

미세조직 분석을 통한 잠수함 탈출트렁크 해치 스프링 파손에 관한 연구

이영석*, 최우석, 김병호, 윤지수
국방기술품질원

A Study on the Breakage of the Hatch Spring of the Submarine Escape Trunk through Microstructure Analysis

Young-Suk Lee*, Woo-Suk Choi, Byeong-Ho Kim, Ji-Soo Yun
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 미세조직 분석을 통한 잠수함 탈출 트렁크 해치 스프링 파손부 개선에 관한 내용으로 잠수함 건조 중 발생한 탈출 트렁크 파손에 대한 발생원인 및 개선방안에 대해서 검토 하였다. 탈출 트렁크 스프링 파괴에 대한 원인 규명을 위해서 파손된 제품에서 시편을 채취하여 형광분석기를 이용한 재질의 화학성분을 비교 분석 하였고, 기계적 특성 변화를 검토하기 위해 파손부 주위로 비커스 경도를 측정 하였다. 특히, 스프링 파손부는 광학현미경 및 주사전자현미경을 이용하여 파면을 심층적으로 관찰하여 균열의 시작점 및 전파 경로를 확인하여 파괴에 대한 원인을 규명하고자 하였다. 최종적으로는 스프링 파손 원인 규명을 통한 스프링 형상 설계 방안을 제시하였고, 추가적으로 내부식성 및 내마모성이 우수한 나일론 도장을 도포하여 신규로 개선된 스프링을 제작 하였다. 실제 건조중인 잠수함 트렁크 해치에 부착하여 시험한 결과 기존 제품에 비해 해치 여닫음 시 스프링 간 접촉에 의한 도장 벗겨짐 현상이 감소하여 개선의 효과를 확인 하였다.

Abstract This study examines the damage to the submarine's escape trunk hatch spring through microstructure analysis. The cause of the escape trunk's damage during the submarine's construction and its improvement measures were reviewed. To determine the cause of breakage of the escape trunk spring, samples were taken from the damaged product and analyzed for chemical composition, hardness, and microstructure. In particular, the breakage part of the spring was analyzed in-depth by using a scanning electron microscope to determine the cause of corrosion destruction. Finally, a spring shape design method was proposed through the investigation of the cause of spring breakage. In addition, a newly improved spring was produced by applying a nylon coating with excellent corrosion resistance and abrasion resistance. Applying to an actual submarine trunk hatch revealed that the coating peeling phenomenon due to the contact between the springs is significantly improved when the hatch is opened or closed compared to the existing products.

Keywords : Submarine, Hatch, Spring, Microstructure, Analysis

1. 서론

2019년 현재 전 세계 41개국에서 000척 잠수함을

운용하고 있으며, 이러한 잠수함 전력을 집중적으로 발전시킨 국가는 러시아, 중국, 일본, 북한 등 주로 한반도의 주변국들이다. 북한 해군의 수상전투함도 수적으로는 많

*Corresponding Author : Young-Suk Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: youngsuk_lee@dtaq.re.kr

Received August 11, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised September 7, 2020

Published January 31, 2021

지만 약소국처럼 연안해군 수준에 불과하다. 대형 함정이 라고는 기껏해야 우리의 천안함 수준인 0000톤 내외 이며, 소형 함정에 미사일 어뢰 등 구형 무장들을 탑재한 빈약한 수준이지만 잠수함 전력만은 연안해군 수준을 벗어나 세계 최강 수준을 유지하고 있다[1, 2]. 이처럼 현대의 해상 전투는 과학기술의 발달과 무기체계의 첨단화를 통해 그 양상이 근본적으로 변화되고 있으며, 현대 및 미래전은 해상·수중·공중상황이 통합된 입체전 양상이 될 것으로 전문가들은 예측하고 있다[3].

특히, 다른 무기체계에 비해서 특징적인 것은 군사력이 우월하지 않는 상태에서 소수의 잠수함 전력만으로 공세적인 작전을 수행 할 수 있기에 잠수함은 특유의 전략적 특성 때문에 공격무기로써 자리매김 되었고, 중소 해군국이 강대국에 필적할 수 있는 무기로 평가받고 있다[4, 5].

국내에서도 현재 0000톤급 잠수함이 개발 중에 있으며, 완벽한 개발품질을 위해서 함정무기체계 개발단계 품질관리가 진행 중이다. 잠수함의 임무목적도 중요하지만 승조원들의 안전도 중요하기 때문에 시운전 중 발생하는 모든 상황에 대해 검토 후 개선적용 여부 판단이 필요하다[6, 7].

