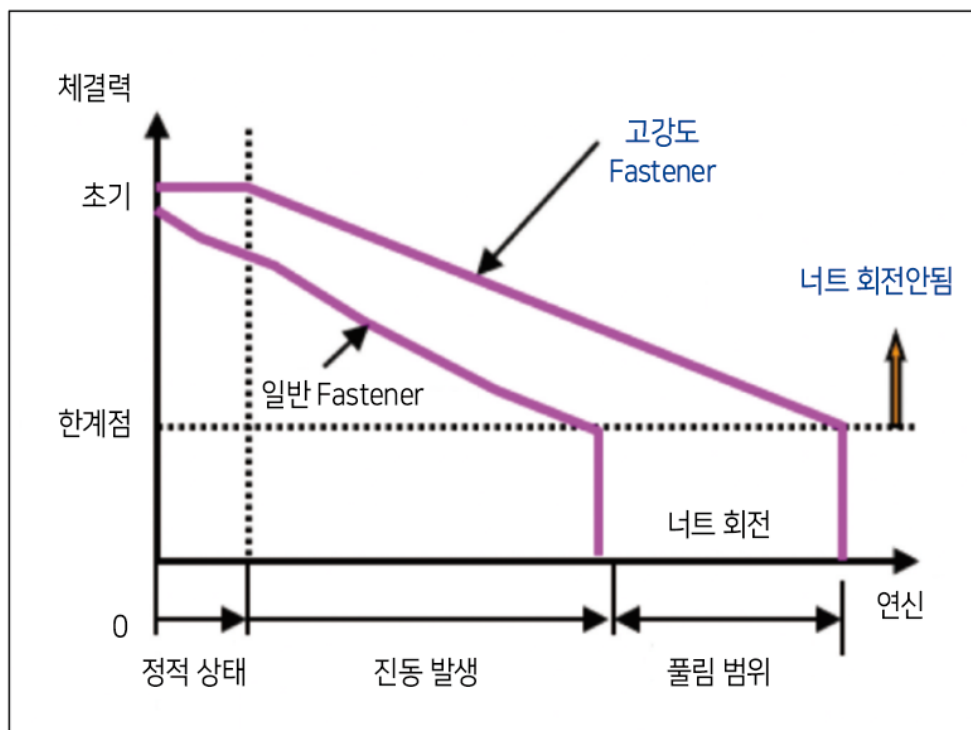


기계체결류(화스너)의 진동 풀림방지 솔루션

기계 산업의 고도화에 따라 기계 구조물에 적용되는 각종 체결요소(화스너)에는 보다 심한 진동이 발생하는 경우가 많아지고 이로 인해 체결요소에 요구되는 체결력은 높아지게 된다. 이러한 이유로 고강도 볼트에 대한 수요는 점점 높아지고 있는 추세이다. 현재 기계산업에서는 고강도라고 하면 10.9등급(인장강도 1000MPa, 항복강도 900MPa) 이상으로 12.9등급까지가 일반적으로 적용되고 있다. 이렇게 볼트의 강도를 높이는 것에는 기술력, 경제성 등의 복합적인 이유로 한계가 있기 때문에 기계 체결요소에는 다양한 진동 풀림방지 솔루션이 개발되어 적용되고 있다.

진동 풀림방지 솔루션에 대해 고찰하기 전에 우선 진동 하에서 볼트가 풀리는 과정에 대해 알아보자. 진동이 심해지면 볼트와 모재 접촉면에 미세한 떨림이 발생하고 풀림 억제력인 정지마찰력이 운동마찰력으로 전환되면 체결부위는 바로 풀리게 된다. 체결시 발생하는 마찰열로 인한 마찰계수의 저하도 풀림에 기여한다. 그래서 볼트의 마찰계수는 낮게 관리되는 것이 좋다.



