

# 스테인리스 스틸 강선(STS 316Ti)의 웨이브 성형 시 발생하는 금형 치절에 의한 찍임 자국 최소화에 관한 연구

문현철\*, 배수한\*\*, 성효경\*\*\*,#

\*경상국립대학교 대학원, \*\*동아산기(주), \*\*\*경상국립대학교

## A Study on the Minimization of Dent Marks due to Mold Tooth Teeth Generated During Wave Forming of Stainless Steel Wire (STS 316Ti)

Hyunchol Moon\*, Soohan Bae\*\*, Hyokyung Sung\*\*\*,#

\*Graduate School, Gyeongsang National University, \*\*Donga Industrial Machinery,

\*\*\*Department of Materials Engineering and Convergence Technology Gyeongsang National  
University, Jinju 52828, Republic of Korea

(Received 17 February 2022 ; received in revised form 02 May 2022; accepted 24 May 2022)

### ABSTRACT

Among the parts assembled in the gas receiver of a marine engine, the titanium alloy stainless steel (STS 316Ti) wire mesh serving as a filter was broken, and the related part, the turbine fan of the turbocharger, was damaged. In this study, a sample of the grid wire mesh was collected and the cause of breakage was analyzed, and a method of minimizing the dent mark caused by the mold during wire forming, which is one of the most direct causes, was studied. In addition, the optimum mold shape was realized through FEM simulation, and the wire wave molding machine capable of controlling the speed was improved by supplementing the problems of the existing wire wave molding machine, thereby improving durability with minimal dent marks.

**Keywords :** STS316Ti Wire(STS316Ti 강선), STS316Ti Wire Wave(STS316Ti 강선 웨이브), Wire Dent Mark (강선 찍임 자국), Grid Wire Mesh(격자 구조 철망), Wire Mash(강선 철망)

### 1. 서 론

컨테이너 운반선, LNG 운반선, 유조선 등의 대형 선박에서 가장 큰 비중을 차지하는 부분이 선박 엔진이라고 볼 수 있을 만큼 원양 항해 시 선박 엔진에 문제가 발생하면 많은 금전적 손실이 발생한다.

대형 선박 엔진의 역사는 1912년 최초의 2행정 저속 디젤 엔진(diesel engine)을 시작으로 전자제어 디젤 엔진(electronically controlled engine)이 적용되었으며, 최근 국제해사기구(international maritime organization)의 엄격한 환경규제로 LNG 연료 추진 엔진, LNG와 중유를 모두 사용할 수 있는 전자제어식 이중 연료 추진 엔진 등 친환경 엔진들이 개발되어 장착되고 있다.<sup>[1]</sup>

2행정 저속 디젤 엔진뿐만 아니라 대다수의 저속

# Corresponding Author : [hksung@gnu.ac.kr](mailto:hksung@gnu.ac.kr)

Tel: +82-55-772-1673, Fax: +82-55-772-1670

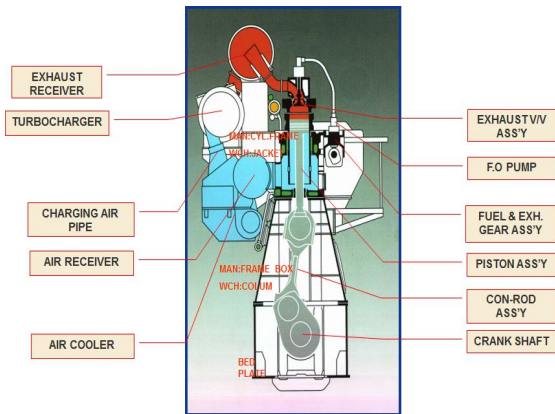


Fig. 1 Section of marine diesel engine

엔진이 제어방식과 사용 연료는 다르더라도 전체 구조는 유사하다고 볼 수 있다. Fig. 1은 디젤 엔진의 대략적인 단면구조이다.

본 논문에서는 저속 디젤 엔진에 장착되는 가스리시버(exhaust gas receiver)에 조립되는 격자 구조의 철망(grid wire mesh)을 웨이브(wave) 형태로 성형할 때 발생하는 찍힘 자국(dent mark)에 의한 파손 원인을 분석하고 찍힘 자국을 최소화하여 내구성을 향상시킬 수 있는 방안을 연구하여 제시하려고 한다.

## 2. 그리드 와이어 메쉬 파손 원인 분석 및 연구 방향

### 2.1. 가스리시버의 구조와 기능

가스리시버는 원통형 압력용기(pressure vessel) 형태로 제작되는 용접구조물이며, 에어리시버(air receiver)상부에 플렉시블 서포트(flexible support)에 조립되며, 엔진 펌프 측(gas inlet)의 배기밸브와 연결되어있고 반대편(gas outlet)에는 과급기(turbocharger)와 연결되어있다.

