한국소음진동공학회 2004년도 추계학술대회논문집, pp. 875~878.

산업용 로봇 감속기의 소음 진동 평가에 대한 연구

A Study on the Noise and Vibration Diagnostic of the Industrial Robot Reducer

김우형*·정진태**

Woohyung Kim, Jintai Chung

Key Words : Industrial Robot(산업용 로봇), Reducer(감속기), GMF(기어가진 주파수), Internal Gear(내접치차) Overall Vibration(진동량), Waterfall Plot

ABSTRACT

The noise and vibration diagnostic of the industrial robot reducer is ultimately the purpose. We evaluated a noise and vibration tendency of the industrial robot reducer to be made in the outside (RV reducer) through the experiment. Also, we compared the RV reducer to the industrial robot reducer (RD reducer) in the domestic. We measured the noise level with the sound level meter and analyzed the vibration tendency with the waterfall plot. Through the comparison of RV reducer and RD reducer diagnose the industrial robot reducer. We guessed the improvement direction of RD reducer. (The domestic's industrial robot reducer)

기호설명

N_s = Sun Gear 잇수, N_p = Planetary Gear 잇수
N_{in} = Inner Gear 잇수, N_{out} = Outer Gear 잇수
G_1 = Sun Gear, G_2 = Planetary Gear
G_3 = Inner Gear, G_4 = Outer Gear
I = 감속비, ω = 회전성분(Hz)

1. 서 론

산업용 로봇은 고도의 기술을 결합한 첨단기술의 결합체로서 유연성과 지능화로 특징 지을 수 있으며, 현재 생산 자동화에 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 이에 따라 로봇의 고속화 및 고성능화가 요구되며, 그 중에서도 시스템의 안정성은 정밀작업과 신뢰도 향상을 위해 우선 고려되어야 한다. 산업용 로봇은 제어시스템과 기계적 구동계로 이루어져 있는데, 기계적 구동계의 하나인 감속기는 자중에 의한 정적 변형, 관성력에 의한 동적 변형, 구조적 공진영역 로봇의 기계적 특성을 결정짓는 구성 품이다. 감속기의 특성에 따라 로봇의 신뢰도 및 위치 정밀도를 결정짓는 중요한 요인이 된다.

하지만, 현재 국내 산업에 사용되는 산업용 로봇의 감속기는 많은 양을 국외에서 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 또한, 로봇의 기계적 특성을 결정짓는 중요한 인자임에도 불구하고 감속기에 대한 정확한 평가 방법 및 수단을 가지고 있지 않아서 감속기 제조업체에서 제공하는 제원(Catalog)만을 통해서 로봇 전체의 특성을 분석하고 있는 실정이다. 이를 개선하기 위해서는 수입에 의존하고 있는 감속기를 대신하여 국산화를 이루어야 할 것이다.

현재 국내 산업에서 많이 사용되고 있는 감속기는 일본제품을 많이 사용되고 있는 실정이다. 또한, 이에 대응하기 위하여 국내산의 감속기도 많이 개발 중에 있지만 아직 기술이 미비한 실정이다. 본 논문에서는 산업용 로봇에 주로 사용되는 일본산의 RV 감속기와 국내산의 RD 감속기의 소음, 진동 실험을 통한 결과를 통하여 감속기의 구동 메커니즘 및 감속기에서 발생할 수 있는 신호영역의 비교를 통하여 감속기의 성능을 보고자 한다.

* 한양대학교 정밀기계과 대학원
E-mail : woohyung@ihanyang.ac.kr
Tel : (031) 501-4590, Fax : (031) 501-4590
** 한양대학교 기계정보경영공학과

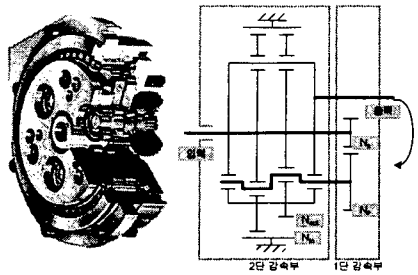
2. 로봇용 감속기

2.1 RV 감속기

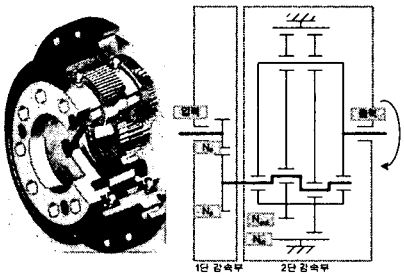
RV 감속기는 산업용 로봇용 감속기로 많이 사용되고 있는 대표적인 감속기이다. 2 단 감속 구조로 이루어져 있으며, 유성치차의 1 단 감속부와, 내치에 핀기어 외치에 RV 기어를 사용한 2 단 감속부로 구성되어 있다. [그림. 1] 2 단 감속부는 [그림. 3]에서 보는 바와 같이 운동하여 출력축에 운동을 전달한다.

