

테이퍼 그리드 커플링의 신뢰성 평가에 관한 연구*

정 동 수[†]

한국기계연구원 신뢰성평가센터

Study on Reliability Evaluation for a Taper Grid Coupling^{*}

Dong Soo Jung[†]

Reliability Assessment Center, Korea Institute of Machinery & Materials

Purpose: This paper evaluates the reliability of tapered grid couplings and presents test results through performance and life tests.

Methods: The performance and life test method were presented by analyzing the failure modes for the tapered grid coupling. Zero failure test time was calculated to evaluate the reliability of tapered grid couplings and the test was performed under accelerated conditions. The nondestructive test and wear analysis using weighing were also carried out to check the failure modes of the field conditions.

Conclusion: This study can be provided to improve the product reliability through failure analysis of a tapered grid coupling. The performance test results of before and after the accelerated life test were presented to confirm the improved reliability of the tapered grid coupling.

Keywords: Tapered grid coupling, Reliability, Acceleration Test, Qualification Life

1. 서론

커플링은 동력을 연결하는 대표적인 동력전달 요소 부품으로 원동축과 종동축을 연결하여 동력을 전달하는 기능을 가짐과 동시에 과부하가 전달될 때 기계장치를 보호하는 역할을 한다[1]. 동력전달장치에는 대표적으로 기계식과 유체식이 있는데 기계식 동력 전달장치의 종류중 하나인 테이퍼 그리드 커플링은 허브, 그리드, 셸, 커버 등으로 구성되며 고속·고토크에서 동력을 전달하는 커플링의 한 종류로써 허브의 치형이 테이퍼 형태의 곡면을 가짐으로써 힘의 작용

점이 치의 곡면 안에서 이동되므로 진동과 충격부하를 감소시켜주는 특징을 가진다. 또한, 그리드의 탄성 작용으로 정회전 혹은 역회전시 발생하는 충격하중과 축 오차, 평행오차, 각도오차 등의 오정렬 상태에서 발생하는 비틀림 등에 대한 유연성을 가지며 이를 통해 진동과 충격부하를 감소시키는 역할을 한다[2].

이러한 특성을 가지는 테이퍼 그리드 커플링에 대한 시험방법이나 판정기준이 없던 기존에는 해외 선진사 제품과의 기술격차를 확인할 수 없었고 국내에서 시험을 수행하기조차 어려운 실정이다 이러한 국내 중소기업의 환경을 고려하고 현실적으로 제품의

* 본 논문은 산업통상자원부 신뢰성기술확산사업으로부터 연구비를 지원받아 수행된 연구임

† 교신저자 jds667@kimm.re.kr

2017년 10월 16일 접수; 2017년 11월 6일 수정본 접수; 2017년 11월 17일 게재 확정.

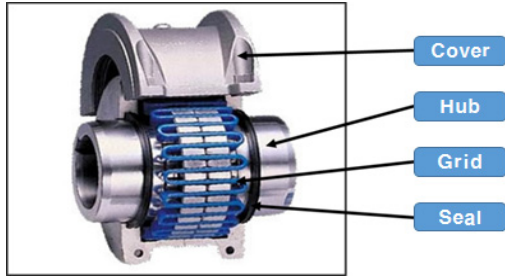


Fig. 1 The structure of taper grid coupling

생산, 판매에만 집중하고 있는 업계의 현실로 볼 때, 신뢰성 분석 및 시험을 위한 고급 인력 및 장비 확보를 위해서는 많은 간접비용이 투자되어야 하므로 중소기업이 독자적으로 신뢰성 확보를 추진하기가 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내에서 생산되는 동력전달 제품의 신뢰성 확보 문제가 필수적이며, 신뢰성 확보를 통해 해외 선진사 제품과의 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 노력을 바탕으로 추후 유사한 제품을 개발할 때에도 기 확보된 신뢰성 평가기술을 적용하여 제품에 대한 수명을 향상시키고 생산원가의 절감과 개발시간의 단축을 기대 할 수 있다.

본 연구에서는 테이퍼 그리드 커플링에 대하여 고장 모드 분석을 통한 주 고장 모드를 도출하고 성능 및 수명 시험방법을 제시하여 시험결과를 분석하고 설계개선을 통한 수명시험 수행을 통해 신뢰성 향상에

필요한 시험 데이터를 제시하고자 하며, 필드에서의 고장 원인을 규명하기 위해 수명시험 전·후 비파괴 검사 및 중량측정을 통한 마모 분석을 통해 제품의 신뢰성을 확인하고 결과를 제시하고 분석하고자 한다.

2. 테이퍼 그리드 커플링의 고장분석

2.1 사용조건에서 인가되는 하중유형

동력전달장치인 커플링에는 다양한 방향으로 작용되는 변위유형이 발생 되더라도 동력을 전달할 수 있어야 하는데, 이때 에도 커플링은 전달하고 있는 속도 및 토크를 그대로 전달할 수 있어야 한다. 그리드 커플링의 경우 <Fig. 2>와 같이 축방향(a), 각도 방향(b), 평행 방향(c)으로 변위가 작용하는데 피동축 및 중동축이 연결되는 허브의 치형과 허브 치형에 끼워지는 그리드의 탄성력으로 발생하는 변위를 흡수하면서 동력을 전달하게 된다.