가스리시버는 엔진 가동 시 최대 450°C의 온도와 최대 3.5bar 압력의 배기가스에 장시간 노출되기 때문에 외부는 열 차단 목적으로 단열(insulation)처리 되어있으며, Gas inlet 및 Gas outlet에는 보정기(compensator, expansion Joint)가 조립되며, 에어리시

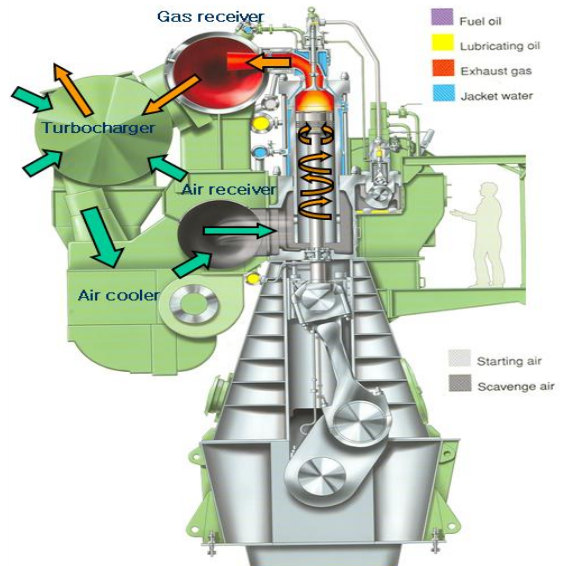


Fig. 2 Air & exhaust gas flow in diesel marine

버 쪽에는 Flexible support가 조립되어 엔진(engine) 본체에서 발생하는 본체 진동 및 축계 진동을 감소시켜 준다.<sup>[2]</sup>

선박 엔진의 특성상 원양 항해 시 장시간을 운항해야 하므로 여러 가지 진동과 고온, 고압의 악조건으로 진동이나 열응력에 의한 파손이 많이 발생한다. 가스리시버 Outlet에 설치되는 과급기는 밀도를 높은 공기를 공급하기 위해 설치되는데 가스리시버는 배기가스의 맥동 압력을 거의 균일하게 하여 과급기의 터빈(turbine)을 구동하기 위해 설치된다.<sup>[3],[4]</sup> Fig. 2는 디젤 선박 엔진의 Air & Gas의 흐름을 나타내고 있다.

가스리시버의 과급기 조립부 내부에는 배기가스와 같이 유입될 수 있는 비교적 큰 사이즈 이물질을 걸러주기 위해 격자 구조 형태의 금속 철망이 조립되는데 이것을 그리드 와이어 메쉬(grid wire mesh)라 한다. 선박을 장기간 운항하게 되면 가스리시버 내부 고온, 고압 조건에 의해 그리드 와이어 메쉬가 경화되어 피로 파괴가 발생하고, 파손된 파편들이 연관부품인 과급기로 혼입되어 터빈팬(turbine pan)을 파손시키는 사례가 발생한다. Fig. 3은 과급기 단면 형상과 공기(air) 및 배기가스(exhaust gas) 흐름을 나타내고 있다.<sup>[5]</sup>

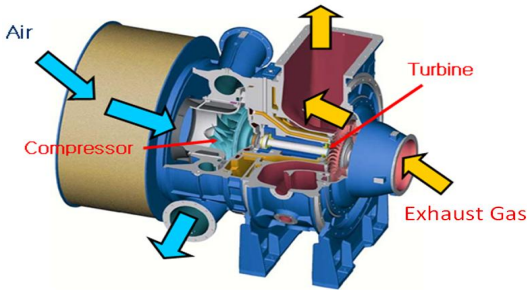


Fig. 3 Section of Turbocharger(Air & exhaust Gas Flow)

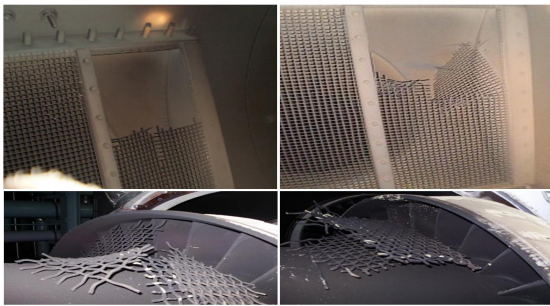


Fig. 4 Broken grid wire mesh

Fig. 4는 파손된 그리드 와이어 메쉬와 파손된 파편이 가스리시버 내부 및 터보차저 내부에 혼입된 모습이다.

