한국공작기계학회논문집 Vol.16 No.5 2007. 10.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

기어장치 설계를 위한 유전알고리듬 기반 연속-이산공간 최적화 및 다목적함수 순차적 설계 방법

이정상+, 정태형*

(논문접수일 2007. 9. 3, 심사완료일 2007. 9. 28)

Genetic Algorithm Based Continuous-Discrete Optimization and Multi-objective Sequential Design Method for the Gear Drive Design

Joung Sang Lee+, Tae Hyong Chong*

Abstract

The integration method of binary and real encoding in genetic algorithm is proposed to deal with design variables of various types in gear drive design. The method is applied to optimum design of multi-stage gear drive. Integer and Discrete type design variables represent the number of teeth and module, and continuous type design variables represent face width, helix angle and addendum modification factor etc. The proposed genetic algorithm is applied for the gear ratio optimization and the volume optimization(minimization) of multi-stage geared motor which is used in field. In result, the proposed design optimization method shows an effectiveness in optimum design process and the new design has a better results compared with the existing design.

Key Words : Gear(기어), Optimum Design(최적설계), Genetic algorithm(유전 알고리듬), Design Process(설계 프로세스), Integer, Discrete and Continuous Variables(정수, 이산, 연속변수)

1. 서 론

기어장치는 대부분의 기계장치에 구동 및 동력 전달용으로 사용되는 필수적인 기계장치이며, 그 사용범위가 계속적으로 확대되고 있다. 그러나, 기어장치의 설계에 있어서의 많은 어려움 때문에 여전히 전통적인 방법에 의존하거나 기존의 설계를 일부분 수정하여 적용하는 등에 그치고 있는 것이 현실이다. 따라서 효율적인 기어장치 설계법의 개발에 관한 필요성이 증대되고 있으며, 최근에는 최적화 방법을 통한 기어장치의 설계자동화에 대한 노력이 진행되고 있다[1~4].

+ 한양대학교 대학원 기계설계학과
* 교신저자, 한양대학교 기계공학과 (thchong@hanyang.ac.kr)
주소: 133-791 서울시 성동구 행당동 17

그러나 기어장치의 설계는 모듈, 잇수 등의 이산변수 및 정수변수와 치폭, 비틀림각 등의 연속변수와 같은 혼재된 설계 파라미터들을 결정해야하는 문제를 해결해야 한다. 따라서 이러한 이산공간과 연속공간이 혼재된 기어설계문제를 원활히 해결하기 위한 방법이 모색되었으나, 기존의 최적설계방법에 있어서의 문제점은 첫째, 연속공간만을 다루는 도함수 기반 최적설계법은 설계 결과가 설계 초기치에 따라 크게 달라지고 전역적 탐색이 불가능하며, 복잡한 제약조건의 경우 설계해를 찾지 못하는 경우가 많으며, 모든 설계 변수를 연속변수로 처리함에 최종 설계결과를 재평가하고 이산화하는 과정이 필요하게 된다[5,6]. 이 과정에서 기어장치 설계에서의 복잡한 제약조건을 위배하는 경우가 많이 발생하여 유효한 설계 해를 얻지 못하는 경우가 많이 발생하고 있다. 둘째, 설계 파라미터를 이진코드로 변환하여 문제를 해결하는 유전알고리듬(GA)의 경우 신뢰할 수 있는 해를 얻을 수 있지만 다단기어장치나 다수의 기어가 동시에 맞물리는 기어장치의 설계에 있어서는 변수의 개수가 크게 증가함에 따라 설계공간이 크게 확장되어 해를 얻는데 오랜 시간이 걸리거나 해를 얻기 어려운 경우도 발생하고 있다. 따라서 더욱 간편하고 효율적으로 최적설계를 수행하기 위한 설계 프로세스와 설계 방법론의 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 이산변수와 연속변수가 혼재된 문제를 더욱 효과적으로 다루기 위하여 단일 인코딩 유전 알고리듬을 개선하여 이진코딩(binary encoding)과 실수코딩(real encoding)이 조합된 유전알고리듬을 제안하고 실제의 설계에 적용하여 유효성을 나타내고자 한다.