그리드 커플링 중 허브 치형이 테이퍼 모양으로 가공된 테이퍼 그리드 커플링은 실제 사용조건에서 발생될 수 있는 부하 및 충격에 대하여 그리드가 가지고 있는 탄성으로 치형의 형상에 따라 유연하게 복원하며, 고속, 고토크의 동력을 전달하게 되는 구조를 가지는 것이 특징이다. 이러한 부하 및 충격 특성은 <Fig. 3> 및 <Fig. 4>와 같다.

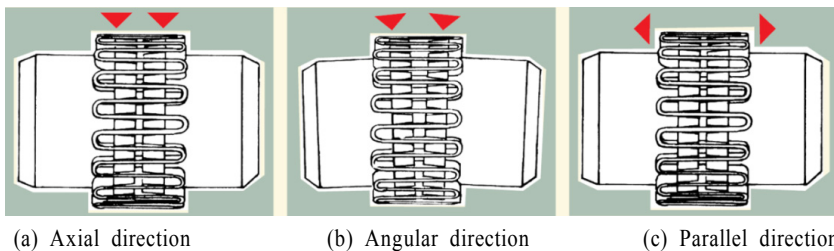


Fig. 2 Accommodation of shaft misalignment

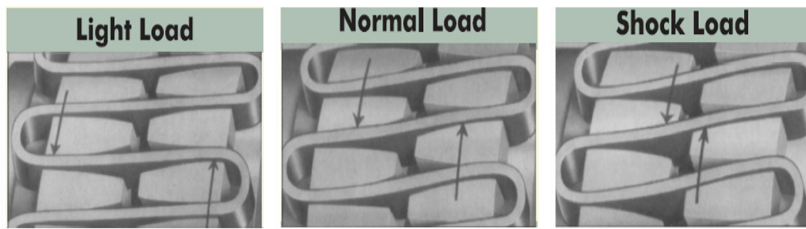


Fig. 3 Effects of impact loads, shock loads & vibration

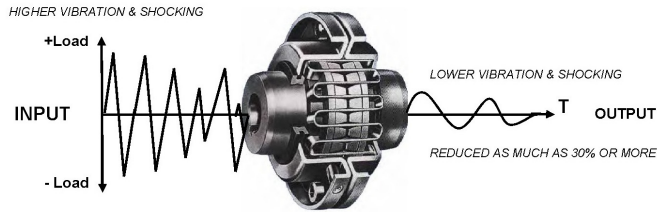


Fig. 4 Damping effect of vibration and impact

2.2 그리드 커플링의 고장 및 파손형태

테이퍼 그리드 커플링이 토크를 전달할 때 두 개의 허브를 연결하는 그리드는 전달되는 부하의 변화에 따라 달라지는 양만큼 구부러져야 한다. 그리드의 허용 굽힘 피로 응력을 초과하는 반복적인 하중 변화가 있는 경우 커플링에 인가되는 피로로 인하여 그리드 및 허브의 파손이 발생한다. 또한, 허브와 그리드가 직접 맞물리는 커플링의 특성상 치형의 가공정밀도가 낮으면 두 부품사이의 마찰을 증가시켜 마모를 유발시키게 된다.

테이퍼 그리드 커플링의 주요 고장으로는 피로 및 굽힘으로 인한 파손, 마모로 인한 고장이 주요 발생 원인이다. 이러한 주기적이고 반복적인 부하 변화는 전달되는 토크의 전체 또는 부분 반전 또는 동일한 부

하 방향 내에서 가변될 수 있다. 또한, 그리드 및 허브의 피로파손은 축의 오정렬 또는 과부하 상태에서의 조합으로 발생되는 결과이다[3].

높은 관성 질량, 충격 및 진동 하중이 발생하게 되면 동력을 전달하는 시스템의 토크 과부하가 커플링에 인가되어 커플링의 수명이 단축된다[4]. 이러한 제품의 파손을 방지하고 수명을 향상시키기 위해서는 토크가 전달되는 허브와 그리드에 대한 설계개선이 필요하다.

고장품에 대한 분석결과 인가되는 과부하는 허브와 그리드에 마찰과 충격을 발생시키며 이에 따라 증가되는 마모량은 제품의 파손을 유발하는 원인중 하나로 분석되었다. <Fig. 5> ~ <Fig. 7>의 사진은 현장 사용 조건에서 반복적인 과부하의 결과에 의해 발생된 그리드 및 허브의 실제 파손 사례이다.

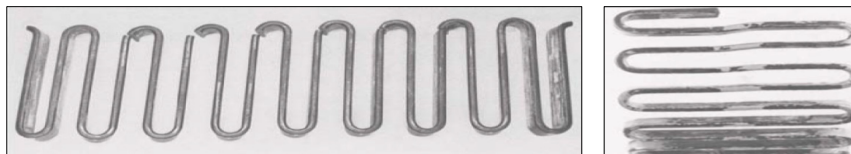


Fig. 5 Grid breakage

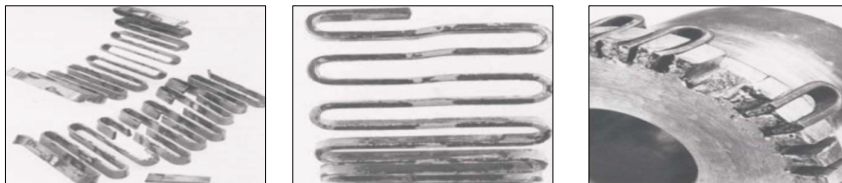


Fig. 6 Hub tooth breakage due to grid failure



Fig. 7 Hub breakage

2.3 고장모드 분석

테이퍼 그리드 커플링에 대한 신뢰성 향상을 위한 성

능 및 수명시험에 앞서, 제품의 고장 모드를 조사하고 주 고장의 원인을 분석한다 이는 제품의 설계, 제작, 조립, 운용 등에서 제품의 불완전한 상태로 인한 잠재적 결함