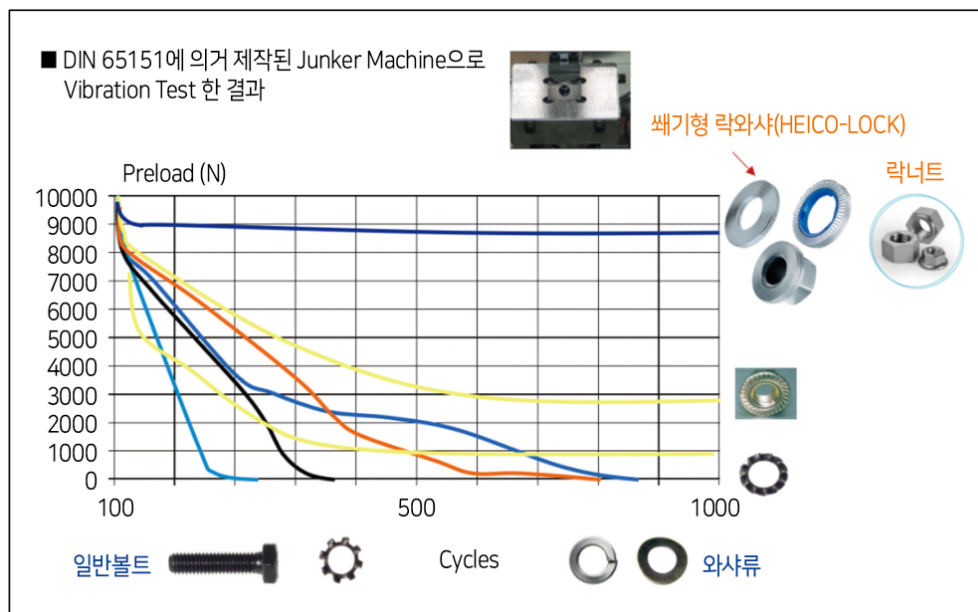
<그림1> 진동 풀림과정에서의 체결력 변화

이러한 진동 풀림 과정에서의 체결력 변화를 살펴보면 <그림1> 과 같은데 고강도 볼트일수록 초기 체결력이 높아 진동 발생 구간 에서의 미세한 떨림으로 완전히 풀리기까지 시간이 많이 걸림을 확인할 수 있다. 그래서, 일차적인 풀림 방지로는 설계 시 고강도 볼트를 적용하는 것이다. 그러나 위에서 언급하였듯이 볼트강도를 무조건 높게 설계할 수는 없기 때문에 다양한 풀림방지 솔루션중 적절한 방법을 선택하여 적용하여 기계 체결부의 신뢰성을 높일 필요가 있는 것이다.

구분	형식	형상	원리	장점/단점
ALL-METAL TYPE	일반와샤		접촉 면적을 넓혀 마찰면적을 늘림.	가장 초보적인 풀림방지 형태. 풀림방지 기능 없음. 가장 대중적이고 가격이 싸다.
			내측 key는 홈 삽입. 외측 이빨은 nut 삽입 됨.	Lock nut 와 set로 주로 사용. 가격은 저렴함. 작업성 저하.
			접촉 면적 외 텐션을 주어 진동에 저항.	풀림방지 효과 낮음. 오래 사용 시 스프링 기능 저하. 쉽게 구할 수 있다.
			마찰면적 (접촉면적)을 넓히고 텐션을 주어 진동에 저항.	풀림방지 효과 낮음. 대중적.
	NUT 일체형		나사 Head부의 마찰력을 높임으로 풀림 방지 기능을 함.	모재 손상, 경도가 낮은 모재에 사용. 풀림기능 낮음. 대중성, 작업성 좋음.
			너트에 LOCK 와샤 형상을 포함한 제품.	모재 손상, 고가. 작업성 저하. 많은 부품수량으로 현장 관리 어려움. 풀림방지 기능 높음.
	Look Washer		나사산의 각도와 LOCK 와샤의 각도를 다르게 해서 풀림을 방지함.	풀림방지력 매우 높음. 고가. 표준품, 브랜드 제품으로 대중성

<표1> 풀림방지용 와셔 및 너트

진동 풀림방지 솔루션은 크게 두가지로 분류되는데 풀림방지 기능이 있는 와셔나 너트를 적용하는 것과 볼트 자체에 풀림방지 기능을 부여하는 것이 그것이다. <표1>은 풀림방지용 와셔 및 너트를 정리한 것이다. 여기서 조금 놀라운 사실은 일반적인 풀림방 지용으로 가장 많이 사용되는 평와셔 및 스프링와셔의 경우 풀림 방지 기능을 거의 하지 못한다는 것이다. (아래 그림2 진동풀림 테스트 결과 참조)



<그림2> 진동 풀림방지 각 솔루션에 대한 진동 테스트 결과

일반와셔 타입의 경우는 모재와의 접촉면적을 넓혀 풀림방지 기능을 부여한 것이나 효과가 낮아 심한 진동에서는 기능을 유지 하지 못한다. 너트와 락와셔를 일체형으로 만든 제품의 경우 풀림 방지 기능은 높으나 고가이며 대중성이 떨어져 수급이 문제 등이 있다. 빼기형 락와셔의 경우는 풀림방지 기능이 탁월하며 품질이 입증된 브랜드 제품이 있어 수급이 용이하고 기존 설계에 그대로 적용가능하며 작업성도 우수하고 반복사용도 가능하여 극심한 진동 하의 기계체결류 적용에 많이 사용되고 있다. 재질적으로도 일반 탄소강, 스테인리스강 및 내화학성(내산성)을 갖춘 하스텔로이 재질로도 공급되고 있어 반도체 산업에 널리 적용되고 있다.