## 2.2. 그리드 와이어 메쉬 파손 원인 분석

### 2.2.1 파손 시편 시험

선박 항해 중 실제 파손된 가스리시버 그리드 와이어 메쉬를 수거하여 엔진 가동 시 발생된 산화철 제거를 위해 초음파 세척(ultrasonic cleaning) 처리 후 실험을 진행하였다. Fig. 5는 적힘 자국(dent mark)으로 인한 파손 시편 사진이며 파손된 그리드 와이어 메쉬(a)를 (b)와 같이 확대할 경우 육안으로 적힘 자국이 발생하였음을 알 수 있고 (c)와 같이 파손된 시편에서 채취한 와이어를 전자현미경으로 19배율로 확대한 사진에서는 크랙(crack) 여부를 알 수 없었으나 (d)와 같이 250배율로 확대 후 관찰하면 선명하게 선형 크랙(linear crack)이 발생하였음을 알 수 있다.

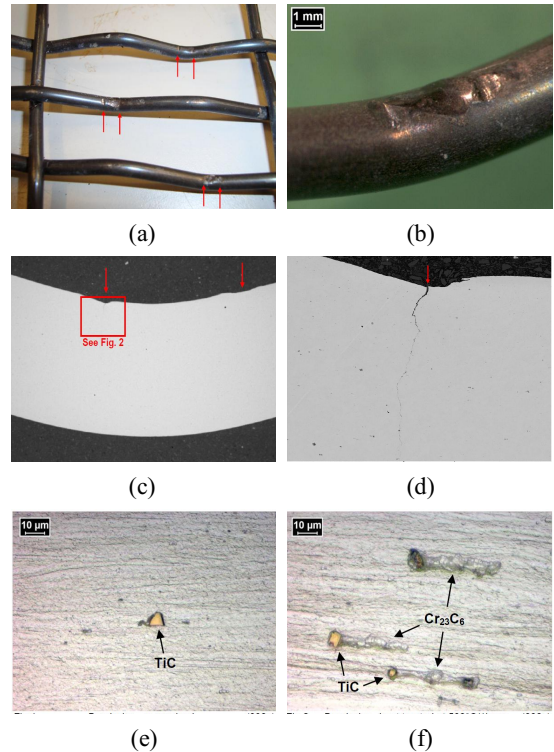


Fig. 5 Dent mark in grid wire mesh specimen

그리드 와이어 메쉬의 재질은 스테인리스 스틸(stainless steel)에 티타늄(titanium) 합금으로 KS STS316Ti에 해당되며, 저속 선박 엔진 기술사 MAN ES(man energy solutions) 규격 Scr18N8이다.

(e), (f)의 확대 사진과 같이 주요 합금 소재인 티타늄(titanium)이 확인되며 재료의 구조가 안정적임을 확인할 수 있다. 파손 시험편 시험 결과와 같이 화학성분은 선박 엔진 기술사의 요구사항에 만족하나 파손 시편의 경도 측정값이 246~344HV로 기준치 189HV보다 다소 높은 수치를 나타내었다.

### 2.2.2 파손 시편 시험분석 결과

파손 시편 분석 결과 재질은 MAN ES SCr18N8, KS STS316Ti 규격에 만족하며, 티타늄을 첨가하여 안정적이었으나 적힘 자국 부위에서 크랙이 생성되었음을 확인할 수 있었다. 파손 시편의 경도 측정 결과 요구하는 경도를 상실한 상태이고 고온

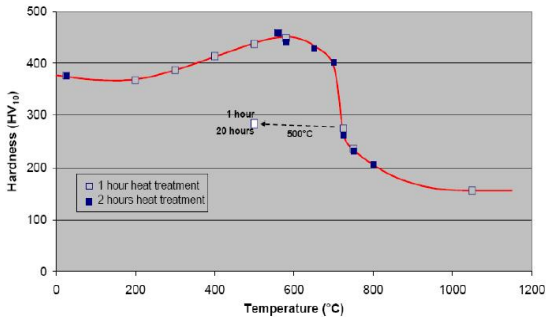


Fig. 6 Various hardness according to the exposure temperature of the test specimen

영향으로 인해 상변화가 관찰되었다.

초기 성형된 파손품의 경도는 약 350~400HV이고 온도가 400~500°C 상태에서는 약 450HV까지 증가하였다. Fig. 6은 시험 시편의 노출 온도에 따른 경도변화를 나타낸 그래프이다.