Table 1 Failure modes and mechanisms analysis

Components	Function	Failure modes	Failure mechanisms	
Grid	Power transmission	destruction	1-1	fatigue
		wear	1-2	over torque fatigue
		crack	1-3	over torque crack by corrosion
	Displacement adjustment	deformation	1-4	defomation by torque
		corrosion	1-5	lack of lubricity
Hub	Power transmission	destruction	2-1	fatigue
		wear	2-2	over torque fatigue
		crack	2-3	over torque crack by corrosion
		deformation	2-4	defomation by torque
		corrosion	2-5	lack of lubricity
Seal	Confidentiality	destruction	3-1	aging
	Leak prevention	wear	3-2	rotation wear by torque
		tear	3-3	assembly badness tearing by impact
Cover	Prevent foreign material from penetrating	crack	4-1	microcracks due to vibration
		destruction	4-2	deformation due to vibration
		corrosion	4-3	high humidity exposure

Table 2 2-Stage quality function deployment

Component	Failure mechanism	Weighting score	Standard test			
			Parallel displacement test	Angle displacement test	Axis displacement test	Life test
Grid	Destruction	27	▲	▲	▲	◎
	Wear	35	◎	●	●	◎
	Crack	26	●	●	◎	◎
	Defomation by torque	17	●	◎	●	◎
	Corrosion	13				●
Hub	Destruction	27	▲	▲	▲	◎
	Wear	31	◎	●	●	◎
	Crack	26	●	●	◎	◎
	Defomation by torque	17	●	◎	●	◎
	Corrosion	13				●
Seal	Destruction	12	▲	▲	▲	◎
	Wear	10	●	●	●	◎
	Tearing	4	●	●	●	●
Cover	Crack	10	▲	▲	▲	◎
	Destruction	6	▲	▲	▲	◎
	Corrosion	8				●
Test effectiveness score and rank			2	4	3	1
			712	648	684	1,334

비고 #1. 평가 척도 : ◎ 가장 중요(5점), ● 중요(3점), ▲ 보통(1점)

#2. 시험 항목별 유효성 점수 = ∑(중요도 점수 × 평가 척도).

을 찾아내기 위하여 구성요소들의 고장 형태와 그 상위 제품에 미치는 영향을 해석하여 설계개선으로 연결시키기 위한 중요한 과정으로써 제품의 수명향상을 위해 개선이 필요한 허브와 그리드의 치폭에 대한 설계개선을 위해서는 반드시 필요한 사전 분석 작업이다

테이퍼 그리드 커플링의 주요 구성품으로는 허브, 그리드, 셸, 커버 등으로 구성되는데 <Table 1>에서와 같이 테이퍼 그리드 커플링의 주요 고장모드는 허브 및 그리드에 반복적으로 작용되는 피로 및 초과된 토크에 의한 마모 및 파손 등이 있으며, <Table 2>는 테이퍼 그리드 커플링에 대하여 구성품의 고장모드와 시험 항목들 간의 관계를 정리한 품질기능 전개 결과의 결과를 보여주고 있다. 품질기능 전개는 시험항목들을 선정하고 각 시험항목들의 중요성을 판단하기 위하여 수행된다. 이러한 과정을 거쳐 고장 메커니즘별 점수집계를 통해 수행할 시험항목의 중요도를 결정하게 된다

3. 시험항목 및 판정기준

3.1 성능시험방법

테이퍼 그리드 커플링의 2단계 품질기능 전개로부터 선정된 시험항목 중 환경시험을 제외한 성능시험 항목 중에서 중요도 점수가 높게 나온 축 변위시험, 각도 변위 시험, 평행 변위 시험, 시험에 대하여 시험방법 및 판정

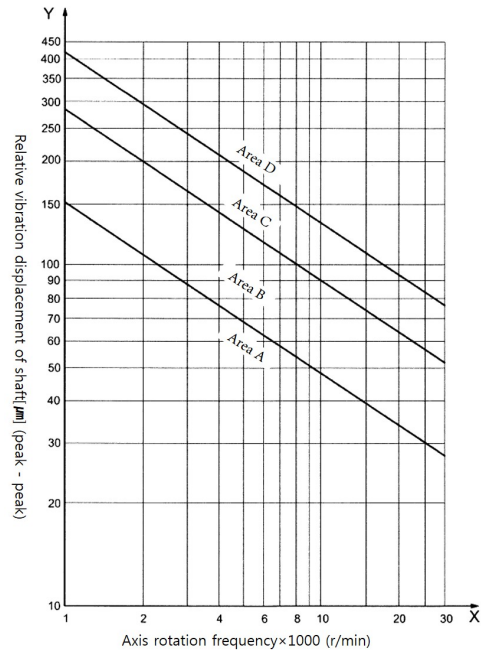


Fig. 8 Coupling vibration class chart

기준을 정립하여 <Table 3>에 정리하였다.