2. 연속-이산 공간 최적화를 위한 유전알고리듬

2.1 개요

유전알고리듬(GA)은 생물진화 과정을 단순수리 모델로 치환한 방법으로 Holland(1975)에 의해 제안되었으며 이산 최적화 문제의 해를 효과적으로 구할 수 있는 방법으로 Goldberg(1989)에 의해 공학에 적용될 수 있음을 보여 주었다[7]. GA에서는 일반적인 최적화방법과는 달리 세대와 설계집단을 사용한다. 여기서 세대(Generation)란 한 사이클에서 다른 사이클로 진행되는 반복단계를 말하며, 집단(Population)이란 설계파라미터로 이루어진 유전자들의 설계집합을 말한다. 각 설계집합의 유전자를 구성하는 방법으로서 이진코딩 방법과, 연속변수를 다루기에 적합한 실수코딩 방법이 있으며, 일반적으로 설계변수의 형태에 따라 적합한 코딩방법을 선택하여 사용하여 왔다. 그러나 기어장치는 연속변수와 이산변수가 혼재된 설계 문제로서 이진코딩 방법을 이용하는 경우 연속변수를 이산화하는데 있어서 변수의 정밀도와 변수의 개수에 따라 유전자의 길이가 매우 길어지게 되고, 이에 따라 설계공간이 크게 확장되어 설계 해를 얻기 어려운 단점을 가지게 된다. 또한 실수 코딩방법만을 사용하는 경우는 도함수 기반의 최적설계에서와 동일한 문제를 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 이산변수와 연속변수가 혼재된 문제의 처리를 위해 이산변수의 경우 GA의 이진코딩법을 사용하였고, 연속변수의 처리를 위해 GA의 실수코딩법을 사용하였다. 즉, 혼재된 설계변수를 효율적으로 처리하기 위하여 이진코딩과 실수코딩이 조합된 GA를 제안하였다[8].

2.2 조합된 GA의 메커니즘

이진코딩과 실수코딩이 조합된 GA의 프로세스는 Fig. 1과 같이 구성된다. 초기에 이진 염색체 집단과 실수 염색체 집단이 각각 생성된다. 이진 염색체 집단은 이산변수와 정수변수의 염색체 길이의 합에 의해서 총 염색체 길이가 결정되어지며, 무작위법으로 생성된다. 실수 염색체 집단은 연속변수의 개수가 염색체의 길이와 같게 된다. 여기서 정수변수 및 이산변수의 염색체의 길이를 구하는 식은 식 (1) 및 식 (2)와 같다.

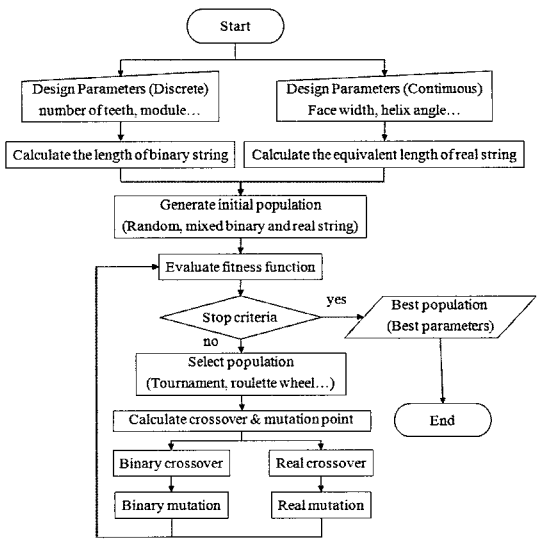

Fig. 1 GA based design process for continuous-discrete optimization

정수변수 : 2^{λ} = 정수변수의 개수 (1)

이산변수 : 2^{λ} = 이산변수의 개수 (2)

여기서 λ는 염색체의 길이이다.

실수 집단에서는 연속변수의 개수가 염색체의 길이와 같다.

두 번째 단계는 적합도 함수(fitness function)를 이용하여 이진 집단과 실수 집단의 적합도를 평가하게 된다. 집단 사이의 적합도 값이 상대적으로 너무 크거나 적을 경우 선택(selection)과정에서 적절한 선택이 불가능하므로 적합도의 정규화가 필요하다.