결과적으로 찍힘 자국이 파손의 1차적인 원인이지만 엔진 가동 시 발생하는 고열이 빠른 파손의 원인이 되었다고 볼 수 있으며 파손된 시편은 모두가 강성도(stiffness)를 잃은 것으로 확인되었다.

이는 운전 중에 발생하는 고열에 의해 노출된 결과로 재료의 특성이 연질로 변한 것임을 추정할 수 있다. 파손 시편은 600°C 이상의 고온 상태에 노출되면 경도는 급격히 떨어지는데 측정된 경도 값 250~300HV는 약 600°C 이상의 고온 상태에 노출되었음을 알 수 있다.<sup>[6]</sup>

### 2.2.3 연구의 방향과 목표

가스리시버 내부에 장착되는 부품인 그리드 와이어 메쉬 직조에 필요한 와이어 웨이브 성형 시 금형 치절에 의한 찍힘 자국을 최소화하여 내구성을 향상시키려고 한다.

그리드 와이어 메쉬 제작 시 사각 그물 형태로 직조하기 위해서는 일정한 웨이브가 형성되어야 하는데 웨이브 성형 방법은 상(上) 금형과 하(下) 금형이 서로 맞물려 와이어에 웨이브가 형성된다.

이 공정에서 금형 치절(평 기어의 모서리 부분)에 의한 찍힘 자국이 발생하며, 발생된 찍힘 자국을 시작으로 가스리시버 내부의 고온, 고압에 의해 그리드 와이어 메쉬가 피로 파괴된다.

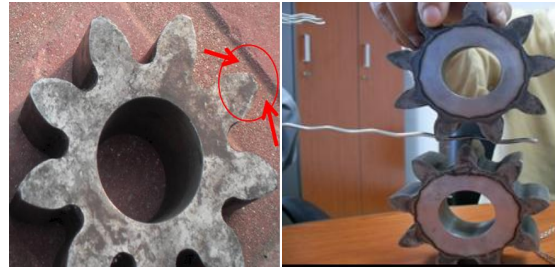


Fig. 7 Grid wire mesh wave forming method

그러나 종전 기술로 생산된 그리드 와이어 메쉬의 제작업체는 제조 규모가 영세하고 제작 방법 및 기술력이 부족하여 용도에 적합한 제품을 제작하기가 힘든 현실이다.

일반적으로 널리 사용하는 철망 즉, 구이용 석쇠, 울타리 용도의 제품 제작 방법을 그대로 사용하여 제작하고 있어 선박 엔진 부품 용도에 적합하지 않고 내구성이 많이 떨어지는 실정이다. Fig. 7은 와이어 웨이브 성형기 금형의 형상 및 웨이브 성형 원리를 나타내었다.

따라서 본 연구의 방향과 목표는 와이어를 웨이브 형상으로 성형하는 금형의 형상을 시중 사용품의 문제점을 보완하여 구상하고 FEM을 통하여 시뮬레이션하여 최적의 형상으로 구현하여 와이어 성형 시 발생하는 찍힘 자국을 최소화하여 내구성을 높이는 것이 이번 연구의 목적이 있다.

### 3. 금형 형상 최적 설계

파손된 시편 시험분석 결과 내구성을 높이려면 금형 치절에 의한 찍힘 자국이 발생하지 않아야 한다. 그러기 위해서는 시중의 일반기어(평 기어) 형태의 금형과는 형상이 다른 치절의 형태가 라운드 형상이어야 한다.

최적의 형상을 구현하기 위해 유한요소해석을 수행하였으며 사용 프로그램은 Deform 3D Post Ver. 6.1을 사용하였다.

Fig. 8은 일반적인 평 기어 치절의 각진 형상의 시뮬레이션이며, Fig. 9는 치절의 형상을 라운드 형상으로 구현하여 시뮬레이션한 것으로 라운드 형상이 안정적인 것을 알 수 있다.