<Table 3>에 제시한 <Fig. 8>의 진동변위 선도에서의 B 영역 이내의 판정기준은 “KS B ISO 7919-3”[5]에 명시된 정상운전 조건에서의 진동크기 평가영역을 참고하여 테이퍼 그리드 커플링에 대한 진동변위 판정기준으로 결정하였다.

Table 3 Performance and life test methods and acceptance criteria

Test Type	Test Method	Acceptance Criteria
Parallel Displacement Test	The test samples are operated for 10 minutes under maximum permissible parallel displacement. The operating conditions for 10 minutes are also maintained 50% of the rated speed in the input and applied the rated torque in the output.	Vibration displacement should be within the B area of <Fig. 8>
Angle Displacement Test	The test samples are operated for 10 minutes under maximum permissible angle displacement. The operating conditions for 10 minutes are also maintained 50% of the rated speed in the input and applied the rated torque in the output.	Vibration displacement should be within the B area of <Fig. 8>
Axis Displacement Test	The test samples are operated for 10 minutes under maximum permissible axis displacement. The operating conditions for 10 minutes are also maintained 50% of the rated speed in the input and applied the rated torque in the output.	Vibration displacement should be within the B area of <Fig. 8>
Life Test	Maintain rated speed and rated torque during life test time.	After the accelerated life test up to 620 hours, the test samples should pass the acceptance criteria of the performance test without a failure.

수명시험을 제외한 3가지 성능시험 항목들은 수명 시험 전에 먼저 수행하여 제품에 대한 성능을 확인하고, 수명시험이 완료된 후에도 실시하여 수명시험 후 제품의 고장유무 및 성능열화를 확인하게 된다. 수명시험 후에도 모든 시험항목들은 각각의 평가기준들을 만족하여야 한다.

3.2 가속 수명시험 시간

3.2.1 무고장 시험시간

국내 산업체를 대상으로 조사한 결과 테이퍼 그리드 커플링의 수명은 현장 사용 조건을 고려하여 신뢰 수준 70%로 B₅ 수명 1.8×10^4 시간(평균 등가 수명 2년)을 보장하는 것으로 하였다. 또한 테이퍼 그리드 커플링의 주고장 모드는 마모로써 “Machinery Failure Analysis and Troubleshooting”[6]에서 언급된 마모(wear)와 등가 되므로 형상 모수(β)가 3.0인 와이블(Weibull) 분포를 따른다. 따라서, 다음의 신뢰성 조건을 식 (1)에 적용하면 무고장 시험시간(t_n)은 약 32,466시간이 된다.

- 수명 분포: 형상모수(β)가 3인 와이블(Weibull) 분포
- 보증 수명: B₅ 수명 1.8×10^4 시간
- 신뢰 수준: 70%
- 시료수: 4개
- 무고장 시험 시간(t_n):

$$t_n = B_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

여기서 t_n : 무고장 시험 시간, B_{100p} : 보증 수명
 CL : 신뢰수준(confidence level), n : 시료수
 p : 불신뢰도(B₅ 수명이면 $p = 0.05$),
 β : 형상 모수

3.2.2 가속 시험시간

무고장으로 산출된 시험시간은 시험시간이 너무 길어서 수명시험으로 채택하기에 비현실적이다. 따라서 식 (2)와 같이 시험조건을 가혹하게 인가함으로써 시험시간을 줄일 수 있다.

테이퍼 그리드 커플링의 주고장 모드인 마모의 가속 수명시험을 위해 가속인자는 토크와 속도로 선정한다

토크 및 속도에 대한 가속지수 m 과 l 은 “Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment”[7]에서 제시된 가속지수를 인용하여 각각 4.69와 1을 적용하였다.

가속모델은 GLL 모형을 선정하며, 사용조건의 토크는 정격 토크의 45%이며, 가속조건의 토크는 정격 토크로 한다. 사용조건의 속도는 정격속도의 80%이며, 가속조건의 속도는 정격속도로 하여 가속수명시험을 실시한다.

$$\begin{aligned} AF &= \left(\frac{T_{test}}{T_{field}} \right)^m \times \left(\frac{\omega_{test}}{\omega_{field}} \right)^l \\ &= \left(\frac{T_{rated}}{0.45 T_{rated}} \right)^m \times \left(\frac{\omega_{rated}}{0.8 \omega_{rated}} \right)^l \\ &= \left(\frac{T_{rated}}{0.45 T_{rated}} \right)^{4.69} \times \left(\frac{\omega_{rated}}{0.8 \omega_{rated}} \right)^1 = 52.89 \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 AF : 가속 계수

T_{test} : 가속 조건의 토크

T_{field} : 사용 조건의 토크

ω_{test} : 가속 조건의 속도,

ω_{field} : 사용 조건의 속도

T_{rated} : 정격 토크, ω_{rated} : 정격 속도

m, l : 가속지수($m = 4.69, l = 1$)

마지막으로, 식 (3)에 의하여 테이퍼 그리드 커플링의 가속 수명시험 시간(t_{na})을 산출하면 약 620시간이 된다.

