

기어장치의 신뢰수명을 고려한 분해 및 조립용이성 평가

(An Estimation of Disassembly and Assembly in Gear Systems with Considering of Reliability Life)

진정선* 김하수* 김종규** 강희용** 양성모**

Abstract

In this paper, systematic approach is studied about assembly and disassembly of parts of the gear system in order to reduce the assembly cost, and to disassemble products easily which is possible to recycle the parts. That is, an estimation of disassembly and assembly with considering of reliability life. In this study, we use symbolic chart method for an economic model for optimal disassembly and assembly.

Keyword : disassembly(분해용이성), assembly(조립용이성), symbolic chart method(원리도화법), gear system(기어장치), reliability life(신뢰수명)

1. 서론

산업화로 인한 안전, 공해 문제에 대한 소비자 보호의 사회적 경향을 배경으로 하여 기업의 제품책임(product liability)에 대한 요구가 더욱 높아지는 추세이다. 이 때문에 필연적으로 제품 신뢰성이나 안전성을 향상시키는 것이 요청된다. 법적 규제도 환경 경영 시스템의 도입과 함께 ISO 14000의 환경 품질 인증을 기업에게 요구하는 단계에 이르렀다. 시스템이나 제품이 고도화되고 복잡화될 뿐만 아니라, 팽창 혹은 대형화되어 왔기 때문에 고장이 발생하기 쉽게 되었다.⁽¹⁾

신기술의 개발이 급격화 됨에 따라 신소재나 신제품이 속출하여, 이것들의 안정성이나 수명등을 합리적으로 평가할 새로운 기술이 필요하게 되었다. 이들의 요청에 답하기 위해 신뢰성에 대한 중요한 개념은 이를 정량화 할 것으로, 시스템이나 제품에 신뢰성이 있다는 것은 사용 기간중에 그것이 기대만큼 만족하게 기능을 수행하는 것이다. 어

떤 제품에 대한 신뢰수명을 알고 있는 경우의 이 점은 평균 고장 간격을 알게 됨으로써 기기의 점검 빈도와 예비품의 공급을 적절히 할 수 있으며, 보전성을 증가시킬 수 있다.⁽²⁾

또한 시장성이 좋아지고 원가관리가 용이하게 되며 공정의 안정을 얻을 수 있으며, 불량품 제조를 방지할 수 있다. 신뢰도를 계획하여 관리하고 보증하기 위해서는 제품의 기획에서부터 사용에 이르기까지의 모든 단계에 걸쳐서 각 조직 기능에 필요 업무를 부여하고, 그들의 운영을 전체적으로 관리하지 않으면 안 된다. 또 이 관리 사이클을 통하여 신뢰성 정보의 수집, 해석을 하여 경험을 쌓아가는 노력을 계속할 필요가 있다. 고유 신뢰성에서 특히 중요시되는 것은 설계기술이다. 미리 얻어진 과거의 경험을 살려서 사용 수명 상태까지도 고려한 설계로 되어 있어야 한다.

분해 및 조립성을 고려한 설계의 경우 여러 가지의 점검목록을 만들어서 설계자가 이를 반영하도록 하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이러한 항목 으로서는 각각의 작업도를 생각하여 보고 목록을 작성하는 것이다. 이러한 항목 으로서는 각각에 대한 요소별로 생각하여 보고 목록을 작성하는 것이다. 공정전에 그 대상에 어떻게 다가가는 것이 더 용이한지를 알아보는 접근용이성이, 공정중에는 대상을 분해시 가장 효율적으로 해체, 조립할 수 있는가를 알아보는 분해용이성과 조립용이성이, 공정 후에는 교체된 대상에 대한 폐기용이성등을 각각 고려하여 작성하여 나간다.⁽³⁾⁽⁴⁾

본 논문에서는 단순 물립 기어의 수명을 평가하고 교체 대상을 찾은 후 이 대상에 대한 접근성을 원리도화법을 이용하여 각 교체 대상에 이용하여 분해 및 조립용이성을 평가해 보는 데 목적이 있다.