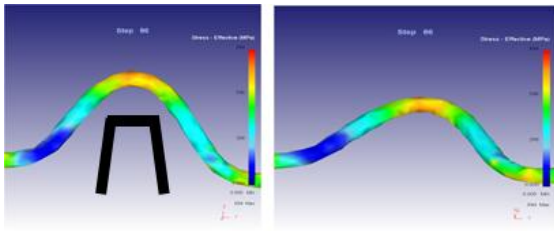


Fig. 8 Shape edge simulation

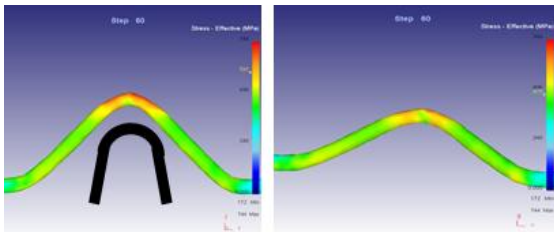


Fig. 9 Round edge simulation

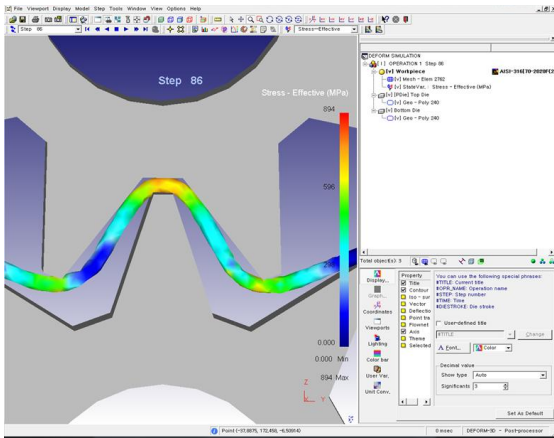


Fig. 10 Standard gear simulation

### 3.1 일반(평 기어)형상 금형 시뮬레이션

Fig. 10은 일반 평 기어 형태의 금형 시뮬레이션 모습이며 일반 구매품은 치질 부분이 각진 형태로 되어있으며 시뮬레이션 결과 MAX. 894Mpa의 응력이 발생하였다.

### 3.2 라운드형상 금형 시뮬레이션

Fig. 11은 라운드 처리된 금형 치질 형상의 시뮬레이션 모습이며 시뮬레이션 결과 744MPa의 응

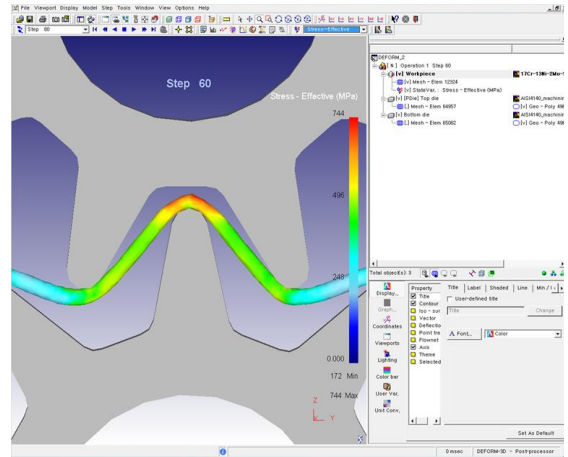


Fig. 11 Round mold simulation

력이 발생함을 알 수 있다. 일반 평 기어 형태의 형상에 비해 150MPa의 차이가 발생하였다.

### 3.3 금형 형상 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 일반적으로 시중에서 사용하고 있는 모서리 부분이 각진 형태의 금형을 사용하는 것보다 치질 부분이 라운드 형태 금형을 사용하는 것이 적힘 현상이나 파단에 안전하다는 것을 알 수 있었다.

소성가공에서 성형되는 재료보다 금형의 경도가 클수록 재료의 변형이나 적힘 자국 발생할 가능성이 커진다고 볼 수 있다.

그러나 금형 재료의 경도의 차이에 따라 적힘 현상이나 작용하는 응력이 차이가 있으나 재질별 시험은 범위가 넓어 이번 연구에서는 금형의 재질별 형상은 언급하지 않고 평 기어의 재질로 많이 사용하는 재질인 KS D 3752 SM45C 탄소강 자재를 사용했을 경우라고 가정하여 시뮬레이션하였으며, 적힘 현상과 파단은 시뮬레이션 상에서는 판단하기 힘들어 경향성만을 시뮬레이션으로 확인하였다.

## 4. 실험 장치 제작 및 연구내용

### 4.1 실험용 웨이브 성형기 금형 제작

Fig. 12는 시뮬레이션 결과에 따라 KS D 3752

SM45C 재질을 사용하여 치질의 형태가 기존 시중품의 각진 형태가 아니라 R2 라운드 형상으로 가공하여 제작한 와이어 웨이브 성형 금형이다.

