

퍼지 전문가 시스템을 이용한 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계

정태형*(한양대 기계공학과), 이호영(한양대 대학원 기계설계학과)

Preliminary Mechanism Design of Multi-Stage Gear Drives using a Fuzzy Expert System

T. H. Chong(Hanyang Univ.), H. Y. Lee(Graduate School, Hanyang Univ.)

ABSTRACT

A preliminary design process in the multistage gear drives design is important part. a preliminary design support system which run efficiently the design is developed with fuzzy expert system. the system automatically generate the mechanism of multistage gear drives and select a candidate mechanism by the general expert rule and sorting using fuzzy expert system. the preliminary mechanism design of multi-stage gear drives have a short execution time, add accuracy in a preliminary design considering volume, cost, power and efficiency in preliminary, a design efficiency is increased and a preliminary design have a elasticity using a weight on variable's sorting mechanism.

Key Words : Gear Design (기어 설계), Multi-stage Gear Drive (다단 기어 장치), Fuzzy Expert System (퍼지 전문가 시스템), Preliminary Design (초기설계)

1. 서론

다단 기어장치의 초기 설계에서 기어의 배열과 종류를 결정하는 메커니즘 설계 단계는 기어장치의 설계 비용을 결정할 정도로 매우 중요한 역할을 한다. 특히 웜 기어나 베벨 기어 같은 비평행축 기어를 사용하는 다단 기어장치의 경우에는 정식화된 방법으로 해결하기 어려운 부가적인 문제들이 존재 한다.[1] 그러나 실제의 메커니즘 설계는 설계시의 명확한 지침이 주어지지 않아 주로 설계자의 경험, 감각, 지식 등에 의존하여 수행되기 때문에 동일한 설계 과정이 반복되며 부가적인 설계의 처리가 필요하여 많은 시간과 노력이 소요된다.[2]

본 논문에서는 다단 기어장치의 메커니즘 설계를 보다 전문적이고 효율적으로 수행할 수 있는 설계 지원 시스템을 개발하여 메커니즘의 초기 설계 모델을 자동적으로 구현할 수 있도록 하였다. 개발한 시스템은 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 다단 기어장치 메커니즘의 3 차원적 배열을 자동적으로

구성함으로써 설계 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 설계 시 고려할 인자를 미리 평가 대상으로 하여 설계를 수행함으로써 설계의 효율을 증가시킬 수 있고, 설계의 다양성과 전문성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 개발한 시스템은 베벨 기어와 웜 기어를 모두 포함하는 다단 기어장치의 메커니즘 설계에 적용하여 그 타당성을 검증한다.

2. 다단 기어장치 메커니즘과 전문가 시스템

2.1 다단 기어장치 메커니즘

다단 기어장치의 메커니즘은 2 쌍 이상의 기어들의 조합으로 생기는 기어장치의 여러 가지 공간적 운동 전달 구조라고 정의할 수 있으며, 각 단에 사용되는 기어의 종류와 각 기어들이 물리는 방향 그리고 입력축과 출력축의 방향과 위치에 의존한다. [3] 여기서는 다음과 같은 가정에 따라 다단 기어 장치의 초기 메커니즘 모델을 대략적으로 결정한다.

즉, 각 단의 기어는 스피 기어, 헬리컬 기어, 베

벨 기어 및 웜 기어가 사용되며, 각 단 기어의 배열과 입력축의 위치와 방향, 출력축의 방향을 결정한다. 여기서 기어장치의 전 기어비(total gear ratio)의 정보는 포함하지만 각 단의 기어비의 분할은 고려하지 않는다. 또한 스퍼 기어와 헬리컬 기어가 같이 사용될 때 헬리컬 기어를 먼저 사용하며, 웜 기어는 3 단 이상 연속으로 사용하지 않는다. 같은 기어 종류의 배열일 때는 보다 컴팩트한 배열을 택하며 베벨 기어로만 메커니즘을 구성하지 않는다.