세 번째 단계는 수렴관계를 판별하는데 본 연구에서는 최대 반복수로 설정하였다. 최대 반복수 이전까지 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)가 반복되면서 적합도가 높은 집단으로 수렴해 가고 최적 해가 생성된다. 수렴조건을 만족하면 최적해가 생성되고 프로세스가 종료된다.

2.3 유전 연산자

유전 연산 과정은 선택, 교배와 돌연변이로 구성되어진다. 이중 선택 연산과정은 적합도의 값을 이용하여 계산되어지므로 이진 집단과 실수 집단 모두 같은 방법으로 수행되어진다. 그러나 이진집단과 실수집단은 서로 다른 코딩 방법을 사용하기 때문에 염색체의 구조는 서로 다르다. 따라서 교배연산과 돌연변이 연산은 이진 집단에 사용되는 방법이 실수집단에 바로 적용하기 힘들고 두 방법을 조합한 형태의 연산자가 요구된다.

2.3.1 선택 연산자

선택 연산자는 적합도 값을 기반으로 현 세대의 집단에서 개체를 선택하여 다음 세대의 개체로 복사하는 방법이다. 선택과정은 집단을 강하게 만들어 주는 특징이 있다. 즉 약한 개체들을 집단에서 몰아내고 강한 개체를 선택함으로서 이들 유전자 들이 다음 세대에 넓게 퍼지게 한다.

본 연구의 선택 연산자는 토너먼트 선택을 사용하였다. 토너먼트 선택은 스포츠나 게임에서 자주 접할 수 있는 방식으로서 경쟁적으로 개체를 선택하는 방식이다. 즉, 한 번의 시도에서 $L \in [2, N]$ (여기서 N은 집단의 수)개의 개체를 선택하고, 이중 최적의 개체를 골라내어 교배급원에 복제한다. 이 과정은 N개체가 선택 되어질 때까지 반복된다.

2.3.2 교배 연산자

교배는 탐색 공간에서 가능한 새로운 점을 찾기 위하여

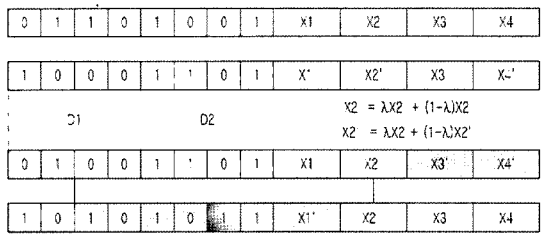

Fig. 2 Crossover and mutation in the combined gene

현 집단으로부터 부모(parent)염색체 쌍을 임의로 선택하고, 교배 점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 자손(offspring)을 생성하는 과정이다.

Fig. 2에 이진코딩과 실수코딩이 조합된 염색체의 구조와 교배 및 돌연변이 연산의 개념도를 나타낸다. 여기서 D1과 D2는 이진 코딩된 정수 및 이산변수이며 X1~X4는 실수 코딩된 연속 변수이다. 그림에서와 같이 이진 코딩된 이산 변수와 실수 코딩된 연속 변수를 하나의 유전자로서 함께 다루게 되며, 그림의 교배 연산은 임의의 2점에서의 교배연산(two point crossover)이 적용된 그림이다. 2점 교배방법은 부모 염색체의 두 교배 점에 의해 절단되어지는 부스트링(substring)을 서로 교환함으로서 자손을 생성하는 방법이다. 교배 점은 염색체 안에서 임의로 선택된다.

그림에서 위의 두 염색체가 부모 염색체이고 아래의 두 염색체가 자손 염색체가 된다. 실수코딩 시의 교배 연산자는 산술적 교배(arithmetical crossover)를 사용하였다. 이 연산자는 실수코딩의 단순교배 시 발생되는 교배지점의 불연속성을 완화 시켜줄 수 있는 방법으로 부모염색체 쌍의 일차결합(linear combination)에 의하여 자손을 생성한다. 일차결합에 사용되는 계산식은 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$x_j^U = \lambda x_j^{\tilde{V}} + (1-\lambda) x_j^{\tilde{U}} \quad (3)$$

$$x_j^V = \lambda x_j^{\tilde{U}} + (1-\lambda) x_j^{\tilde{V}} \quad (4)$$

여기서 x_j^U와 x_j^V는 j번째 자손 개체이고, $x_j^{\tilde{U}}$ 와 $x_j^{\tilde{V}}$는 부모 개체이다. λ는 곱인수(multiplier)로서 고정되거나 또는 각 요소마다 독립적으로 결정될 수 있는 값이다. 본 연구에서는 0과 1 사이의 난수 값으로 λ를 결정하였다.