2. 신뢰수명평가

2.1 수명평가방식

* 전북대학교 대학원

**전북대학교 기계공학부, 자동차 신기술 연구소

어떤 통계실험을 계획할 때 당면하게 되는 가장 중요한 문제는 검사 데이터들이 어떤 분포를 따를 것인가를 추정하는 것이다. 부품이나 시스템의 신뢰 수명은 임의의 시점 혹은 주어진 기간 내에서 시스템의 정상 가동할 확률로써의 수명을 나타내는 것으로써, 사용과 더불어 신뢰성은 감소하게 되므로 신뢰성을 향상시키기 위해 검사, 수리, 부품 교환을 하여 높은 신뢰성을 유지하게 되며, 이를 위해서 신뢰수명과 부품교환 해석은 필수적이며 설계단계에서 이러한 것들을 고려하여야 한다. 2-변수 웨이블 분포에 대한 파손확률은 다음과 같다. ⁽⁵⁾⁽⁶⁾

$$F = 1.0 - e^{-(l/\theta)^b} \quad (1)$$

여기서 F는 파손확률, l은 백만 하중 사이클이나 시간으로 표현되는 부품 수명, θ 와 b는 웨이블 변수이다. 수명에 대한 식(1)의 도함수가 확률밀도함수 f 이므로, 다음과 같다.

$$f = \frac{b}{\theta} \left(\frac{l}{\theta}\right)^{b-1} e^{-(l/\theta)^b} \quad (2)$$

웨이블 신뢰성 함수는 다음과 같이 나타낸다.

$$\ln\left(\frac{1}{R}\right) = \left(\frac{l}{\theta}\right)^b \quad (3)$$

90% 잔존확률에 대하여 R = 0.9이고, $l = l_{10}$ 으로 하면 수명에 대한 해는 다음과 같다.

$$\theta = \ln\left(\frac{1}{0.9}\right)^{-1/b} l_{10} \quad (4)$$

식(3)에 식(4)의 θ 를 대입하면 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{1}{R}\right) = \ln\left(\frac{1}{0.9}\right) \left(\frac{l}{l_{10}}\right)^b \quad (5)$$

식(5)는 베어링의 2-변수 웨이블 분포 특성을 나타내며, 신뢰성에 대한 수명은 특성 하중에 대한 것으로 l_{10} 수명을 구한다. 이 하중 W는 요소의 동적 용량 C와 관계가 있다.

$$l_{10} = \left(\frac{C}{W}\right)^p \quad (6)$$

동적용량 C는 백만회전 사이클의 90%신뢰성 수명을 갖는 하중을 나타내며, W는 요소에 작용하는 하중이고 p는 하중-수명 지수이다. 어떤 부품이 파손되면 신뢰성이 높은 상태로 돌아가기 위해 기어장치는 정확한 연속확률 모델로 나타낼 수 있으며 장치의 신뢰성 R_s 는 모든 부품 신

뢰성의 곱으로 표시된다.

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (7)$$

식(7)의 역수에 로그를 취하면 다음과 같고,

$$\ln\left(\frac{1}{R_s}\right) = \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{1}{R_i}\right) \quad (8)$$

식(5)를 식(8)에 대입하면 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{1}{R_s}\right) = \ln\left(\frac{1}{0.9}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_s}{l_{10,i}}\right)^{b_i} \quad (9)$$

여기서 l_s 는 시스템의 신뢰성 R_s 에 대한 전체 구동장치의 수명이다.

2.2 원리도화법

분해성을 평가하기 위해선 대상의 수명과 마모성을 조사하고 교체가능 여부를 알아본 후 분해평가를 한다. 대상의 기하학적 형상, 체결형태, 체결된 방법, 치수, 재질, 사용되는 도구등 분해용이성에 필요한 여러 결정요소를 알아보고 그 기능들을 나열해 보는 것이 바람직하다. 평가대상에서는 되도록 그 대상을 단순화시키는 것이 좋으며 가장 효과적인 방법에서 접근하도록 노력해야한다.