2.2 다단 기어장치의 메커니즘 설계 전문가 시스템

퍼지 전문가 시스템(fuzzy expert system)은 기존의 전문가 시스템(expert system)으로는 해결할 수 없었던 지식을 표현하는 용어의 애매함과 문제의 진위의 불확실성을 해결하기 위해 퍼지 이론을 전문가 시스템의 추론과정에 도입한 것이다.[4]

다단 기어장치의 초기 메커니즘 설계는 전문가의 경험이나 감각이 중요한 결정 요인으로 작용하기 때문에 전문가 시스템을 구현할 때 여러 용어들의 애매함과 모호성을 가지게 된다. 다단 기어장치의 기어들의 배열과 종류는 유도된 식을 통한 최적화된 값이 존재하는 것이 아니며 전문가들의 감각과 시행 착오를 반복하면서 얻어진 경험에 의해서 대략적인 설계 값들이 결정이 되고, 그 범위 안에서의 반복적인 설계 변형과 평가에 의해서 주로 수행된다. 그러므로 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 지원 시스템을 구현하기 위하여 퍼지 전문가 시스템을 이용하였다.

2.2.1 변수의 설정 및 소속도 함수

퍼지 전문가 시스템을 구현하기 위해서는 우선 요인 변수들을 결정을 하고 그것을 퍼지 집합으로 표현한 소속도 함수를 만들어 내어야 한다.

Table 1 과 Table 2 는 다단 기어장치 메커니즘을 구현하는 입출력 변수들을 나타낸다. Table 1 에서 입력 변수는 설계자의 설계 요구로부터 얻을 수 있는 다단 기어장치의 전 기어비, 단수, 기어들의 종류에 따른 사용 단수를 입력 변수로 하였다. 또한 메커니즘의 종합적 성능 지수를 평가하기 위하여 다단 기어장치의 가격, 체적, 효율, 전달 동력의 4 가지의 출력 변수를 정의 하였다. 이 값들은 초기 설계 단계이기 때문에 특정한 값을 구할 수가 없으며 메커니즘들의 상대적인 비교를 통하여 값을 얻을 수 있다. 이러한 입력 변수와 출력 변수를 퍼지 집합으로 표현하기 위해서 Fig. 1 및 Fig. 2 와 같이 각 변수의 소속도 함수를 결정하였다. 소속 함수의 크기는 0 과 1 사이의 값을 가지며 소속 함수의 모양은 삼각형 함수를 택하였다.

Table 1 Input variables of the fuzzy expert system

Input variables	Symbol
Total gear ratio	RATIO
Maximum number of stages	STAGE
Number of stages of spur gear pair	NUM_S
Number of stages of helical gear pair	NUM_H
Number of stages of bevel gear pair	NUM_B
Number of stages of worm gear pair	NUM_W

Table 2 Output variables of the fuzzy expert system

Output variables	Symbol
Relative cost of a mechanism	COST
Relative volume of a mechanism	VOLUME
Relative efficiency of a mechanism	EFFICIENCY
Relative power of a mechanism	POWER

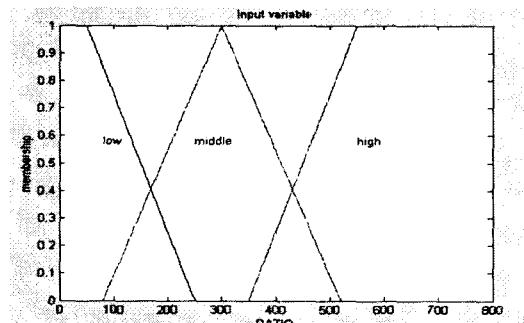


Fig. 1 Input variable

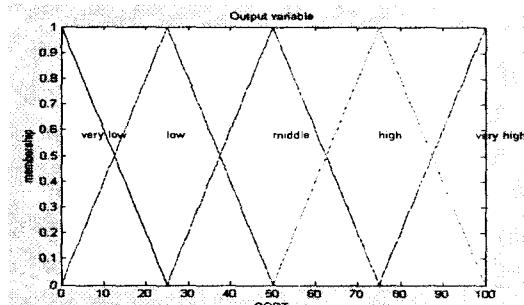


Fig 2 Output variable

출력 변수의 소속도 함수의 크기도 0 과 1 사이의 값을 가지지만 함수의 정의역 구간은 정규화(normalization)하여 0 부터 100 으로 하였고, 소속 함수의 모양은 삼각형 모양의 함수를 이용하였으며 매우 낮다(very low)에서 매우 높다(very high)의 5 단계로 나누어서 정의하였다. 출력 변수인 가격, 부피, 효율, 전달 동력은 모두 정규화된 상대적인 값이므로 같은 소속도 함수를 사용하였다.