2.2 RD 감속기

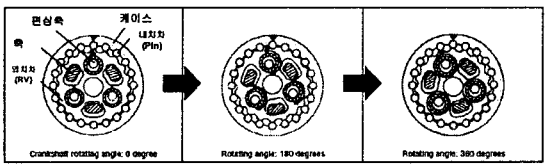
RD 감속기는 RV 감속기를 겨냥하여 국내에서 제작한 감속기이다. 기본적인 구조는 RV 감속기와 동일한 구조를 가지고 있다. 유성치차의 1 단 감속부와 TTS 기어로 이루어져 있는 내접식 기어로 2 단 감속부가 구성되어 있다. [그림. 2]



[그림. 1] RV 감속기 및 내부 구조



[그림. 2] RD 감속기 및 내부 구조



[그림. 3] 2 단 감속부의 동작 원리

2.3 감속비

RV 감속기와 RD 감속기 모두 2 단 감속 구조로 구성되어 있다. 외부 입력부로부터 1 단 감속부를 구동시킨 후 편심축에 의하여 2 단 감속부를 구동시킨후 출력축을 회전시킨다.

a) 1 단 감속부

감속비: $r_1 = N_s / N_p$

b) 2 단 감속부

감속비: $r_2 = 1 / N_{out}$

c) 전 감속비

$R = 1 + (N_p / N_s) N_{in}$

i) 케이스 고정, 출력축 회전

$I = 1 / R$

ii) 출력축 고정, 케이스 회전

$I = 1 / (R - 1)$

2.4 RV 및 RD 감속기의 비교

두 감속기 모두 2 단 감속 구조를 가지고 있다. 유성치차구조의 1 단 감속부에서 감속을 한 후에 편심축을 통하여 2 단 감속부를 구동시켜 출력축을 통하여 외부로 동력을 전달하는 구조를 가지고 있다. 감속기 전체를 비교를 했을 경우 두 감속기는 동일한 구조를 가지고 있으나 내부에는 몇 가지 다른 차이점이 있다.

첫번째로는 감속부의 배치가 다르다. RV 감속기의 경우 2 단 감속부, 1 단 감속부로 배치되어 있는 반면에 RD 감속기의 경우 1 단 감속부, 2 단 감속부로 구성되어 있다. RV 감속기의 경우 2 단 감속부를 관통하여 1 단 감속부를 구동해야 하기 때문에 감속기에 동력을 전달할 때 제약 조건을 갖지만, RD 감속기의 경우는 반대의 구조를 가지고 있기 때문에 제약 조건을 받지 않는다. 두번째는 2 단 감속부의 치차 구조가 다르다. RV 감속기의 경우 RV 기어와 Pin 로 구성되어 있고, RD 감속기의 경우 TTS 기어로 구성되어 있다. RV 감속기는 내치차와 외치차의 1 개의 차수를 가지고 있으며, RD 감속기는 4 개의 차수를 가지고 있다

3. 소음 진동 실험

3.1 실험용 감속기

표. 1 은 실험용 감속기의 제원을 나타낸 것이다. RV 감속기와 RD 감속기의 모델 형번 및 전체 감속비를 나타낸다. 또한, 감속기의 특성값을 측정하여 나타난 것이다. 백래쉬는 감속기의 기어 구조의 특징을 나타내고, 로스트모션은 반복정밀도를 나타내며, 모멘트강성은 감속기의 강성을 나내는 값이다.