2.3.3 돌연변이 연산자

GA는 초기 강한 개체가 생성되면 지역해(local solution)나 사점(dead corner)에 빠지는 요인이 되는데 돌연변이는 이를 극복하는 메커니즘이다. 조합된 염색체에서 이진염색

체 부분을 위한 돌연변이는 단순돌연변이(simple mutation)를 사용하였으며, 단순돌연변이 방법은 Fig. 2에서와 같이 돌연변이 확률을 만족하면 '0'은 '1'로 '1'은 '0'으로 비트를 반전시키는 것이다. 실수 염색체 부분을 위한 돌연변이는 동적 돌연변이(dynamic mutation)를 사용하였다. 돌연변이 값이 정의 영역의 균등한 값으로 반전되는 균등돌연변이와는 달리 동적돌연변이는 정밀도를 높이기 위하여 미세조정이 가능하도록 불균등한 값으로 반전되는 특징을 가진다. 만약 j번째 개체에서 돌연변이가 일어난다면 x_j는 식 (5)로 결정된다.

$$x_j = \begin{cases} \widetilde{x_j} = \Delta(k, x_j^{(U)} - \widetilde{x_j}), & \tau = 0 \\ x_j = \Delta(k, x_j - x_j^{(L)}), & \tau = 1 \end{cases} \tag{5}$$

여기서 $\tilde{x}_j$는 돌연변이 되기 전의 개체 값이고, τ는 0 또는 1 둘 중의 하나를 취하는 난수이다. $x_j^{(U)}$와 $x_j^{(L)}$는 각각 설계변수 x의 상한 값과 하한 값이다. $\Delta(k, y)$는 식 (6)으로 나타낼 수 있다. y는 $x_j^{(U)} - \tilde{x}_j$또는 $\tilde{x}_j - x_j^{(L)}$이다.

$$\Delta(k, y) = y \cdot r \cdot (1 - \frac{k}{T})^b \tag{6}$$

여기서 r은 0과 1 사이의 실수 난수이고, T는 알고리즘이 실행되는 최대 세대수, k는 현재 세대수이다. b는 불균등 정도를 나타내는 매개변수로서 사용자에 의해서 결정되어지는 값이다. 따라서 초기 세대에서는 전 공간을 균등한 확률로 탐색하다가 세대수가 증가하면서 매우 지역적으로 탐색하도록 해주는 특징을 나타낸다[9].

3. 다단 기어장치의 최적설계

개발된 설계 프로세스를 이용한 다단 기어장치의 설계 예는 실제 사용되고 있는 기어드 모터(geared motor)의 감속부인 5단 기어장치이며 설계명세는 Table 1과 같고, Fig. 3에 입력축 방향에서 바라본 기어드 모터 감속부의 입력축을 제외한 실제조립상태를 나타내었다.

Table 2에 기어드 모터 감속부의 기어열 제원과 관련된 설계명세 및 AGMA 규격[10]을 이용한 강도평가 결과를 보인다. 강도평가 결과에 있어서 4단과 5단의 접촉응력이 허용치를 위배하는 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

목적함수는 요구 속도비를 만족시키는 속도비 최적화 및 부피 최소화로 두 가지 목적함수를 동시에 만족시켜야 하는 최적화 문제이다. 따라서, 먼저 속도비를 만족시키는 기어의 잇수를 결정한 후, 부피 최소화를 수행하는 순차적 설계방법을 사용하였다. 속도비 최적설계의 경우 설계 변수는 정수변수인 잇수에 국한되므로 이진코딩 GA를 적용하였으며, 부피 최소화에 개발된 조합코딩 GA를 적용하였다.