2.2.2 전문가 시스템의 규칙

전문가 시스템에서 지식 베이스를 구성하는 규칙은 매우 중요한 역할을 하며.. 규칙들은 전문가의 지

식이나 전문 자료를 통하여 얻을 수 있다. 다만 기어장치 메커니즘의 초기 설계에 사용된 규칙을 정리하면 다음과 같다.

(1) 기어의 상대적인 가격에 관한 규칙:

헬리컬 기어는 스퍼 기어보다 비싸며 베벨 기어는 일반적인 다른 기어들보다 비싸다. 그리고 한 단에서 기어비가 클수록 가격은 비싸며 일반적으로 단의 수가 증가하면 가격이 증가한다.

(2) 기어의 상대적 체적에 관한 규칙:

기어의 종류에 따른 체적은 일반적으로 비슷하며 단수가 일정할 때 기어비가 커질수록 기어의 크기도 커지게 된다. 그리고 기어비가 일정할 때 단수가 많아 질수록 체적도 커지게 된다. 또 웜 기어의 사용 시 단수가 일정하고 기어비가 클 때 체적을 줄일 수 있다.[6]

(3) 기어의 효율에 관한 규칙:

한 단에서 기어비가 증가 할수록 효율은 떨어지며 일반적으로 웜 기어는 다른 기어들보다 효율이 떨어진다. 그리고 기어비가 일정할 때 단수가 증가 할수록 효율이 떨어지고 일반적으로 스퍼 기어는 단수가 증가할 때 효율은 적게 떨어진다.[7]

(4) 기어의 전달 동력에 관한 규칙:

헬리컬 기어가 스퍼 기어보다 전달 동력이 높으며 베벨 기어가 웜 기어보다 전달 동력이 높다. 그리고 한 단에서 기어비가 증가할수록 전달 동력은 줄어든다.[8]

3. 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 과정

기어장치는 다양한 배열 형태로부터 동일한 기능을 얻을 수 있기 때문에 설계자가 원하는 메커니즘 리스트를 만들기 위하여 생성된 메커니즘을 출력축의 위치와 일반적인 다단 기어 장치의 규칙을 통해 적당한 메커니즘을 추출한다. 이렇게 얻어진 메커니즘의 리스트를 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 평가하고 정렬함으로써 최종적인 설계 리스트를 얻는다.

Fig. 3 은 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 지원 시스템의 알고리즘을 나타낸 것이다.

Step 1 에서는 설계 사양에 맞는 메커니즘을 설정하기 위해 동력의 전달 방향과 전 기어비, 메커니즘이 가질 수 있는 최대의 단수를 정한다. 동력의 전달 방향은 입력축의 위치와 방향 및 출력축의 방향을 설정하는 것으로 정해진다.

Step 2 에서는 사용 가능한 메커니즘을 추출한다. 메커니즘의 구조는 각 단에 쓰이는 기어의 종류와 그 기어들의 연결 방식으로 정해지며, 여기에는 입력축의 위치와 방향, 출력축의 방향에 관한 정보를 포함한다. 이로부터 1 단부터 최대 단수까지 가능한

메커니즘의 초기 모델을 형성하며, 이 과정에서 각 단의 수에 따라 다양한 배열을 가진 메커니즘들의 리스트를 얻게 된다. 메커니즘의 구조는 다단으로 구성되어 있으며 각 단은 한 쌍의 기어와 입력축과 출력축으로 구성되어 있다. 그리고 한 단과 다른 한 단의 연결은 한 단의 출력축이 다른 한 단의 입력축이 되면서 연결이 되고 이 연결이 여러 개로 이루어져 하나의 다단 기어장치의 메커니즘을 형성한다.