구분	형식	형상	원리	장점/단점
CHEMICAL TYPE	LOCTITE		활성 금속과 접촉하여 열경화성 수지로 변형 틈새를 밀봉함.	나사 소재나 재질에 상관 없이 사용가능 반복사용부적합.
	삼입형 (나일론)		파우더 방식.	나사 소재나 재질에 상관 없이 사용가능. 사용조건 별로 여러 종류가 있음. 반복사용 부적합.
ALL METAL TYPE	FLANGE BOLT		SEMS BOLT 대응.	작업성 간소화로 좋음. SEMS BOLT 보다 풀림방지력 높음.
	SEMS BOLT		평와샤 스프링와샤 효과.	작업성 좋음, 플랜지형 대비 비싸다. 스프링와샤와 같으나 공정상 관리를 편리하게 일체형으로 제작한 것.
	TAPTITE		모재에 TAP을 생성하면서 체결.	TAP 공정 불필요 --> 전조 탭 형성 (작업공정 모재와의 접촉성이 좋아서 풀림방지기능 탁월함.) 가격 저렴.
	파워락		암나사를 약간 파고들어감. 나사의 스프링기능을 활용하여모재에 접촉.	풀림방지 기능 매우 높음. 가격 저렴. 조정나사로 사용가능.

<표2> 풀림방지용 볼트

<표2>는 풀림방지용 볼트를 정리한 것이다. 크게 케미칼 타입과 메탈 타입으로 나눌 수 있는데 케미칼 타입은 볼트의 나사산에 나일론 패치와 같은 불활성 접착제를 도포한 것과 에폭시나 아크릴과 같은 반응성 접착제를 도포한 것이 있다. 메탈 타입에는 플랜지 볼트나 샘스볼트와 같은 일반 볼트 타입과 탭타이트, 파워락 같은 생산성 향상 및 풀림방지를 위한 특수 나사산 타입이 있다.

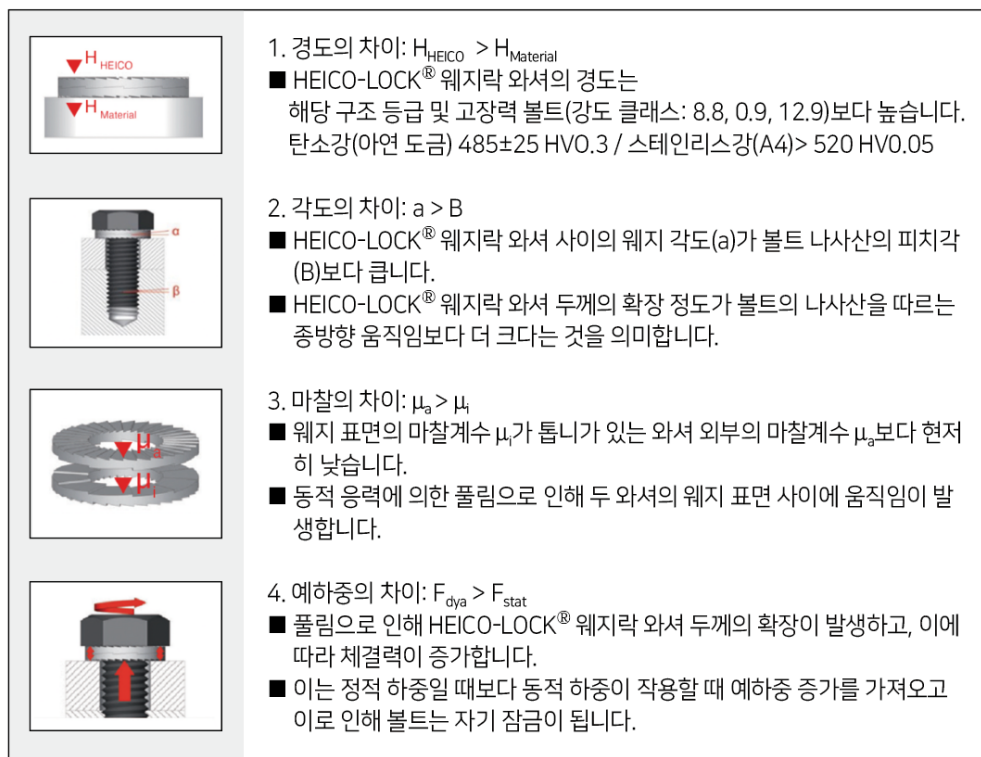
각 종류별 형상, 원리, 장단점 등은 표에 자세히 설명되어져 있다.