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{32466.68}{52.89} = 613.85 \approx 620 \text{시간} \quad (3)$$

4. 신뢰성 시험

4.1 시험품 사양

신뢰성 확보를 위한 성능 및 수명시험에 적용한 시험품의 사양은 <Table 4>와 같으며 동력전달장치인 커플링의 특성상 고속/고토크의 동력이 필요로 하기 때문에 보유하고 있는 전기모터의 사양을 고려하여 시험품을 선정하고 시험을 진행하였다

Table 4 Specimen specifications

NO	Division	Specifications
1	Rated speed	3,600r/min
2	Rated torque	624.8N.m
3	Hub assembly gap	3mm
4	Axis Displacement	0.15mm
5	Angle Displacement	0.5 °
6	Parallel Displacement	0.5mm

4.2 시험장비의 구성

테이퍼 그리드 커플링의 성능 및 수명시험을 진행하기 위해 구성된 시험장비 사양은 <Fig. 9> 및 <Table 5>와 같다. 본 시험장비는 현장 작동조건을 최대한 반영하도록 구성하였으며 성능시험 수행을

위해 축변위, 각도변위, 평행변위 시험을 위해 미세 변위를 인가해야 하는데, 이때 시험자가 미세한 변위를 인위적으로 인가하기 어렵기 때문에 베어링 블록에 연결되는 아답터를 별도로 제작하여 성능 시험 진행시 장착할 수 있도록 구성한 것이 특징이다[8].

**Fig. 9** Test equipment for performance and life**Table 5** Test equipment specifications

NO	Division	Specification	Quantity
1	Electric Motor	400HP Dynamometer	2 set
2	Torque sensor	8,500 r/min / 1,130 N.m	2 set
3	Displacement adapter	Axis, Angle, Parallel	1/1/1
4	Controller	Daq, Indicator, ect.	1 set
5	Vibration sensor, Displacement sensor, Amplifier		

4.3 신뢰성 성능 시험결과

4.3.1 수명시험 전 · 후 축변위 시험 진동변위 그래프

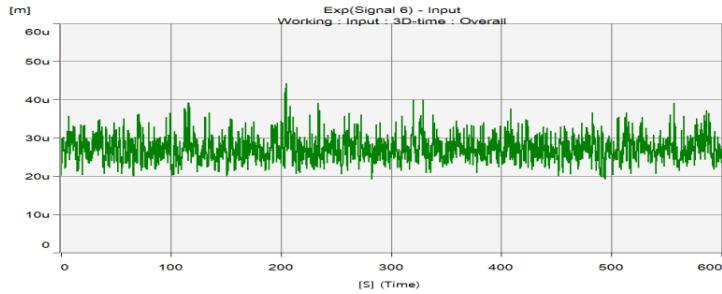


Fig. 10 Vibration displacement graph of axis displacement test(Life time 0%)

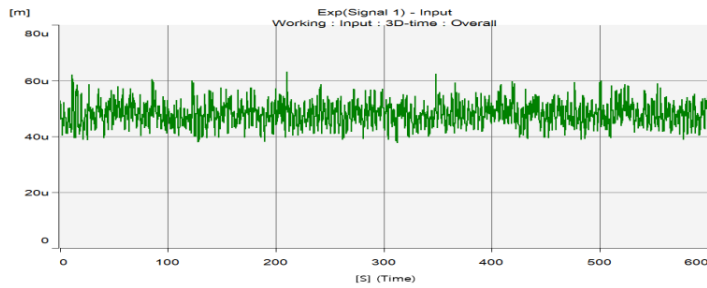


Fig. 11 Vibration displacement graph of axis displacement test(Life time 100%)

4.3.1 수명시험 전 · 후 각도변위 시험 진동변위 그래프

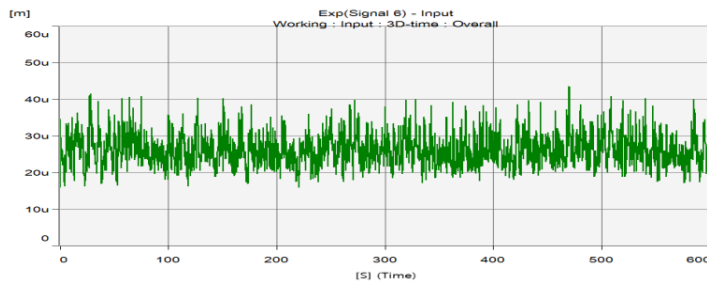


Fig. 12 Vibration displacement graph of angle displacement test(Life time 0%)

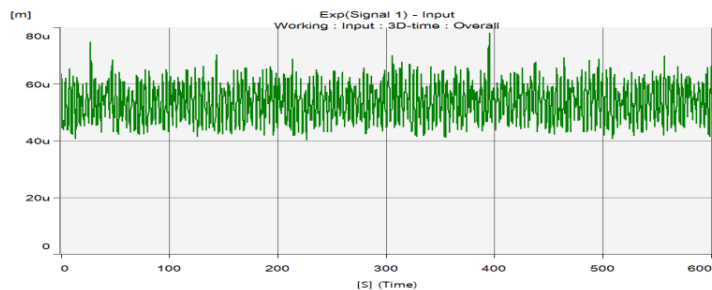


Fig. 13 Vibration displacement graph of angle displacement test(Life time 100%)