Table 1 Specifications of the geared motor

Transmitted power[kW]	0.025
Input speed[rpm]	1550
Total gear ratio	120
Number of stages	5
Pressure angle[deg.]	20
AGMA quality number	11
Gear material	Steel
Heat treatment	Caburized & Case hardened
Surface Hardness[HRC]	55
Allowable contact stress [MPa]	1250
Allowable bending stress[MPa]	386.7

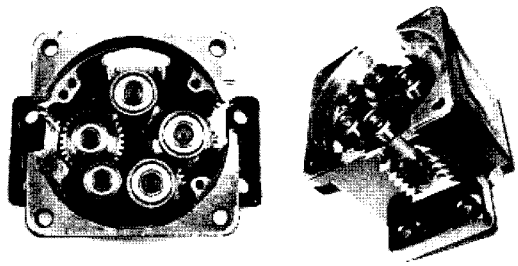

Fig. 3 Assembly view of the gear drive of geared motor

Table 2 Dimensions and ratings for existing geared motor drive

	1 Stage		2 Stage		3 Stage		4 Stage		5 Stage	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
Normal module	0.8		0.8		1.0		1.5		1.5	
Number of teeth	10	30	12	36	12	32	10	24	12	25
Gear ratio	3.00		3.00		2.67		2.40		2.08	
Total gear ratio	120									
Pitch diameter[mm]	8.0	24.0	9.6	28.8	12.0	32.0	15.0	36.0	18.0	37.5
Effective Face width [mm]	7.0		7.0		7.0		8.0		13.0	
volume[mm^3]	59750									
Allowable bending stress[MPa]	386.7		386.7		386.7		386.7		386.7	
Bending stress[MPa]	36.23	24.19	74.38	53.90	134.53	99.30	181.52	126.99	190.55	147.51
Allowable contact stress[MPa]	1239.8	1318.5	1239.8	1318.5	1239.8	1309.8	1239.8	1302.1	1239.8	1291.9
Contact stress[MPa]	666.11		838.52		1134.1		1502.7		1367.8	

각 설계변수로는 이산변수인 각 단의 모듈과 정수변수인 각 단의 피니언과 기어 잇수, 연속변수인 치폭으로 나눌 수 있다. 본 설계에서는 치폭을 나타내는 변수로서 종횡비를 사용하였다. Table 3는 전체 설계 변수를 정리하여 나타내며, Table 4는 이진과 실수 인코딩시 요구되는 각 설계변수의 범위를 나타낸다. 여기서 모듈은 KS[11]에 규정된 값들을 사용하였다. 여기서 m은 모듈이며 z_{1si}과 z_{2si}는 i 단에서의 피니언 잇수와 기어의 잇수이고 b_i는 각 단의 치폭이다.

먼저 5단 기어열의 속도비 최적설계를 위한 평가함수는 다음과 같이 구성된다. 설계변수는 각 단의 피니언과 기어의 잇수이며, 구속조건으로는 간섭이 일어나지 않을 최소 잇수, 물림률 및 앞단의 기어비가 뒷단의 기어비보다 클 조건 및 각 단의 최대, 최소 기어비 등을 고려하였다.

구성된 목적함수 및 구속조건은 식 (7)과 같고 평가함수는 식 (8)과 같이 구성하였다. 목적함수는 구속조건을 해결하기 위하여 외부벌칙함수법(exterior penalty function method)을 사용하였다.

$$f_{ratio} = \left| u - \prod_{i=1}^{5} m_{G(i)} \right| + \sum_{j=1}^{n} \gamma_j (\max(g_j, 0))^2 \tag{7}$$

subject to

$$g_{1\sim5} : m_G^{lower} - m_{G(i)} \le 0,\ (i=1\sim5)$$
$$g_{6\sim10} : m_{G(i)} - m_G^{upper} \le 0,\ (i=1\sim5)$$
$$g_{11\sim14} : m_{G(i+1)} - m_{G(i)} \le 0,\ (i=1\sim4)$$
$$g_{15\sim19} : \epsilon_\alpha^{lower} - \epsilon_{\alpha(i)} \le 0,\ (i=1\sim5)$$
$$g_{20\sim24} : \epsilon_{\alpha(i)} - \epsilon_\alpha^{upper} \le 0,\ (i=1\sim5)$$
$$g_{25\sim29} : z_{p\min} - z_{p(i)} \le 0,\ (i=1\sim5)$$
$$g_{30\sim34} : z_{g\min} - z_{g(i)} \le 0,\ (i=1\sim5)$$