원리도화법 개발에서는 먼저 현재까지 알려진 리사이클 대책에 유효한 기술 수단을 많은 기술 분야를 대상으로 수집하여 이들을 분류, 정리하고 리사이클 대책에서 효과가 있는 요소 기술을 추출하기 쉬운 형태로 표시하고 요점을 정리한 것이다. 리사이클 대책에 있어서는 고객 사용 제품의 리사이클 루트를 전체적으로 개선하는 정보처리 시스템이 필요하다. 원리도화법은 리사이클 설계에 필요한 분해성에 대한 기술수단의 평가검토와 함께 축적된 정보를 구사하여 분해성에 유효한 기술수단을 추출할 수 있는 특징을 가지고 있다. ⁽⁷⁾⁽⁸⁾

원리도화법을 사용한 평가 법에서는 우측상부의 기호가 조립품의 분해성을 나타낸다는 것을 의미하고 있다. 표의 수치는 조립품을 분해하는 공수, 실시상의 문제등을 실점(失點)으로 나타내는 연구 결과이다. 위쪽에서부터 RP(Repeat)의 No.를 정하고 있다. No.가 높을수록 분해성의 난이도가 높아진다. 또 같은 No.라도 횡축에 표시된 항목이 발생하면 실점을 가산해야 하는 방법이다. 그림을 활용하는 방법은 먼저 현재 검토중인 대상품에 대하여 현상과약을 한다. 리사이클 대책에 있어서는 대책

안을 효율적으로 발굴할 필요가 있다. 이를 위해서는 그림의 아래쪽에서 위쪽의 분해성을 향한 기술을 찾고 검토해야한다. 그리고 왼쪽에서 오른쪽으로 검토해 나가면서 실점을 또는 요인에 대하여 개선책을 강구한다. 이때, 구체적인 요소기술이 설계자에게 제공된다면 그 내용을 효율적으로 검토할 수 있다.

이 등록에 의하여 사용분야가 달라도 같은 목적의 기술이라면 힌트를 얻을 수 있으므로 아이디어의 창출과 이 아이디어의 특징으로 세밀한 검토도 가능할 것이다. 원리도화법을 이용하는 이유는 분해의 기호화, 분류정리를 신축적으로 하기 위함이다.

2.3 리사이클 평가식











개선전후를 비교시 구성물 전체를 평가하는 기준점이 있어야 한다. 이때 다음식을 이용한다.

$$\text{평균점} : \sum_{i=1}^N \frac{MS_i}{P_i} \quad \text{-----} \quad (\text{RP-I 식})$$

$$\text{총실점} : \sum_{i=1}^N MS_i \quad \text{-----} \quad (\text{RP-II 식})$$

여기에서, MS_i : 각 요소에서의 실점
P_i : 각 요소에서의 공수

Table.1 symbolic chart method

RP No.	Element of base	Element of base								addition points
		A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Downward extracting 	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-10(-25)	-10	need of safe protection : -20
2	Upward extracting 	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-10(-25)	-10	
3	Sideward extracting 	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-10(-25)	-10	
4	Turning separation 	-10	-5	-5	-10	-10	-5	-10(-25)	-10	visualization case : -35
5	Turning extract 	-10	-5	-5	-10	-10	-5	-10(-25)	-10	
6	Put up 	-10	-10	-10	-10	-15	-10	-15(-30)	-15	take a working time : -25
7	Impact 	-10	-10	-15	-15	-15	-10	-15(-30)	-15	
8	Cutting 	-15	-10	-15	-15	-15	-15	-15(-30)	-15	
9	Stationary fit 	-15	-10	-20	-25	-15	-15	-20(-30)	-15	need of energy cost : -25
10	High pressure 	-20	-15	-20	-25	-20	-25	-25(-35)	-25	

위 식중 RP-I 식은 각 부위의 위치를 기본으로 평균점을 계산하는 식이다. 이 목적은 전체 대상이 리사이클 용이성에 적합하고 있는가를 알아보는 것이고 동시에 실점이 많은 부분의 개선여부를 나타낸다. 즉, 각 기능요소에 있어서 평균값 산출에서 다른 유사 대책 제품과 비교하여 평가를 행한다. 동시에 평균값을 높이는 대상을 선정하여 개선 대상으로 정하고자 하는 목적에 있다.

RP-II 식은 총실점을 계산해 어느 정도의 개선을 해야만 하는가에 대해서 총실점과 각 부위마다의 실점이 많은 부분을 개선하기 위한 것이다. 따라서 RP-II 식을 이용한 것에 의해 개선전/후의 정도비교가 가능하게된다. 즉, 리사이클 총합 개선 효과 평가식이라 해도 좋다.