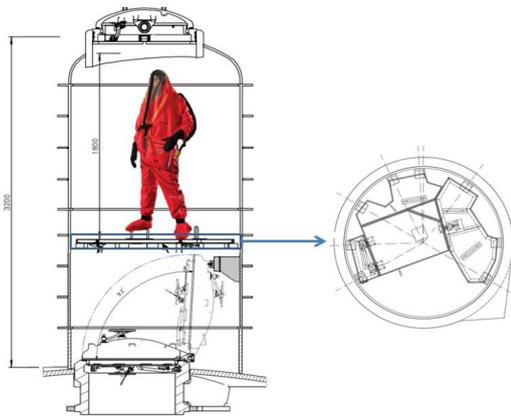


Fig. 1. Escape trunk schematic

잠수함은 공격적인 임무도 중요하지만 비상시 승조원들의 전원 탈출도 매우 중요한 부분이다. 수상함에서는 비상시 갑판에서 바다로 뛰어 들 수 있지만 잠수함은 Fig. 1과 같이 오직 탈출 문을 통해 밖으로 나올 수밖에 없는 구조이다. 즉 탈출 트렁크는 항상 신속한 탈출이 가능하도록 평상시에도 유지 관리가 되어야 한다. 잠수함에 서 탈출 문은 맨몸탈출 또는 자유부상 시 사용되는 내압 구조물로서 탈출 트렁크라고 지칭하며 함 내/외부로 출

입하기 위한 주 통로 이다. 탈출은 운용 중 수중에서 위험한 상태에 처했을 때 외부수압 하에서 외부의 도움 없이 자력으로 위험상태로부터 벗어나는 행위를 말하는데 승조원들의 안전 및 생명과 직결된다고 볼 수 있다.

또한 특수전 요원의 전개 등 타 임무 시에도 탈출트렁크를 이용하여 0회 0명 이상 동시 전개가 가능해야 함으로 탈출트렁크는 유압계통 뿐만 아니라 항상 수동으로 원활하게 개폐가 가능해야 된다. 그러나 수 잠수함 탈출 트렁크 해치 고장사례나 개선에 관한 연구는 국내외적으로 전무후무하며, 일반적인 해치 및 스프링 개선에 관한 연구는 활발히 진행중이다[8, 9, 10, 11].

본 연구는 잠수함 건조 중에 발생한 탈출 트렁크 해치 스프링 부식파괴(Corrosion Fracture)에 대해 미세조직을 분석을 통한 원인을 규명하고 해결방안에 대한 내용을 고찰 하고자 한다.

2. 본론

2.1 탈출 트렁크 설계 개념

자유 부상 시 승조원은 해수압력에 노출되므로 해수압에 노출되는 시간을 최소화시켜 감압 불필요 한계시간 이내에 수면에 부상해야 한다.

탈출 트렁크 내 승조원은 벤트 배관이 폐쇄되는 순간부터 서서히 해수 압력에 노출되기 시작하므로 탈출 트렁크 내로 유입되는 해수량과 벤트 배관의 높이를 높일 수록 압력 노출시간을 줄일 수 있다.

인체는 매 4초당 2배의 압력증가에 적응할 수 있으므로 압력 배가 시간이 4초 이내가 되지 않도록 제원을 구성해야 한다. 이때 자유부상 1회 소요시간이 길게 선정될 경우, 비상호흡공기/가스 소요량 증가 및 전체 승조원 탈출시간이 증가함에 따라 생존성에도 직접적인 영향을 끼치므로, 자유부상 1회 소요시간을 적절하게 설정하는 것이 중요하다. 자유부상 1회 소요시간을 계산하기 위해, 자유 부상의 절차 별 시간을 다음과 같이 고려해야 한다.

첫 번째는 탈출 트렁크 내 충수시간이다. 이는 탈출트렁크 내 압력평형 시 충수시간은 해수가 충수되어 트렁크 내 공기가 배출되면서 해수가 벤트 배관까지 유입되는 데 소요 되는 시간(t_1)이다.

두 번째는 탈출 트렁크 압축시간 이다. 탈출트렁크 내 벤트 배관 끝단 이상으로 해수가 충수되면 탈출 트렁크 내부가 가압되기 시작한다. 압력이 상승하여 외부압과 평형상태가 되면 트렁크 상부 해치가 스프링 힘에 의해 개

방되며, 이때까지의 시간을 탈출 트렁크 압축시간(t_c)이라 한다.