Table 3 Design variables of geared motor

	1st stage	2nd stage	3th stage	4th stage	5th stage
discrete(m)	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
integer(z1)	z_{1s1}	z_{1s2}	z_{1s3}	z_{1s4}	z_{1s5}
integer(z2)	z_{2s1}	z_{2s2}	z_{2s3}	z_{2s4}	z_{2s5}
continuous(b/d)	b_1/d_1	b_2/d_2	b_3/d_3	b_4/d_4	b_5/d_5

Table 4 The range of design variables

	Pinion	Gear
Number of teeth	10 ~ 50	10 ~ 500
Normal module	0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1 1.25 1.5 2 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 32 40 50	
Aspect ratio	0.2 ~ 1.2	

$$f_{ratiofit} = C_{\max} - f_{ratio} \tag{8}$$

식 (7)과 (8)에서 $m_{g(i)}$, $\epsilon_{\alpha(i)}$, $z_{p(i)}$, $z_{g(i)}$는 각각 i 단에서의 기어비, 물림률, 피니언의 잇수, 기어의 잇수이며, f_{ratio}는 전체 기어비, $C_{\max}$는 적합도가 음이 되지 않을 수 있는 적절한 값이다.

다음으로, 부피 최소화를 위한 평가함수는 다음과 같이 구성된다. 설계변수는 각 단의 모듈과 종횡비이며, 구속조건으로는 면압강도, 굽힘강도, 피치선속도 등이다. 부피 최소화를 위해 구성된 목적함수와 구속조건은 식 (9)와 같고 평가함수는 식 (10)과 같이 구성하였다. 목적함수는 위에서와 마찬가지로 외부벌칙함수법을 사용하여 구성하였다.

$$f_{vol} = \sum_{i=1}^{5} m_{n(i)}^2 \cdot b_i \cdot (z_{p(i)}^2 + z_{g(i)}^2) + \sum_{j=1}^{n} \gamma_j (\max(g_j, 0))^2 \tag{9}$$

subject to

$$g_{1\sim10} : \sigma_{F(i)} - \frac{\sigma_{FP(i)} Y_N}{S_F Y_\theta Y_Z} \le 0$$

$$g_{11\sim20} : \sigma_{H(i)} - \frac{\sigma_{HP(i)} Z_N Z_W}{S_H Y_\theta Y_Z} \le 0$$

$$g_{21\sim25} : v_{t(i)} - v_{\max} \le 0,\ (i=1\sim5)$$

$$f_{volfit} = C_{\max} - f_{vol} \tag{10}$$

식 (9)와 (10)에서 $m_{n(i)} b_i$, $\sigma_{F(i)}$, $\sigma_{FP(i)}$, $\sigma_{H(i)}$, $\sigma_{HP(i)}$, $v_{t(i)}$는 각각 i 단에서의 모듈, 치폭, 굽힘강도, 허용굽힘강도,

Table 5 Optimum design for dimensions and ratings for geared motor drive

	1 Stage		2 Stage		3 Stage		4 Stage		5 Stage	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
Normal module	0.6		0.6		0.6		1		1.25	
Number of teeth	28	97	16	50	28	64	20	45	20	43
Gear ratio	3.46		3.13		2.29		2.25		2.15	
Total gear ratio	119.7									
Pitch diameter[mm]	16.80	58.20	9.60	30.0	16.80	34.40	20.00	45.00	25.00	53.75
Aspect ratio	0.20		0.33		0.20		0.22		0.26	
Face width[mm]	3.36		3.13		3.36		4.47		6.57	
volume[mm^3]	55287									
Allowable bending stress[MPa]	386.7		386.7		386.7		386.7		386.7	
Bending stress[MPa]	27.31	24.28	211.87	168.31	271.02	246.20	251.96	217.90	235.18	204.41
Allowable contact stress[MPa]	1239.8	1329.2	1239.8	1321.5	1239.8	1298.6	1239.8	1297.4	1239.8	1294.1
Contact stress[MPa]	339.14		1214.00		1110.30		1230.70		1194.10	

면압강도, 허용면압강도이며, f_{vol}은 전체 기어의 체적이다.