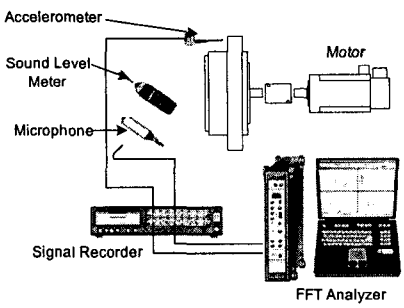
[표. 1] 실험용 감속기 제원

감속기	RV 감속기	RD 감속기
모델명	RV-E series	RD-050
감속비	1 : 81	1 : 93.4
백래쉬	0.55'	0.13'
로스트모션	0.54'	1.51'
모멘트강성	1241Nm/arcmin	686 Nm/arcmin

3.2 측정 장비

FFT: Pulse Multi Analyzer (B&K)
Accelerometer: Type 4383 (B&K)
Microphone: Type 4190 (B&K)
Signal Recorder: TEAC LX-10
Sound Level Meter: System 824 (Lason)

3.3 실험 방법



[그림. 4] 측정 장치도

감속기 상단에 가속도계를 부착하여 진동을 측정하고 전방 1m 앞에 소음계 및 마이크로폰을 설치하여 음압 및 소음신호를 채집하였다.

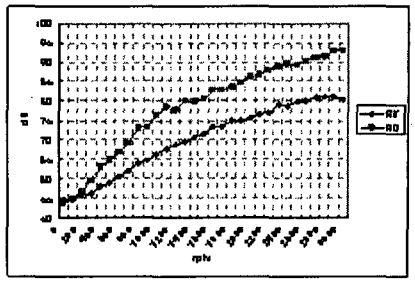
모터는 정격 회전수가 3000rpm, 용량 2KW 를 사용하였고 0rpm 부터 100rpm 씩 속도를 증가시키면서 신호를 채집하였다. 또한, 감속기의 부하를 주기 위하여 감속기 끝단에 부하를 장착하여 구동하였다.

4. 측정 결과

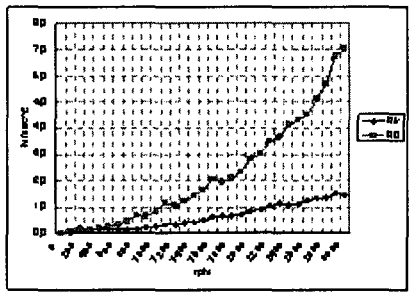
4.1 소음 및 진동량 측정

[그림. 5]은 모터의 속도를 증가시키면서 측정한 소음 결과이다. RV 감속기가 RD 감속기보다 대략 10dB 정도 낮게 나온 것을 알 수 있다.

[그림. 6]은 각 rpm 에서의 진동을 10 초간 24kHz 로 Overall Analyzer 를 통해서 측정한 진동량 값이다. 소음의 경향과 유사하게 RD 감속기가 더 큰 경향을 보이고 있다.



[그림. 5] 소음 측정 결과



[그림. 6] 진동량 측정 결과

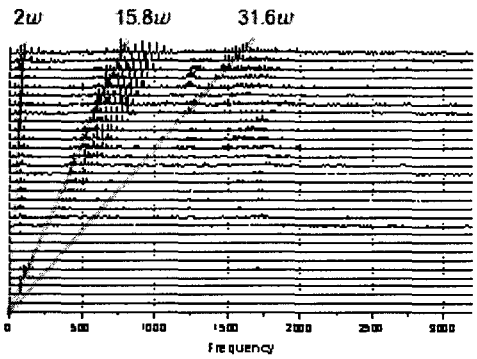
4.2 주파수 분석 결과

1) Shaft Frequency & GMF

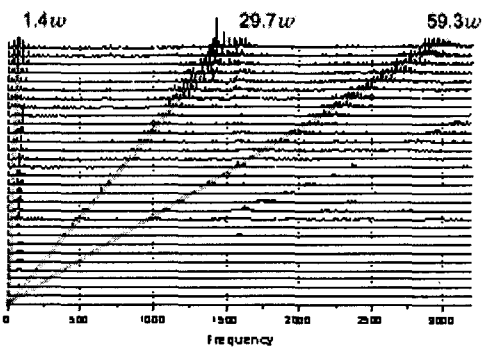
[표. 2]는 RV 감속기 및 RD 감속기의 주파수 분석을 하기 위하여 작성한 주파수맵(Frequency Map)이다. 감속기 내부의 기어와 기어를 지지하는 축을 입력 rpm ω를 기준으로 하여 비로 나타낸 것이다.