압축시간은 외부압력, 탈출트렁크의 체적, 해수 층수 배관의 직경, 벤트 배관의 높이에 따라 달라지며, 가압 시에는 승조원이 과도한 압력에 의해 손상을 입지 않도록 트렁크 내 압력이 매 4초마다 2배 이내가 되도록 16 가압을 조절해야 한다.

세 번째는 압력평형 후 탈출 트렁크에서 빠져 나오는데 소요되는 시간 이다. 탈출 트렁크의 압력평형 후, 탈출 트렁크를 빠져 나오는데 소요 되는 시간(t_a)을 의미한다. 자유부상 시 승조원은 탈출복을 입고 탈출하기 때문에, 탈출복 부력에 의해 해치 개방 후 빠른 속도로 상승한다. 탈출복의 부상 속도와 해치 개방에 소요되는 시간을 감안하여 약 10초로 선정한다.

1인당 탈출 소요시간: 약 3초 (1)

(탈출복 부상속도: 2~3m/s 기준) (2)

압력해치 개방 소요시간: 약 2초

여유시간 고려 마진 : 1.25배 (3)

$$= (2인\ 탈출\ 소요시간 + 압력해치\ 개방소요시간) \times 1.25$$

$$= (6+2) \times 1.25 = 10초$$

1회 총 탈출 시간은 승조원이 탈출준비를 하고 트렁크 내로 진입한 후 탈출 트렁크 내 해수를 유입하는 시간과 트렁크 내 압력 평형 후 탈출 트렁크 상부 해치가 개방되어 승조원이 탈출하는 시간, 이후 상부 해치를 닫고 탈출 트렁크 내 해수를 완전 배출 되는데 까지 소요되는 시간의 총 합(t_c)으로 구할 수 있다.

이 때 스프링은 해치의 개폐 시 급격한 닫힘과 열림을 방지하기 위한 완충 역할을 하게 된다. 즉 스프링 장력에 의해 해치 열림 시에는 15° 이상에서 서서히 열리게 되고, 닫힘 시에는 15° 미만에서 스프링 장력으로 닫기 힘들다 이 이상 닫히면 스프링 장력이 변경되어 서서히 닫히게 된다. 또한 해치 개폐 시 충격이 심할 때에도 스프링 장력이 일정하게 조절하여 원활하게 운용할 수 있다.

즉, 탈출 트렁크 설계 개념에서도 승조원의 탈출 시간은 탈출 트렁크 상부 해치가 개방되어 승조원이 탈출하는 시간, 이후 상부 해치를 닫고 탈출 트렁크 내 해수를 완전 배출 되는데 까지 소요되는 시간의 총 합으로 계산이 되기 때문에 스프링 장력에 의한 신속한 해치 개폐유무가 중요한 관건이 되기 때문에 반드시 개선이 필요한 사항으로 판단했다[12].

2.2 탈출 트렁크 스프링 분석

본 연구에서는 고찰한 수중함용 탈출트렁크 상부해치

스프링 파손된 부위는 Fig. 2와 같으며, 주요 실험절차는 Fig. 3와 같다.

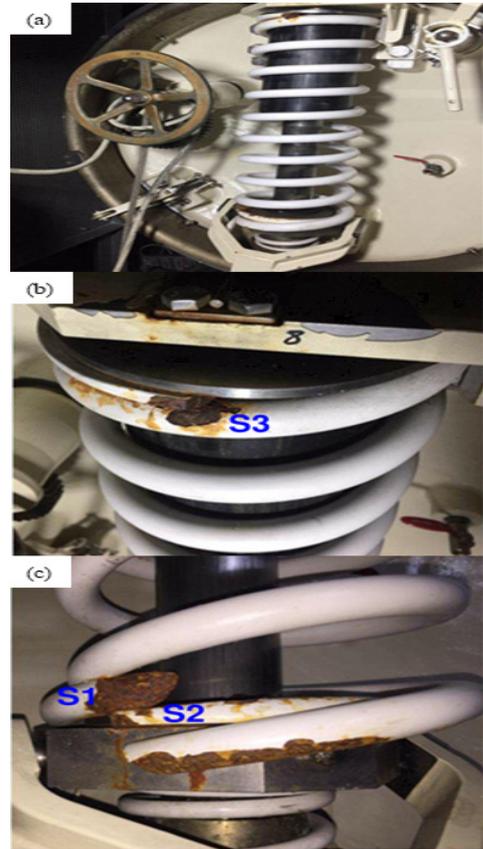


Fig. 2. Escape trunk hatch spring breakage: (a) Escape trunk hatch, (b) upper spring, (c) lower spring