4.3.2 수명시험 전 · 후 평행변위 시험 진동변위 그래프

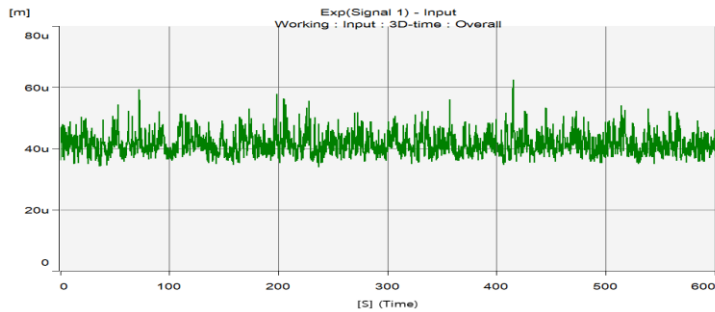


Fig. 14 Vibration displacement graph of parallel displacement test(Life time 0%)

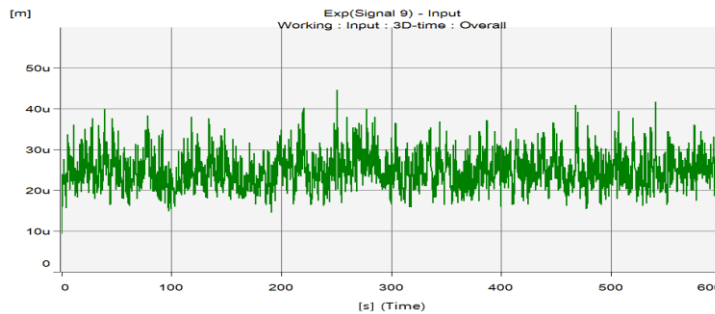


Fig. 15 Vibration displacement graph of parallel displacement test(Life time 100%)

가속 수명시험 조건인 속도 3,600 r/min, 토크 630 N.m의 조건에서 시험품 4개에 대하여 620시간 동안 수명시험을 진행하였으며, 시험품에 대한 성능열화를 확인하기 위하여 수명시험 전 · 후 축 변위, 각도 변위, 평행변위를 인가하여 진동변위를 측정하였다. <Fig. 10>, <Fig. 12>, <Fig. 14>는 수명시험 전 진동변

위 시험 그래프 이고, <Fig. 11>, <Fig. 13>, <Fig. 15>는 수명시험 완료 후 측정된 진동 변위 시험 그래프이다.

이때 각각 측정된 진동변위 데이터에서 진동변위 (peak to peak) 값을 산출하고 <Fig. 8>의 진동변위 선도에 타점한 포인트의 위치가 B 영역 이내이어야 평

Table 6 Test equipment for performance and life test result(μm)

Division		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Life test 0 %	Axis displacement test	25.0	19.2	24.1	23.4
	Angle displacement test	27.7	29.7	33.5	28.8
	Parallel displacement test	28.5	31.1	31.2	34.2
		Acceptance criteria(Area B)			
Life test 100 %	Axis displacement test	25.6	27.2	37.6	33.6
	Angle displacement test	37.7	41.0	36.2	33.7
	Parallel displacement test	31.7	37.1	41.4	35.4
		Acceptance criteria(Area B)			

가기준을 만족하게 되는데 <Table 6>에 정리한 바와 같이 시료 4개 모두 수명시험 전·후 진동변위 측정 결과 B영역 이내임이 확인되어 시험품의 신뢰성이 확보되었음을 확인하였다.

4.4 제품개선을 통한 신뢰성 향상

그리드의 폭과 두께를 변경하게 되면 허브 치와의 접촉점이 변경되며, 이는 접점이 되는 허브 치형 부위의 두께 또한 달라져야 한다. 따라서 허브의 치폭을 그리드 폭과 같이 증가시켜 접점의 두께를 동일하게 하여 제품의 기본 작동 토크를 유지하면서 허브와 그리드의 강성을 증가시켜 수명을 증가 시켰다. <Fig 16>은 설계 변경된 그리드 도면을 나타내었다. 하지만 기어형상의 경우 그 힘은 설계치의3/4(75%)의 효율을 보이는데 여기에 약한 부분이 있다면 그 부분이 먼저 파손 되어 설계값 보다 낮은 하중에서 파손이 발생하게 되어 제품의 신뢰성을 유지하기 힘들어진다

또한, 그리드 커플링의 주고장 모드로 분석된 마모에 대한 대책으로 허브와 그리드의 마모량을 저감시

키기 위해서 가공 정밀도를 향상시키고 맞물림 공차 수준을 높이는 것이 필요한데 이를 위해서는 모재의 안정성, 치형 가공의 정밀도가 선행되어야 하기 때문에 허브 치 절삭용 블레이드 팁의 재질변경 및 가공 정밀도 향상을 위해 가변으로 적정한 절삭속도를 유지하도록 하였으며 <Fig. 17>과 같이 허브 치 가공시 균일도를 향상시켜 치형을 가공함으로써 제품의 신뢰성을 확보하고 및 수명을 확보하였다.