개발된 설계 프로세스에 따라 얻어진 기어드모터 감속기의 설계 제원을 Table 5에 나타내었다. 설계결과를 보면 전기어비의 요구제원과의 오차는 0.25%로, 이는 모터의 회전속도 및 기어열의 회전 지연 등을 감안할 때 실용적으로 무시할 수 있는 수준으로서 구속조건을 만족시키고 있다. 또한 굽힘 및 면압강도도 제한치 내에 들어있는 것을 확인할 수 있다.

최종 설계 결과인 기어의 체적을 보면, 기존의 설계 제원으로 계산된 부피에 비해 약 7.5%의 부피감소가 있음을 알 수 있다. 기존 설계에 대한 강도평가에서 4단 및 5단의 면압강도가 허용치를 위배한 상태였음에 비하여, 모든 단에서의 강도평가 허용치를 만족시키면서 전체 체적 또한 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 본 연구를 통해 제안된 최적설계 알고리듬을 이용하여 설계를 수행한 결과 기존의 설계에 비해 우수한 결과를 얻어 냈음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

기어장치와 같은 연속-이산 변수가 혼재된 설계에서 보다 효율적이며 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있는 설계 방법의 개발이 요구되는 시점에서, 이를 해결하기 위하여 이진코딩과 실수코딩이 조합된 유전 알고리듬을 개발하고, 이를 적용하여 보다 우수한 설계결과를 얻을 수 있도록 하였다. 이상의 연구 내용과 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 이산변수, 정수변수, 연속변수가 혼재된 설계공간에서 각 변수의 처리를 효과적으로 하기위한 방법으로 이진코딩과 실수코딩이 조합된 유전알고리듬(GA)을 제안하였다.

(2) 실제 사용되고 있는 범용 기어 모터의 감속부인 5단 기어장치의 속도 비 최적화 및 부피 최소화 설계를 수행하여 설계 구속조건을 만족시키면서 기존 설계 제원에 비하여 강도, 속도비, 체적의 측면에서 우수한 설계결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

(3) 제안된 GA를 이용하여 설계하기 까다로운 다단 기어장치의 제원설계를 보다 효율적으로 수행할 수 있음을 확인하였으며, 이로부터 기어장치 설계 이외에도 다양한 형태의 설계변수들이 혼재된 다른 설계문제에도 효과적인 적용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00069).

참 고 문 헌

(1) Chong, T. H. and Bae, I. H., 2001.3, "Multi Objective Optimal Design of Cylindrical Gear Pairs for the Reduction of Gear Size and Meshing Vibration," *JSME International Journal*, Series C, Vol. 44.

(2) Chong, T. H. and Lee, J. S., 1998, "Optimum Design of Gear Train Systems Using a Genetic Algorithm," *Proc. of the KSME Spring Conference*, pp. 654~659.

(3) Chong, T. H. and Bae, I. H., 2002.3, "A New and Generalized Methodology to Design Multi-Stage Gear Drives by Integrating the Dimensional and the Configuration Design Process," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 37.

(4) Bae, I. H. and Chong, T. H., 2002.12, "New Method to Split Overall Gear Ratio of the Cylindrical Multi-Stage Gear Train," *Trans. of the KSMTE*, Vol. 11, No. 6, pp. 45~51.

(5) Chong, T. H. and Lee, J. S., 2000, "Genetic Algorithm Based Design for Gear Trains," *ASME Proceeding of DETC2000.*

(6) Chong, T. H. and Lee, J. S., 2000, "A Design Method of Gear Trains Using a Genetic Algorithm," *KSPE International Journal*, Vol. 1, No. 1.

(7) Goldberg, D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Professional.

(8) Chong, T. H., Hong, H. K. and Lee, J. S., 2004, "Optimum Design of Multi-Stage Gear Drive Using Genetic Algoithm Mixed Binary and Real Encoding," *Proc. of the KSMTE spring Conference.*

(9) Jin, K. G., 2000, *Genetic Algorithms and Their Applications*, Kyo Woo Sa.

(10) ANSI/AGMA 2101-C95, 1995, *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth.*

(11) KS B ISO 54, 2001, *Cylindrical gears for general engineering and for heavy engineering - Modules.*