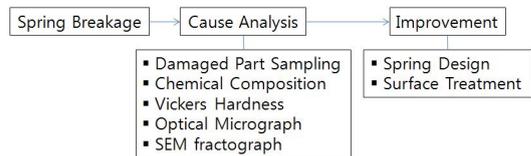


Fig. 3. The Procedure chart for improving spring breakage

Fig. 2(a) 그림에서 보듯이 탈출용 트렁크 상부해치를 여닫기 위해서는 스프링이 설치되어 있으며, Fig. 2(b)와 (c)를 보듯이 상부 및 하부 동일한 양상이며 하부가 좀 더 심각하며 산화에 의한 표면 손상 외 물리적인 손상은 관찰되지 않았고 미세조직 분석을 위해 파면부(S1), 끝단부(S2), 상부표면 손상부(S3)로 구분하여 절단을 하였다.

Table 1. Chemical Composition

Chemical Composition	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	N
DIN 1.8159 (51CrV4)	Bal	0.47 ~0.55	< 0.40	0.70 ~1.10	< 0.025	< 0.025	0.90 ~1.20	-	-	-	-	0.10 ~0.20	-
Mil Cert.	Bal	0.520	0.310	1.040	0.009	0.008	1.040	-	-	-	-	0.120	-
S3-1	Bal	0.552	0.306	1.035	0.011	0.007	1.077	0.065	0.011	0.092	0.015	0.109	0.010
S3-2	Bal	0.555	0.306	1.038	0.011	0.007	1.069	0.064	0.011	0.092	0.015	0.110	0.009

Table 2. Vickers Hardness(Hv10) of Specimens

Specimen	Position	No	1	2	3	4	5	Average
S1-1	Damaged (S1-1)	A1	491	487	489	489	497	491
	Un-damaged (S1-2)	A2	494	497	498	493	498	496
	Middle (S1-3)	A3	489	490	486	488	496	490
S3-1	Damaged (S3-1)	B1	504	503	507	506	507	505
	Un-damaged (S3-2)	B2	507	515	510	508	508	510
	Middle (S3-3)	B3	507	507	509	512	509	509

Fig. 4은 산화막이 제거된 파면부(S1) 절단 후 경도, 미세조직, 파면 분석을 위해 시편을 채취한 사진을 보여 주고 있다.

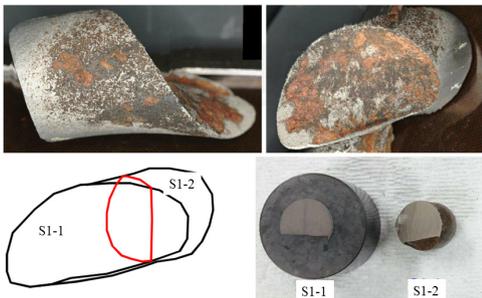


Fig. 4. Damaged part (S1) sampling site and specimen

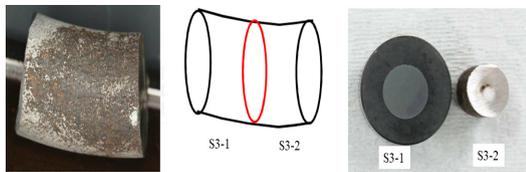


Fig. 5. Upper surface damaged area (S3) collection site and specimen

Fig. 5는 산화막을 제거한 상부표면 손상부(S3)에서 시편을 채취하는 사진을 나타내고 있다.

Table 1은 ASTM E415-17 시험방법에 따라 발광분광분석기(Spark Emission Spectrometer (OBLF/QSN 750-II)/Temp.: 22±1℃, Humidity: 44±5% R.H.) 이용하여 S3에 대한 화학성분을 분석한 표를 나타내고 있다. 표에서 보듯이 소재는 DIN 1.8159(51CrV4)으로 제조사 자체성적서(Mill Cert.)도 규격 대비 이상이 없으며, 실제 분석한 시편에서도 C 함량이 0.002~0.005로 초과하였지만 래들 상태가 아닌 제품 상태에서 분석을 하였기에 시험상 허용 가능한 오차로 판단되었다. 스프링 제품 규격에 경도에 대한 규격은 없으나 열처리 이후 경도