### 4.2 실험용 웨이브 성형기 제작

기존 와이어 웨이브 성형기에 라운드 처리된 금형 장착 후 시편 제작을 시도하였으나 라운드 형상 특성으로 와이어 슬립 현상(slip phenomenon)이 발생하여 일정한 간격의 웨이브가 형성되지 않았다. Fig. 13은 웨이브 성형기의 부위별 명칭을 나타내고 있다.<sup>[7],[8]</sup>



Fig. 12 Rounded wire wave forming mold

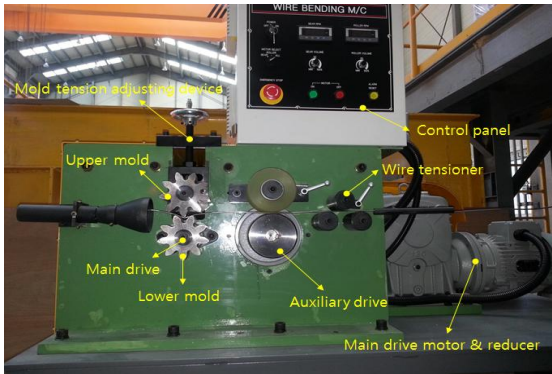


Fig. 13 Wire wave forming machine part name



Fig. 14 Wire wave forming machine part

이러한 와이어 슬립 현상을 해결하기 위해 실험용 와이어 웨이브 성형기에는 송급기에 보조 구동장치를 적용하였으며, 인버터 스위치를 부착하여 메인 구동 모터 속도제어 및 보조 구동 모터의 속도 조절을 할 수 있도록 하여 슬립 현상을 방지할 수 있도록 하였다. Fig. 14는 와이어 웨이브 성형기의 전체 형상이다.

기존에 문제 되었던 웨이브 성형 시 슬립 현상을 방지하기 위해 장착한 보조 구동장치와 메인 구동장치의 속도와 비율에 따라 시편을 제작하여 형상을 비교하면 최적의 조건을 찾을 수 있다.

### 4.3 시험편 제작 및 테스트

와이어 웨이브 성형 시 메인 구동축 모터와 보조 구동축 모터 회전수(rpm)에 따른 찍힘 자국의 형상 및 웨이브 형상이 차이를 실험하기 위해 3가지 조건으로 설정하여 시편을 제작하였다.

최대 회전수인 179rpm 기준으로 메인 구동축과 보조 구동축 회전수를 각각 다르게 설정하여 시편(a): 179rpm & 179rpm, 시편(b): 130rpm & 179rpm, 시편(c): 80rpm & 0rpm으로 설정하였다.

보조 구동축이 메인 구동축과 같은 속도일 경우가 시편(a), 메인 구동축보다 높을 경우가 시편(b), 보조 구동축을 작동하지 않을 경우를 시편(c)로 구분하여 최소의 찍힘 자국이 발생하는 모터 회전수를 찾고자 한다. Fig. 15는 구동축 모터 회전수로 성형된 시험편이다.

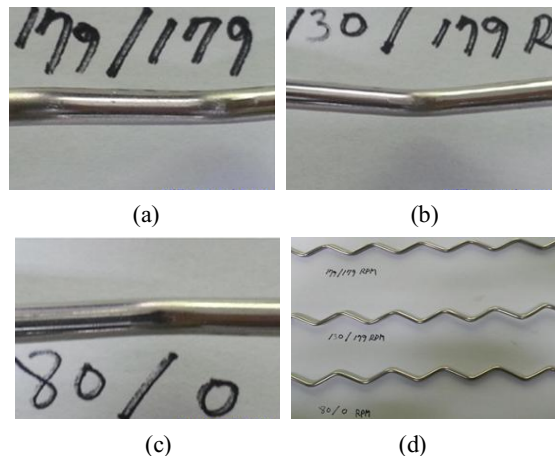


Fig. 15 Wave forming wire specimen according to rpm



**Fig. 16 Wave forming wire specimen dimension measurement**

Fig. 16은 각각의 회전속도로 성형된 와이어 시편 외경 측정 모습이며 웨이브 성형된 와이어를 그물 형태로 직조한 후 완료된 그리드 와이어 메쉬의 간격을 측정하였다.

외경 측정 결과 성형 전 3.55mm 와이어를 사용하여 평균값 기준 시편(a): 3.53mm, 시편(b): 3.54mm, 시편(c): 3.52mm로 미세한 차이를 보이고 있으나 치수 차이가 미세하여 각각의 회전속도에 따른 성형 후 외경의 차이는 없다고 볼 수 있으며 기술사에서 요구하는 성형 후 최소 외경 3.50mm를 만족한다고 볼 수 있다.

Table 1은 각 시편의 외경 측정값이며, Table 2는 웨이브 형태로 성형한 와이어 시편을 그물 형태로 제작한 후 직조된 그리드 와이어 메쉬의 간격을 측정한 값이다.