3. 고찰

3.1 단순 물림 기어의 평가

본 논문에서는 앞서 기술한 것들을 이용해 실제로 평가대상을 선정해 구체적인 실례를 이용하여 이를 평가 및 개선 대상을 찾아본다. 본 논문에서 다루어질 대상은 단순 물림 기어로 아래의 그림과 같다.⁽⁹⁾

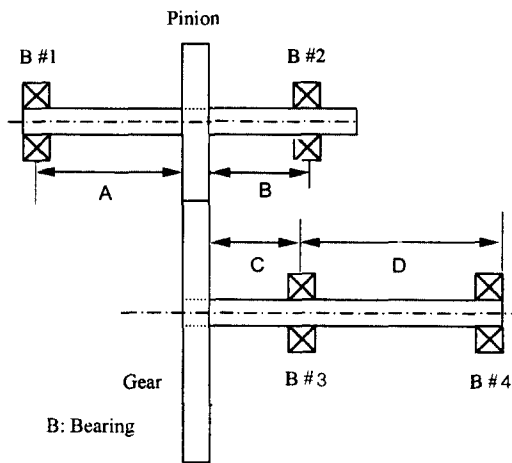


Fig. 1. Single mesh external gear

평가대상은 그림.1에서 보는바와 같이 단순 물림 기어이다. 여기에서 기어는 키로 고정 되어있다 가 정하였다. 교체 대상을 위해 각각에 대해 수치값들을 대입하여야만 정량적인 평가가 이루어지므로 수명을 계산함으로써 각각에서 가장 취약적인 부분을 선정하였다. 시스템을 이용하기 위한 각 자료 값들은 다음과 같다.

Table. 2 Input data

◆ Input data ◆	
◎ Input speed : 6000 rpm	◎ Input torque : 0.019 kNm
◎ Pinion number of teeth : 41	◎ Gear number of teeth : 80
◎ Module : 1.25	
◎ Normal pressure angle : 20 deg.	
1. Straddle mounting	2. Overhung mounting
- dis A : 0.15m	- dis C : 0.05m
- dis B : 0.10m	- dis D : 0.15m
- bearing#1 : ball bearing	- bearing#3 : ball bearing
- dynamic capacity : 4kN	- dynamic capacity : 4kN
- bearing#2 : roller bearing	- bearing#4 : roller bearing
- dynamic capacity : 5.5kN	- dynamic capacity : 5.5kN

이와같이 Table. 2값을 대입해 얻어낸 결과값들은 Table. 3와 같은 결과값으로 나왔다. 이 값들중 가장 수명이 짧은 부품을 선택해 교체대상으로 삼는다. 교체대상이 정해지면 도화법을 이용하여 대상의 분해 및 조립성평가에 들어간다. Table. 2에서 보는바와 같이 수명이 가장 짧은 것은 3212 hour로 베어링 #3이 그 대상이 된다. 그러므로 베어링을 교체하기 위해 Table. 1의 원리도화법을 이용해서 분해 및 조립평가에 들어간다.

Table. 3 Output data

	1. Straddle mounting	2. Overhung mounting
compare	Pinion :7664.084 h B#1(ball)::33396.25 h B#2 (roller)::53601 h	Gear : 11445.74 h B#3(ball) : 3212.316 h B#4(roller) :19089.7h
change component	* Bearing#3	

3.2 분해 및 조립평가⁽¹⁰⁾

Table. 4는 시스템에서의 분해 및 조립성 평가를 나타낸 것이다. Table.4에서 보는 바와 같이 베어링#4에서의 접근은 분해성에서 볼 때 먼저 베어링 #3을 교체하기 위해서 뽑아내기가 필요하므로 종축에서 아래쪽기의 1를 선택하고 빼내기 위해서는 회전운동이 필요하므로 횡축에서 C를 찾아 만나는 점수를 찾는다. 이때의 점수가 -5점이고 이를 위한 작업공수는 10회의 동작을 요구한다. 이 동작은 주관적인 요소이므로 약간의 차이가 있을 수 있다.