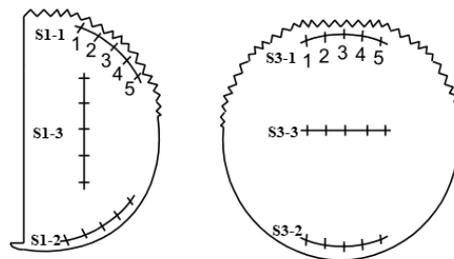


Fig. 6. Vickers hardness measurement position

의 분포상태를 확인하기 위해 ASTM E92-17 시험 방법에 따라 비커스 경도기(Vickers hardness Tester(HV-113)/Temp.: $21.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$)를 이용하여 경도를 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 이 때, 하중 유지시간은 10초이며 압흔 위치는 Fig. 6에 나타내었다. Table. 2에 나타나 있는바와 같이 S1과 S3의 평균경도(Hv)는 표면(Damage)는 각각 491, 505이고, 표면(Un-Damaged)는 496, 510이며, 심부는 490, 509로 나타난다. 측정값을 비교해 보면 S3가 S1보다 다소 높은 것으로 나타나지만 일반적으로 열처리 경도는 나타내는 HRC로 변환 시에는 전체 경도 측정값이 48.5~50 범위 안에 들기 때문에 경도 분포에서는 큰 차이가 발견되지 않았다. 즉 열처리에 대한 문제는 이상이 없다는 것을 간접적으로 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 모재부(S3) 표면 형상에 대한 광학현미경(OM, Optical Microscope(Axioscope 2MAT)/Temp.: $22 \pm 1^\circ\text{C}$, Humidity: $44 \pm 5\%$ R.H.)사진을 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 부식 환경에 노출된 접촉부로 산화로 인한 침식이 전반적으로 관찰되지만, 미 접촉부인 Fig. 5(b)에서는 표면 손상이 없는 것으로 관찰 되었다.

Fig. 8은 S1의 표면 손상부를 광학현미경으로 측정된 사진을 나타내고 있다. 그림에서 보이듯이 표면부 손상이 심하며 파손부 경계면 주위에 부식 및 산화반응으로 인한 심한 침식을 확인할 수 있으며, 손상 정도가 너무 심하여 부식파괴 원인의 시발점 찾기가 불가하였다.

Fig. 9는 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope(JSM-IT500HR)/Temp.: $22 \pm 1^\circ\text{C}$, Humidity: $44 \pm 5\%$ R.H.)를 이용하여 파단부를 분석하였다. S1 파단면의 Edge 부분과 중앙부는 파단면 대부분 산화로 인해 분석이 제한적이었지만, 일부 Shear-lip 부분에서 중단부로 추정되는 dimple을 흔적을 관찰 할 수 있다. 재료가 힘을 받아 2개 이상의 부분으로 분리되는 것을 파괴라고 하고, 파괴는 균열이 발생하여 전파되어 감으로써 발생한다. 파괴의 종류에는 파괴가 일어날 때까지 발생한 소성변형의 양에 따라 연성파괴와 취성파괴로 구분한다. 연성파괴란 소성변형이 일어난 후 파괴되는 것을 말하며, 파괴되는데 많은 변형(strain) 에너지가 필요하다. 취성 파괴란 파괴가 발생 할 때까지의 소성 변형량이 적은 파괴로서, 파괴응력은 상당히 크지만, 파괴변형률이 낮아 취성파괴가 일어나는 데 필요한 변형에너지는 작다. 이때 연성파괴와 취성파괴를 구분하는 소성 변형량의 명확한 경계는 없고 상대적인 양으로 구분한다. 취성파괴의 경향은 온도가 낮을수록, 변형속도가 증가할수록, 노치에 의

하여 3축 응력 상태가 되면 그 경향은 증가한다. 또한 일반적으로 전단파괴는 슬립면상에서 슬립의 결과로 다시 말하면 전단응력에 의해서 일어나는 반면에, 벽개파괴는 결정벽개면에 수직으로 작용하는 인장 응력에 의하여 일어난다. 전단에 의하여 파괴된 파면은 저배율에서는 회색으로 보이고 섬유상인 반면에, 벽개파면은 평활하므로 광택이 나거나 입상으로 보인다[13].