**Table 1 Outer diameter measurement after wire wave forming**

(at.mm)	Condition		
	Test of piece		
	a	b	c
Specifications			
1	3.52	3.55	3.54
2	3.53	3.55	3.53
3	3.55	3.53	3.52
4	3.52	3.54	3.52
5	3.54	3.54	3.54
6	3.55	3.54	3.52
7	3.54	3.55	3.53
AVG.	3.53	3.54	3.53

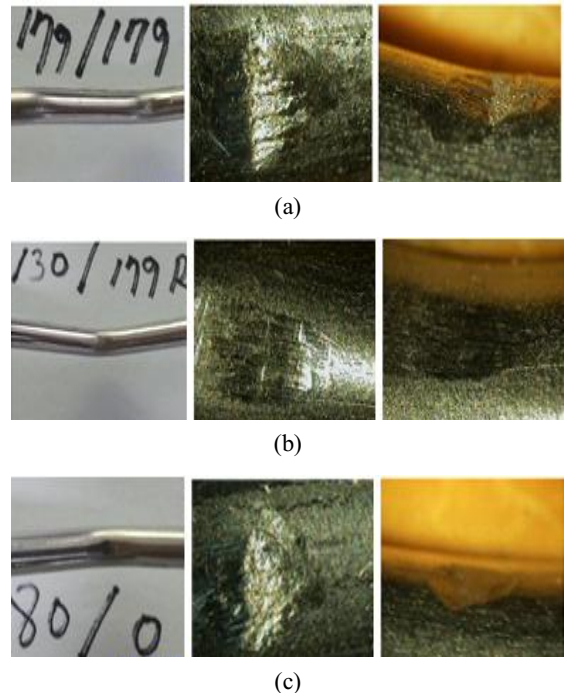
**Table 2 Measure the distance woven into grid wire mesh after wire wave formation**

(at.mm)	Condition		
	Test of piece		
	a	b	c
Specifications			
1	19.0	19.0	19.0
2	19.0	19.5	19.0
3	19.0	19.5	19.0
4	19.5	19.5	19.5
5	18.5	18.5	19.0
6	18.5	18.5	19.0
7	19.5	19.0	18.5
AVG.	19.0	19.1	19.0

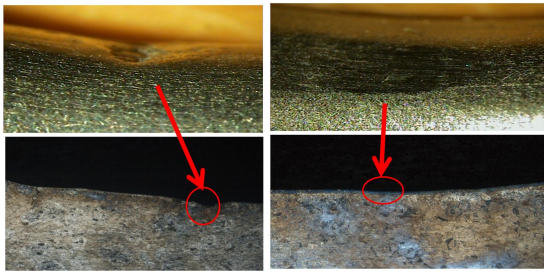
측정 결과 평균값 기준 시편(a): 19.0mm, 시편(b): 19.1mm, 시편(c): 19.0mm로 차이가 없음을 알 수 있으며, 개별적으로 치수 측정 시 0.5mm~1.0mm 정도의 치수 차이는 그리드 와이어 메쉬 형상 특성으로 볼 때 직조 후 형태가 흔들림의 차이이라고 볼 수 있으므로 측정 결과로 볼 때 회전 속도별 와이어 웨이브 성형 후 그리드 와이어 메쉬 제작 시 격자 간 거리 치수 차이는 없음을 알 수 있다.

Fig. 17은 각각의 회전수로 성형된 와이어의 외형 사진이며 Fig. 18(a)는 그리드 와이어 메쉬 개선 전의 찍힘 자국 사진이며 (b)는 개선 후의 찍힘 자국 사진이다. 전자현미경 확대 시험 및 기타 외부표면 육안 평가 결과 메인 구동축 130rpm, 보조 구동축 179rpm 시편(b)의 형상이 가장 찍힘 자국이 양호한 형상임을 알 수 있다.

즉 메인 구동장치의 회전수보다 빠른 회전수의 속도로 보조 구동축의 회전수를 설정하였을 경우가 라운드 형상의 금형을 사용 시 안정적임을 알 수



**Fig. 17 Comparison of dent marks before and after improvement of wire wave forming method**



(a)Before (b)After  
**Fig. 18 Comparison of dent marks before & after improvement**

있다. 또한 기존 일반적인 평 기어 형태의 치질이 각진 금형을 사용했을 경우와 비교 했을 때 현저하게 찍힘 자국이 감소하였거나 눌러진 자국만 있을 뿐 크랙이 발생하지 않음을 알 수 있다.