[표. 2] Shaft Frequency & GMF

	G_1		G_2		G_3		G_4	
	Shaft	GMF	Shaft	GMF	Shaft	GMF	Shaft	GMF
RV	ω	15.8 ω	0.5 ω	15.8 ω	0.012 ω	0.5 ω	0	0.5 ω
RD	ω	29.7 ω	0.71 ω	29.7 ω	0.011 ω	0.7 ω	0	0.7 ω



[그림. 7] RV 감속기 Waterfall Plot



[그림. 8] RD 감속기 Waterfall Plot

2) Waterfall Plot

[그림. 7]은 RV 감속기의 Waterfall Plot 을 나타낸 것이다 전체적으로 3 개의 회전성분이 보이고 있는데 2ω 성분은 [표. 2]에서 보는 바와 같이 2 단 감속부의 회전배수성분을 나타낸 것이고, 15.8ω, 31.6ω의 경우는 1 단 감속부의 배수성분을 나타낸 것이다.

[그림. 8]은 RD 감속기의 Waterfall Plot 을 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 RV 감속기와 유사한 경향을 보이고 있다. 2 단 감속부의 1.4ω성분, 1 단 감속부의 29.7ω, 59.3ω성분이 있다.

[그림. 7], [그림. 8]을 비교해보면 두 감속기 모두 1 단 감속부와 2 단 감속부가 다른 경향을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 모터로부터 직접 입력을 받는 1 단 감속부의 경우 고주파영역(대략 1000Hz~3000Hz)을 나타내고, 2 단 감속부의 경우는 고 감속비에 의하여 저속으로 구동되기 때문에 저주파영역(0~200Hz)에 나타나고 있다. RV 감속기의 경우 1 단 감속부의 감속비가 크게 작용하여 RD 감속기보다 상대적으로 낮은 주파수의 성분을 보이고 있다. 또한, RV 감속기의 경우 1 단 감속부의 배수성분인 31.6ω이 15.8ω보다 적게 나타나는 것을 볼 수 있지만 RD 감속기의 경우 59.3ω이 29.7ω에 비하여 작지 않은 것을 볼 수 있으며, 이는 소음측정 결과에서 RV 감속기와 RD 감속기가 약 10dB 정도 차이를 보이는 것의 주된 원인으로 보여진다.

5. 결 론

감속기를 구동중의 소음 및 진동신호 측정 결과 전체적으로 RD 감속기가 RV 감속기보다 더 큰 소음 및 진동을 유발하는 것을 볼 수 있었다. 전체적은 감속비가 다르기 때문에 차이는 있지만 감속비를 고려하더라도 RD 감속기가 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 감속기의 감속비가 주된 원인 것으로 보인다. RV 감속기는 1 단 감속부에서의 감속비가 RD 감속기보다 상대적으로 더 크기 때문에 감속기에서 발생하는 GMF 의 값이 더 작다. Waterfall Plot 을 비교해보면 RD 감속기의 1 단 감속부의 성분이 고주파영역에서 보이는 것을 알 수 있다. RD 감속기의 소음을 개선하기 위해서는 우선적으로 1 단 감속부의 특성을 변경할 필요가 있다. 감속기 단품의 소음 진동특성을 측정을 통하여 분해 보았다. 하지만 실제 로봇에 장착을 하여 비교할 필요가 있으며 이는 추가적으로 수행할 예정이다.

산업용로봇용 감속기로 주로 사용되는 RV 감속기의 단품특성 및 주파수분석을 통하여 감속기에 대하여 좀더 깊이 들어갈 수 있었다. 또한, RV 감속기에 대하여 국내에서 개발중인 RD 감속기의 특성을 분석하여 RV 감속기와의 차이를 분석하여 로봇용 감속기를 제작을 위한 중요한 자료를 얻을 수 있었다.

참고문헌

(1) J. Derek Smith, 2003, "Gear Noise and Vibration", Marcel Dekker, Inc.

(2) Duduley's, 1992, "Gear Handbook", McGraw Hill

(3) Chad Edward Fair, 1998, " Synchronous Sampling Sideband Order from Helical Planetary Gear Sets"

(4) Paul D. Samuel, Joeseph K. Conroy, and Darryll J.Pines, 2004, " Planetary Transmission Diagnostics", NASA/CR-2004-213068

(5) Teik Chin Lim, Rajendra Singh, 1991, "Statistical Energy Analysis of a Gearbox with Emphasis on the Bearing Path", Noise Controal Engineering Journal

(6) 이성철, 오박균, 권오관, 1987, "로보트용 내접 유성식 감속기의 설계에 대한 연구"

(7) 정태형, 명재형, "2 단 치차계의 진동해석 시스템 개발에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제 7 권, 제 1 호, pp. 284~294