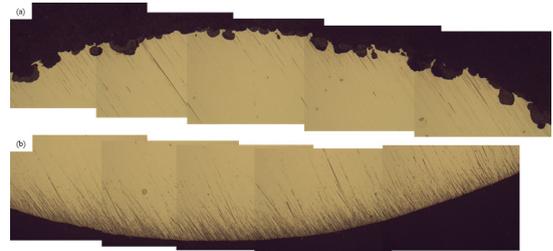


Fig. 7. Surface shape of base material part (S3): (a) surface damaged part, (b) surface undamaged part

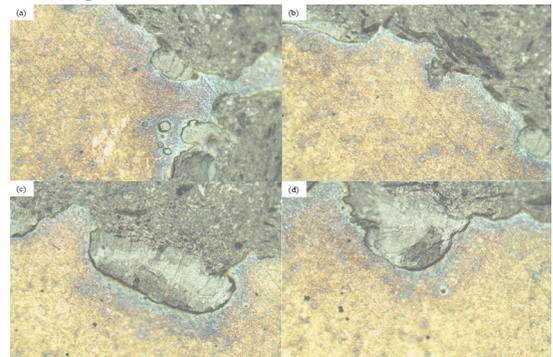


Fig. 8. Optical micrograph of the surface damaged part of S1 (200X)

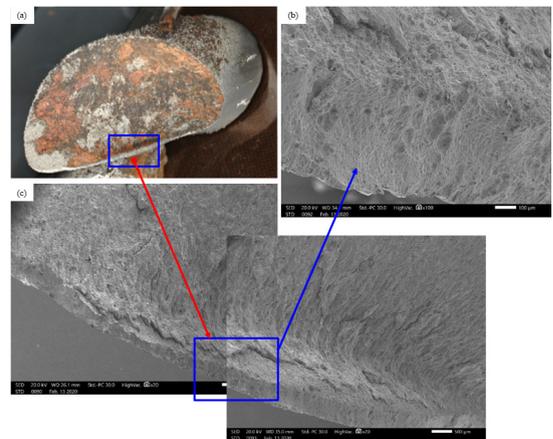


Fig. 9. SEM fractographs of S1

실제 파면은 섬유상과 입상이 혼합된 경우가 많다. 파괴가 결정립계를 따라서 일어났는가에 따라 파괴형태를 구분하기도 하는데 파괴가 결정립계를 통하여 일어난 것을 입내파괴(transgranular)라 하고, 파괴가 결정립계를 따라 일어나는 것을 입계파괴(intergranular)라 한다. 입계파괴는 금속이 고온에서 장시간 하중을 받거나 상온에서 부식조건하에서 응력을 받을 때 주로 일어난다. 그뿐만 아니라 결정립계에 편석이 존재하거나, 취약한 성분이 필름 형태로 입계에 존재할 때도 입계파괴가 일어난다.

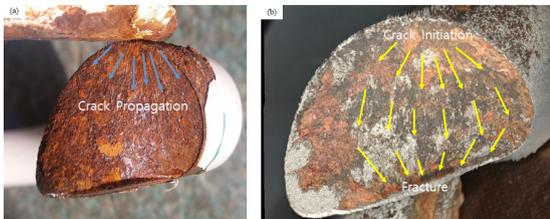


Fig. 10. Macroscopic picture of damaged part of S1

그림과 같이 스프링 SEM 파면에서도 입계파괴 흔적이 관찰 되는데 잠수함 운용 중 탈출트렁크 상부해치의 도막이 벗겨지고 해수 분위기에 모재가 노출되어 공기와 Cl⁻ 의한 전기화학적 분위기가 형성되어 심각한 부식 및 파손이 초래된 것으로 판단된다. Fig. 10에서 보듯이 부식된 스프링의 거시적인 사진에서 Radial pattern이 관찰되며 이는 앞서 설명하였듯이 파괴의 시작점에서 화살표 방향으로 균열이 진전 되어 최종적으로 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

2.3 탈출 트렁크 스프링 개선

앞서 설명하였듯이 탈출 트렁크는 항상 비상시를 대비하여 유지관리가 되어야 함으로 탈출설계 개념에서 언급하였듯이 0.1초, 1초가 중요하다. 즉 스프링의 파손으로 트렁크 해치 여단음에서 제한사항이 발생하면 승조원의 안전에 미칠 영향은 매우 크기 때문에 이러한 점은 반드시 개선이 되어야 한다.