Table. 4 System estimation

bearing #3	bearing #4	disassembly		point	1-C :-5 (10) 1-E :-5 (8) 1-G :-25 (2) take a working time :-25 (2)
		assembly		point	9-C :-20 (8) 9-D :-25 (8) 9-E :-15 (8) 9-G :-30 (2) take a working time :-25 (2)
	gear	disassembly		point	1-C :-5 (8) 1-E :-5 (6) 1-G :-25 (2) 7-E :-15 (6) 7-G :-5 (2)
		assembly		point	7-D :-15 (6) 9-C :-20 (6) 9-D :-25 (8) 9-G :-30 (2)

Table. 5 Repeat calculation

bearing #3	bearing #4	RP- I	$\frac{10 \times 95 + 8 \times 95 + 2 \times 75 + 8 \times 80 + 8 \times 75 + 8 \times 85 + 2 \times 70 + 4 \times 75}{10 + 8 + 2 + 2 + 8 + 8 + 8 + 4}$
		RP- II	84.40 4220
	gear	RP- I	$\frac{8 \times 95 + 6 \times 95 + 2 \times 75 + 6 \times 85 + 2 \times 85 + 6 \times 85 + 6 \times 80 + 8 \times 75 + 2 \times 70}{8 + 6 + 2 + 6 + 2 + 6 + 6 + 8 + 2}$
		RP- II	84.78 3900

이러한 방법으로 각각의 요소에 대해서 평가를 한다. 가로 안의 숫자는 공수를 나타낸 것이다. 특히 베어링#4에서는 거리를 고려하여 부가작업 사항을 첨가시켜 분해 및 조립성 평가에 그 값을 계산하여 구하였다. 이와 같이 평가하였을 때 Table. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

결과해석은 평점이 높을수록 실점이 낮을수록 교체대상에 쉽게 접근할 수 있고 훨씬 작업하기에 좋은 것을 나타낸다. Table. 5에서 나타낸 것과 같이 베어링#3 교체시에는 베어링#4쪽에서 평점보다 기어쪽의 평점이 훨씬 높게 나왔음을 알 수 있었다.

기어장치를 웨이블 분포를 이용하여 신뢰수명을 해석하고 가장 수명이 짧은 부품의 분해 및 조립성을 정량적으로 평가한 결과는 다음과 같다.

(1) 신뢰수명이 가장 낮은 것은 베어링#3으로 교체 대상이 되었다. 이를 위해 베어링#4쪽보다는 기어쪽 방향에서 베어링#3을 교체하는 것이 실점을 줄이는 경우임을 말하므로 훨씬 시간적으로나 비용적으로 나음을 뜻한다.

(2) 각각에 대해 더 나은 개선방향을 원하고자 할 때는 각 요소 단계에서 실점을 줄임으로 평점을 높이는 방향으로 나가면 더욱 많은 분해 및 조립용이성이 이루어져 시간과 비용을 단축시킬 수가 있을 것이다.

4. 결론

5. 참고문헌

1. M. Gupta and R. Mclean, "Disassembly of Products", Computers Ind. Eng, Vol.31 No 1/2, pp.225-228
2. K.M.Blache and A.B.Shribastava, "Reliability and Maintainability for Effective Maintenance", SAE 930569
3. W.Li, C.Zhcang and S.A.Awonyi, "Design for Disassembly Analysis for Environmentally Conscious Design and Manufacturing"
4. G.Boothroyd, "Product Design for Manufacture and Assembly", Computer-Aided Design, Vol. 26/7, 0010-4485/94/7, 0505-16
5. 김하수, 강희용, 양성모, "재생이론에 의한 헬리컬 기어장치의 신뢰성에 관한 연구", 한국정밀학회지, 제15권, 제6호, 1998/6
6. D.G.Lewicki, J.D.Black and J.J.coy, "Fatigue Life Analysis of reduction Gear Box, Mechanisms, Transmissions and Automation in Design", Vol.108, pp225-262, 1986/6
7. 中村茂弘, 리사이클 대책의 설계방법, 기계설계 기술, 1995
8. 中村茂弘, 해체용이화 기법-리사이클 대책설계 기계기술설계
9. G. Robinson, "A Practical Approach to Automatic Transmission Reliability", SAE 910640
10. 진정선, 김하수, 강희용, 양성모, "원리도화법 이용한 기어장치의 분해 및 조립성평가", 호남기계학회, 1998/10