4.5 수명 시험 전 · 후 커플링 허브 X-ray 비파괴 검사

현장사용 조건에서의 고장원인중의 하나인 허브의 크랙 및 치형의 파손에 대한 분석을 위해 수명시험 전·후 커플링 허브에 대한 비파괴 X-ray 비파괴 검사를 진행하였다. 이를 통해 수명시험 완료 후 시험품 4개 모두 허브의 파손이 나타나지 않았음을 확인하였다. <Fig 18>은 수명시험 전 시료 1번 허브에 대한 X-ray 비파괴 검사 사진이고 <Fig. 19>는 수명시험 완료 후 촬영한 X-ray 검사 사진이다.

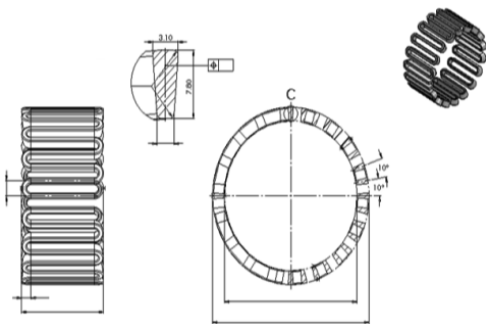


Fig. 16 Grid design change

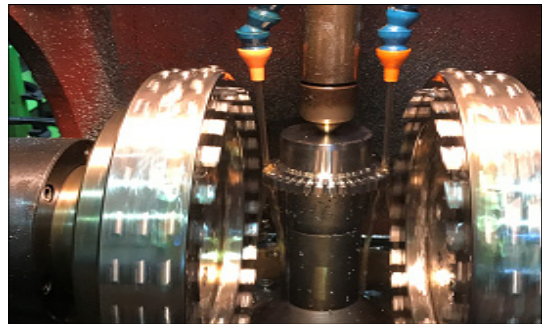


Fig. 17 Improved accuracy of processing of the hub tooth



Fig. 18 Life Test 0% X-ray nondestructive inspection photo of Hub

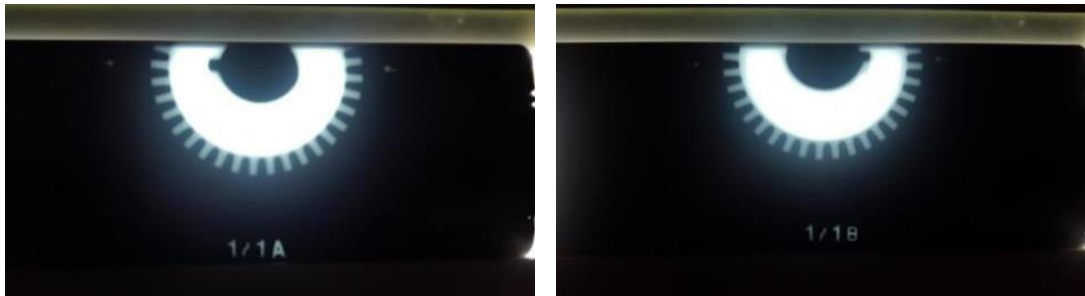


Fig. 19 Life Test 100 % X-ray nondestructive inspection photo of Hub

4.6 허브 및 그리드 중량측정을 통한 마모량 분석

그리드 커플링은 허브치와 그리드의 맞물림에 의해 동력이 전달되는데 제4.4절에서 언급한 바와 같이 치형의 가공정밀도가 낮을 경우 맞물림 공차에 영향을 받게 되어 반복적인 정지 및 회전에 따라 인가되는 속도와 토크에 의해 맞물림 부분의 마찰로 인한 마모가 발생되고 이러한 마모가 제품의 수명에 영향을 미치게 되는데 이

를 확인하기 위하여 마모량을 분석하여 제시하였다 고장모드 분석에서 분석된 그리드 커플링의 주고장 모드인 마모분석을 위하여 커플링 허브 및 그리드에 대한 수명시험 전·후의 중량변화 확인을 위한 측정을 진행하였다. <Fig. 20>은 허브에 대한 중량변화를 그래프로 나타내었으며, 시료 1-1, 시료 1-2와 같이 나눈 이유는 그리드 커플링 1세트를 구성하는 허브가 2개가 한 쌍이기 때문에 각각 나누어 표기하기 위함이다.