파괴의 원인에서 규명 하였듯이 파괴의 직접적인 원인은 스프링 끝단부와 2번째 스프링 몸체와의 접촉에 의한 표면 도막 파괴 및 염수(Cl⁻) 분위기에 노출된 모재의 부식이 집중되어 설계기준치 보다 더 낮은 하중에 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

체계개발을 위한 탐색개발 과정에서 탈출 트렁크에 대한 설계기준이 제시 되었기에 이를 벗어나지 않는 범위 내에서 개선 하고자 하였다. Fig. 11과 같이 설계 측면에

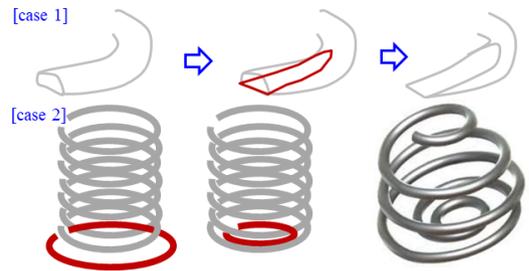


Fig. 11. Spring design plan

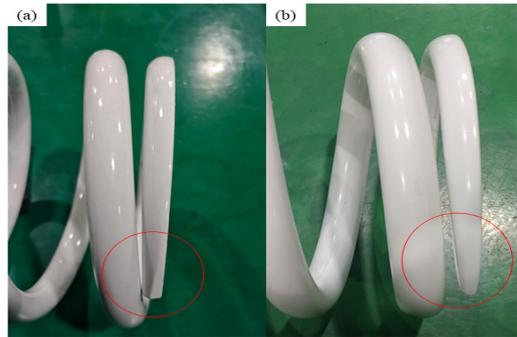


Fig. 12. Escape trunk spring: (a) before the end improvement (powder coating), (b) after the end improvement (nylon coating)

서 두 가지 방법을 고려 할 수 있다. Case 1은 스프링 끝단부 Smooth 가공을 통해 2번째 몸체와의 접촉면을 극대화 하는 것이며, Case 2는 마지막 스프링 반경을 다르게 제작하여 끝단부와 접촉이 되지 않도록 제작하는 것이다. 하지만 두 가지 방법 중에서는 스프링 상수 등 기존 설계 측면을 벗어나지 않는 방안은 Case 1로 선택 하였다. Fig. 12는 스프링 끝단부 개선전과 개선후 사진을 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 기존에는 끝단부가 2번째 스프링 몸체와 일부 접촉이 되어 있어 스프링 강성에 의한 해치 여단음시 접촉하여 도막이 손상될 확률이 있지만 개선 후에는 끝단부를 Smooth하게 가공하여 일부 접촉 부위도 줄이고 해치 여단음 시 2번째 스프링 몸체 전체와 접촉하여 도막 손상을 최대로 줄일 수 있도록 설계 하였다.

또한, 부식방지 목적으로 한 분체 도장(Powder Coating)에서 나일론 도장(Nylon Coating)으로 표면처리도 방안도 개선하였다. 기존 분체 도장에 비해 나일론 도장은 내마모성 및 내화학성이 우수하며 표면 마찰이 적으며 특히 해수(내부식성)에 강하다는 장점이 있다. 즉 해수 분위기에서 사용되는 탈출 트렁크 해치 스프링에 적합한 설계라고 판단할 수 있다.

최종적으로 실제 잠수함 탈출 트렁크 해치에 새로 개선한 스프링을 적용하여 해치 개폐시의 개선 효과를 확인 하였을 때에도 기존에 비해 스프링 끝단부의 도막 벗겨짐 현상은 현저히 개선 된 것으로 확인 할 수 있었다. 즉 특수임무를 위한 잠수함 건조 중 발생한 사소한 문제에도 운용적인 측면 및 기술적인 검토를 통한 신뢰성이 향상된 개선품 적용으로 승조원의 안전에 더욱 기여 할 수 있었다.

3. 결론

본 연구는 잠수함 건조 중에 발생한 탈출 트렁크 해치 스프링 부식 파괴에 대한 미세조직을 분석을 통한 원인을 규명하고 개선방안을 도출한 결론은 아래와 같다.

1. 탈출 트렁크 해치 스프링 부식 파괴는 화학조성 및 경도 확인 결과 모재의 건전성은 양호한 것으로 확인된다.
2. 스프링 부식파괴 OM 및 SEM을 이용한 파면부 확인 결과 심한 산화현상이 관찰 되었고 스프링 표면부 도막파괴로 인한 모재부 노출로 해수분위기 하에서 급격한 부식으로 모재가 파손된 것을 확인 할 수 있었다.
3. 스프링을 개선하기 위해 설계측면에서는 끝단부를 Smooth 처리하여 2번째 스프링 몸체와의 접촉면을 최대화 하였고, 표면처리는 분체도장에서 내마모성 및 내부식성이 우수한 나일론도장으로 변경하여 개선품을 제작하여 실제 탈출 트렁크 해치에 적용하여 사용하였을 때 개선의 효과를 확인 할 수 있었다.