구분	형식	종류	설계 변경 필요성 (유,무)	작업성 (상,중, 하)	반복사용 여부 (가능, 불가능)	폴림 방지 성능 (최상,상, 중,하)	내열성 (상,중, 하)	가격 (최상, 상, 중, 하)	비고
CHEMICAL TYPE	삽입형	너트	무	상	불가능	중	하	중	
	패치형	볼트	무	상	가능 (횟수제한)	중	하	중	내열성 높은 제품도 있음
		너트	무	상	가능 (횟수제한)	중	하	중	볼트보다 효과 낮음
ALL METAL TYPE	나사 변형형	너트	무	상	가능 (횟수제한)	중	상	중	
	고정형	너트	유	하	가능	최상	상	중	작업의 어려움
	삽입형	너트	무	상	가능 (횟수제한)	중	중	중	
	일반와셔	와셔	유	하	가능	하	상	하	폴림 방지 기능이 거 의 없음(평와셔, 스프링와셔, 코니컬와셔)
	너트 일체형	와셔	유	하	가능	최상	상	상	
	LOCK WASHER	와셔	무	상	가능	최상	상	상	모재의 경도가 와셔보다 낮아야함
	FLANGE BOLT	볼트	유	상	가능	중	상	중	설계 간소화
	SEMS BOLT	볼트	무	중	가능 (횟수제한)	하	상	중	스프링 와셔와 동일한 효과
	TAPTITE 2000	볼트	유	상	가능	중	상	하	설계 간소화
	POWER LOK	볼트	무	상	가능	최상	상	하	설계 변경 불필요

<표3> 진동 폴림방지 솔루션의 종합적인 비교

<표3>은 폴림방지용 솔루션을 종합적으로 비교 정리한 것이 다. 설계변경의 유무, 작업성, 반복사용 가능여부, 폴림방지 성능 (최상/상/중/하), 가격 등을 각 타입별로 정리한 것으로 진동이 심한 기계구조물 설계 시 참조하기에 좋은 자료이다. 기계 제조업 에서 설계, 기술, 품질 관련 종사자들에게 상당한 도움이 되는 자료라고 생각한다.

<그림2>는 진동 폴림방지 각 솔루션에 대한 DIN65151에 의거해 진동 실질적인 테스트를 한 결과를 나타낸 것으로 Y축은 예하중 즉 체결력이고 X축은 Junker Machine으로 진동 부여시 체결 력이 손상되어 완전히 풀리기 까지의 진동 사이클을 나타낸다. 일반 볼트나 평와셔, 스프링와셔, 코니컬 와셔와 같은 일반 와셔는 폴림방지 기능이 거의 없음을 확인할 수 있다. 썬기형 락와셔(여 기서는 HEICO-LOCK 브랜드)와 특수 나사산 타입의 락너트(여 기서는 Bumax Lock 브랜드)는 심한 진동에서도 체결력의 손실이 거의 없음을 보여주고 있다.



<그림3> 썬기형 락와셔(HEICO-LOCK)의 풀림방지 기능 원리

썬기형 락와셔(HEICO-LOCK)에 대해 좀 더 살펴보면 풀림방지 기능의 원리를 <그림3>에 자세하게 나타내었다. 경도, 각도, 마찰 및 예하중의 차이로 진동과 같은 동적 하중 작용 시 체결력이 증가하여 자기잠금(Self-locking)이 되는 원리이다.

이러한 썬기형 락와셔(HEICO-LOCK)는 최상의 풀림방지 기능에 더해 재사용이 가능하고 설치 및 제거가 용이(와셔 한 쌍이 조립된 상태로 제공)하며 일반 표준(Metric 및 Inch) 사이 즈(M3~M76, 1/4"~3")에 대응하며 탄소강, 스테인리스강에 더해 내식성 지표인 PRE*가 42이상으로 강력한 내식성을 지닌 Super Austenite재질(254 SMO, EN1.4547), 내화 학성(염산, 황산) 재질인 INCONEL 합금 등의 특수 재질로도 공급되기 때문에 해양, 에너지, 반도체, 화학산업 등의 특수 산업에 적용이 가능하다는 것이 장점이다.

이상으로 기계 체결류(화스너)의 진동 풀림방지 솔루션에 대하여 상세히 살펴보았다. 이 기사가 극심한 진동 하에서 작동하는 기계부품들의 성능 및 품질 향상에 도움이 되길 기대해본다.

자료제공: 뷔르트인더스트리코리아(www.wuerth-product.co.kr)

기자 : 모션컨트롤
 날짜 : 2024-03-01