F.R.P 구조강도특성에 관한 연구,” 한국항해항만학회 추계공동학술대회논문집, 101-105.
- [7] 장인식, 김용섭, 김일동, 2006, “소형, FRP 어선 간의 충돌 해석,” 한국해양환경공학회 춘계공동학술논문집, 2523-2529.
- [8] DYNA3D Manual, 2004, LSTC.
- [9] CATIA maunal, 2003, Dassault Systems.
- [10] HYPERMESH manual, 2004, Altair.

2006년 7월 20일 원고접수

2006년 11월 3일 수정본 채택