앞서 서론에서 설명하였듯이 잠수함에서 비상시 탈출 할 수 있는 방법은 탈출 트렁크 해치를 통해서 밖으로 나가는 방법뿐이 없으며, 승조원의 안전 및 운용성을 위해서는 항상 유지관리가 되어야 한다. 이 연구를 통해 향후 장비 가동률 상승 및 운용 신뢰성 확보로 군 전투력이 향상될 것으로 예상되며, 유사함정의 품질문제 검토 시 탈출 트렁크 해치 신뢰성 확보를 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. S. Moon, *Strategic Utilization of Submarines and countermeasures Against North Korea Threats*, Ph.D dissertation, Kyonggi University, Kyonggi, Korea, pp.1-5, 2019.
- [2] Naval & Special Ship Design Team, Diving Sys. Design Report, Design Review Report, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co.,LTD, Korea, 2009 (in Korea), pp.18.
- [3] R. B. Na, J. H. Seo and B. H. Kim, "A study for increasing the safety of gun firing system of patrol killer guided missile from failure mode analysis", *Journal of the KIMST*, Vol.20, No.2, pp.159-169, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.2.159>
- [4] H. S. Chang, K. W. Lee, Y. H. Choi, D. S. Seo, "Reliability analysis and its application based on quality information of submarine installed equipment during building stage", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.41, No.9 pp.934-942, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2017.41.9.934>
- [5] S. C. Shin, J. W. Park, J. C. Lee, "An SE-Based System Architecture Process for Submarine's Basic Design", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.3 pp.91-99, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.3.91>
- [6] S. U. Jung, H. G. Shim, M. J. Choi, "Measures for Improvement of RAM Target Value Setting Methods for Submarine Weapon Systems", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.4 pp.419-427, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.419>
- [7] K. B. Lee and J. H. Kim, "Design of leaf spring with high fatigue life applied to horizontal linear vibrating actuator", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.12 pp.5684-5688, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.5684>
- [8] D. J. Lee, G. G. Kim and S. B. Shin, "Behavior of Global Bending Distortion of Hatch-cover in Container Carrier during Fabrication Process", *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, Vol.28, No.4 pp.41-48, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2010.28.4.041>
- [9] S. B. Shin, D. J. Lee and J. S. Lee, "A Study on the Predicting Transverse Residual Stress at the Ultra Thick FCA Butt Weldment of Hatch Coaming in a Large Container Vessel", *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, Vol.28, No.4 pp.33-40, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2010.28.4.033>
- [10] Y. C. Byun and E. S. Kang, "Study on the Disturbance Applied to Launcher Hatch by Ship Motions", *Journal of Institute of control, robotics and systems*, Vol.19, No.12 pp.1111-1118, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.13.1907>
- [11] S. H. Oh and B. L. Choi, "Prediction of Spring Rate and Initial Failure Load due to Material Properties of Composite Leaf Spring", *Transactions of the Korean*

[1] K. S. Moon, *Strategic Utilization of Submarines and*

Society of Mechanical Engineers, Vol.38, No.12 pp.1345-1350, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.12.1345>

- [12] N. G. Jeong, "A study on the behavior of the piston with orifice hole in the cylinder of a gas spring", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.12, pp.125-130, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.12.125>
- [13] B. H. Kim, *Microstructure and Their Properties of Heat Resistant Mg Alloys by Squeeze Casting*, Ph.D dissertation, Pusan National University, Busan, Korea, pp 50~54, 2012.

이 영 석(Young-Suk Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 조선해양공학부 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 2019년 7월 : 삼성중공업 재직
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

기계/재료, 국방/과학

최 우 석(Woo-Suk Choi)

[정회원]



- 2007년 2월 : 부산대학교 재료공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 부산대학교 재료공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 2월 : 현대제철 연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

기계/재료, 국방/과학

김 병 호(Byeong-Ho Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 부산대학교 재료공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 부산대학교 재료공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 재료공학과 (공학박사)

• 2012년 3월 ~ 2012년 7월 : 부산대학교 조선해양플랜트 글로벌핵심연구센터 전임연구원

• 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질, 기계/재료, 함정

윤 지 수(Ji-Soo Yun)

[정회원]



- 1993년 2월 : 국립경상대학교 물리학과 (이학사)
- 2015년 2월 : 창원대학교 재료공학과 (공학석사)
- 1996년 5월 ~ 2017년 8월 : 해군잠수함 품질관리
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

선각/재료, 국방/과학