기계적 성질 테스트 결과 인장강도는 만족하나 연신율에서 3%의 차이를 나타내고 있으며 경도 또한 비커스 경도(vickers hardness) 기준 53HV 정도의 차이를 나타내고 있는데 이는 KS STS 316 Ti는 판재를 나타내고 있으나 제작 시 사용되는 재료는 판재가 아닌 스테인리스 스틸 강선 형태의 와이어를 인발 후 재료의 특성에 맞추어 열처리 과정을 거치는데 이 과정에서 W1, W2, 1/4H, 1/2H, 등으로 재료의 성질이 재결정된다. 그러므로 재료의 물성치 중 기계적 성질 테스트 값은 기술사에서 요구하는 사양과 일부 차이를 나타내고 있으나 이는 국가별 규격이 동일하지 않고 ASTM 및 KS 등의 규격을 검토한 결과 다소 차이가 있음을 알 수 있었으나 본 연구에는 이 부분에 대해서는 언급하지 않았다.

#### 4.4 시험편 장착 테스트

기존 파손 시편 채취한 엔진과 동일한 기종인 12K98ME-C 엔진 가스리시버에 그리드 와이어 메쉬를 장착하여 테스트한 결과 금형 개선 전 시험편은 3회에 거쳐 장착 후 2,000시간 이내 파손사례가 있었으나, 개선 후의 시험편은 8,320시간 경과 후까지 파손 보고가 없었으나, 선박 엔진의 특성상 엔진 정지 후 현상을 확인할 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요하다.

## 5. 결론

선박 운항 중 가스리시버의 그리드 와이어 메쉬 파손사례가 자주 발생하여 파손 시편을 테스트하여 파손 원인을 분석하고 내구성을 향상을 위한 금형 형상 최적 설계를 통해 실험에 필요한 금형과 성형기를 제작하고 실험을 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 메인 구동축과 보조 구동축 회전수를 구분하여 테스트한 결과 성형 전, 후의 치수 변화는 큰 차이가 없으나 직조 후 사각 격자의 치수 측정 값이 형상 특성상 흔들림이 있어 0.5~1.0mm의 치수 차이가 발생한다.
2. 전자현미경 시험 결과 메인 구동축 130rpm, 보조 구동축 179rpm의 조건에서 메인 구동장치의 회전수보다 빠른 회전수의 속도로 보조 구동축의 회전수를 설정하였을 경우가 가장 안정적인 형태의 찍힘 자국을 보이며 기존 일반적인 평 기어 형태의 금형을 사용했을 때와는 현저하게 찍힘 자국이 줄어든다.
3. 기계적 성질 테스트 결과 국가별 규격에 따라 일부 차이가 있어 연신율 및 경도의 차이가 다소 발생하였으나 이 차이는 파손에 직접적 영향을 준다고 볼 수 없다.
4. 기존 파손사례와 동일한 엔진에 장착 테스트 결과 8,320시간 경과 후까지 파손되었다는 보고가 없으므로 일반제품보다 내구성이 우수함이 실증된다.
5. 선박 엔진 가동 시 고온, 고압 환경에 의한 가스리시버 그리드 와이어 메쉬의 파손 원인과 찍힘 자국의 연관성에 대한 의구심을 해소하였다.
6. 낙후된 철망 제작업체의 기술개발이 어려워 가스리시버 제조 업체에서 많은 문제점을 내포하고 납품해야 하는 상황이었으나 본 연구를 통해 엔진 부품 용도에 적합한 철망을 제조할 수 있게 되었다.

## REFERENCES

1. Ryu, J. H., "A Study on the Development for



- Electronic Control Marine Diesel Engine Simulator”,  
A Thesis for a Master's Degree, Gyeongsang National  
University, Republic of Korea, 2017.
2. No, Y. T., "Understanding Large Ship Engines", STX  
Heavy Industries, pp. 1-61, 2006.
  3. Lee, G. H., “A Numerical and Experimental Study  
about Pressure Fluctuation of Marine Engine Exhaust  
Gas Reciver”, A Thesis for a Master's Degree,  
Konkuk University, Republic of Korea, 2005.
  4. Park, D. S., Kim, C. S. and Jeong, D. C., "Couple  
Analysis of Thermal Structure of Deng-Type Diesel  
Engine Exhaust Pipe", Korea Marine Engineering  
Society, Vol. 2005, No. 11, pp. 18-19, 2005.
  5. Pounder, “Marine diesel engine and gas turbine”,  
Dongmyungsa, pp. 1-1001, 2012.
  6. Material Technology & Research Report, “Broken  
T/C Grid From MSC Kalina”, MAN ES, pp. 1-6,  
2009.
  7. Cho, H. D. and Choi S. J., "Gear Train Development  
for CNC Wire Bending Machine", Journal of the  
Korean Society of Manufacturing Process Engineers,  
Vol. 7, No. 4, pp. 50-55, 2008.
  8. Cho, H. D., "CNC Wire Forming Machine with  
Compensation Gear Train", Proceedings of the  
KSMPE Conference, Vol. 2006, No. 11, pp. 19-24,  
2006.