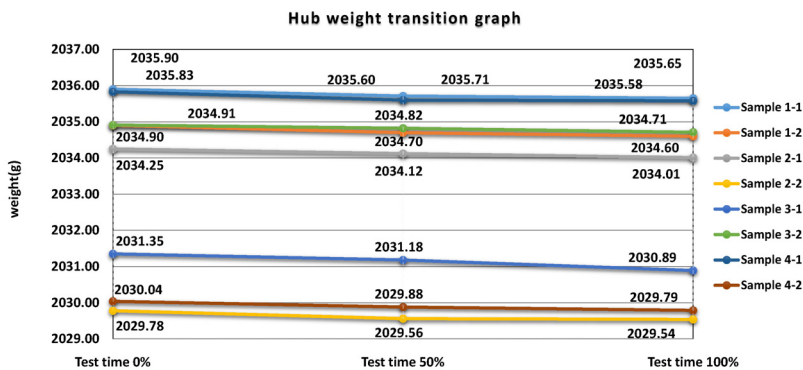


Fig. 20 Hub weight transition graph

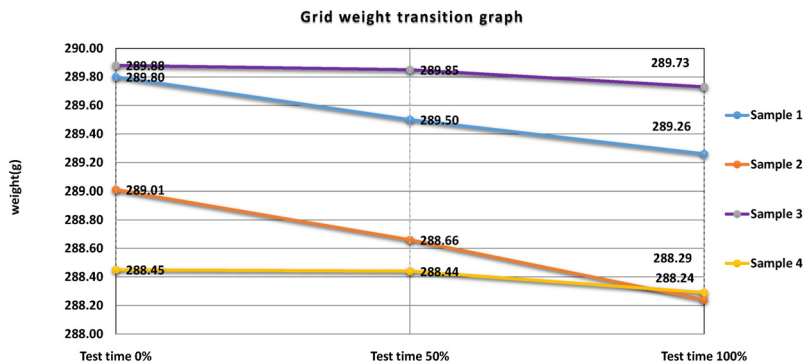


Fig. 21 Grid weight transition graph

아래 그래프에 나타낸 바와 같이 허브의 경우 620 시간 진행 후 측정된 결과 평균 약 0.27g의 중량이 감소되었으며 허브의 마모가 진행되었음을 확인하였다. 또한, 그리드의 마모량 측정 결과는 <Fig. 21>과 같으며 평균 약 0.4g의 중량이 감소되었으며 이를 통해 그리드의 마모가 진행되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 마모는 허브와 그리드의 맞물리는 부분에서 발생하는 것으로써 마모가 발생하는 특정부위는 확인하기 어려우나 추가적인 분석을 통하여 결과를 제품개선에 적용할 예정이다. 또한, 수명시험을 통하여 확인된 허브와 그리드 마모량은 매우 작게 발생하였지만 보다 가혹한 실사용 조건에서는 보다 많은 마모가 발생할 것으로 예측된다.

5. 결론

일반적으로 해외의 유명 커플링 제조 메이커에서는 커플링에 대한 실제 시험데이터 및 시뮬레이션 해석 등을 통해 현장에서 적용하여 사용할 때 기준이 되는 제품의 선적 자료를 제시하고 있으나 국내 제조 메이커에서는 이러한 시험데이터 등이 거의 전무한 실정에서 해외의 자료를 단순히 인용하는 것이 대부분이었다.

본 연구에서는 테이퍼 그리드 커플링에 대한 주요 고장, 품질기능 등의 분석에 의하여 시험평가기준을 개발하고 사용자 요구사항을 반영한 신뢰성 평가를 통하여 제품의 신뢰성을 확보하는 전반적인 방법 및 절차를 제안하였다. 시험평가기준은 시험방법 및 평가기준이 정립된 성능에 관련된 3개의 시험항목과 1개의 수명시험으로 구성되어 있다. 수명시험에서는 신뢰성 목표로부터 산출된 무고장 시험을 수행하기 위한 시간동한 시험하기가 현실적으로 어렵기 때문에 이를 단축시키기 위하여 GLL 모델을 적용하여 시험시간을 620시간으로 단축시켜 성능 및 수명시험을 수행하여 도출된 시험결과를 분석하고 결과를 제시하였다.

그리드의 설계변경을 통해 제품을 개선하였으며 기존의 치형가공시 발생하는 낮은 가공 정밀도를 향상시켜 마모량을 저감시키고 기존 제품대비 수명 확

보가 기대되는 제품에 대한 신뢰성을 확인하고 결과를 제시하였다. 또한, 필드에서의 고장 원인을 규명하기 위해 수명시험 전·후 비파괴 검사 및 중량측정을 수행하여 확보된 데이터를 분석한 결과를 바탕으로 허브와 그리드의 주고장 모드인 마모발생을 확인하였으며, 가속수명시험에 따른 마모량에 대한 시험결과를 제품 생산업체에 제공함으로써 테이퍼 그리드 커플링의 신뢰성 향상을 위한 소재개선 및 제조공정 개선의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

본 연구를 통해 분석된 시험데이터를 활용하여 테이퍼 그리드 커플링을 포함하는 동력전달 요소부품에 대한 개발 및 신뢰성 확보에 필요한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

- [1] Seo, W. S., Kim, S. M., and Kim, J. B. (2013). "A Study on the Torque Transmitting Capability of Disk Coupling by Finite Element Analysis". KSPE, Vol. 30 No. 11, pp. 1171-1177.
- [2] An editorial department (2002). "CHP F.D-FAN grid coupling accident case". KSNVE, pp. 413-415.
- [3] POKRANDT, G. C. (2001). "Couplings · Failure analysis". Rexnord Industries(USA), pp. 1-8.
- [4] Jones, T. L. (2007). "Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment". NSWC-07, pp. 17-18.
- [5] KS B ISO 7919-3 (2009), "Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts-Part 3: Coupled industrial machines"
- [6] Barringer & Associates, Inc. (2010), "Weibull Database".
- [7] Jones, T. L. (2007). "Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment". NSWC-07, pp. 17-18.
- [8] Jung, D. S., Kim, J. C., and Jung, H. Y. (2016). "Study on the test equipment for the tapered grid coupling improve the reliability". Pros. of KSME, p. 100.