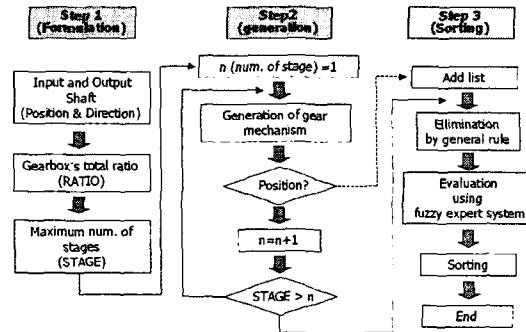


Fig. 3 Preliminary mechanism design of multi-stage gear drives algorithm

Step 3 에서는 메커니즘의 2 차적인 추출과 평가, 정렬이 이루어 진다. 이전의 과정을 통하여 얻어진 리스트는 출력축의 방향이 원하는 설계 사양과 일치하는 메커니즘을 추출한 것이다. 하지만 출력축의 방향으로만 평가하기에는 메커니즘의 리스트가 너무 일반적이며 방대한 종류의 메커니즘의 배열을 만들어 낸다. 따라서 이전에 추출된 메커니즘의 리스트를 가지고 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 2 차 추출을 위한 평가를 수행한다. 먼저 메커니즘 리스트에서 입력 변수의 정량적인 값을 퍼지화 한다. 퍼지화된 입력 변수는 지식 베이스의 규칙을 통해 평가하게 된다. 추론 기관은 퍼지 추론 방식 중에 전방향 추론 방식인 Mamdani 합성법을 이용한다. 추론의 결과로 얻어지는 출력 변수의 퍼지 집합을 정량화 하기 위해서 무게 중심법을 이용한 디퍼지화 과정을 거친다. 이러한 추론 과정을 거치면 메커니즘은 출력 변수인 부피, 가격, 효율, 전달 동력에 관한 상대적 수치 값을 가지게 된다.

초기 설계에서 다단 기어 장치가 어떠한 목적에 사용되는가에 따라 출력 변수의 영향도 달라지게 된다. 가격과 효율이 중요한 설계가 있는 반면 전달 동력이 중요한 설계가 있다. 이러한 설계의 영향에 따른 출력 변수의 영향을 고려하여 출력 변수의 결과 값에 가중치를 부여하여 메커니즘을 정렬할 수 있으며 이 정렬된 리스트를 설계자에게 보여주어 다단 기어장치의 초기 설계를 더 편리하고 효율적으로 수행할 수 있다.

4.3 차원 다단 기어장치 설계의 적용

3 차원 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계에 적용한 예를 보인다. 설계하고자 하는 다단 기어장치의 설계는 전 기어비가 400 이고 전체 단수를 4 단까지로 하였다. 입력축의 위치는 좌표축의 원점으로 정하고 입력축의 방향은 x 방향, 그리고 출력축의 방향이 z 방향으로 직교하는 것으로 하였다.

Table 3에 부피와 효율에 가중치를 주어 메커니즘을 정렬한 메커니즘의 평가 결과 리스트를 보인다. 결과에서 W-H-S(Worm-Helical-Spur)로 이루어진 3 단 메커니즘이 61.6 으로 가장 좋은 결과가 나왔다. 여기서 RATE 는 효율과 부피에 가중치를 주어 계산하여 나온 메커니즘의 정량적인 값이다. 4 개의 출력변수중에서 COST 는 낮을수록 그리고 나머지 3 개의 값들은 높을수록 성능이 좋다고 말한다. 가중치를 주어 계산할 때 COST 는 전체에서 뺀 값을 이용하였다.

Table3 Sorting of mechanism

Stage				COST	VOL	EFF.	POW.	RATE
1	2	3	4					
W	H	S		39.2	33.8	60.7	58.6	61.6
W	S			38.9	33.8	57.4	54.3	60.3
W	S	B		42.4	33.8	60.7	54.9	60.0
H	S	B	S	46.0	46.6	73.5	56.2	60.0
H	H	B	S	45.9	46.6	68.2	62.4	59.0
W	H	B		46.1	33.8	60.7	58.6	58.9
S	S	B	S	48.0	46.6	73.5	53.4	58.9
H	B	H		49.5	44.9	70.6	64.0	58.8
W	H			43.3	33.8	57.6	55.5	58.8
W	S	S		41.2	43.1	60.7	51.6	58.3
W	H	S	B	45.2	36.8	59.8	55.9	58.1
H	B	S	B	48.1	46.6	68.2	56.2	57.5

5. 결론

다단 기어장치 메커니즘의 초기 모델을 자동으로 생성하고 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 생성된 메커니즘을 평가하여 정렬된 리스트를 제공함으로써 설계자가 전문적이고 효율적인 설계를 할 수 있도록 하였다. 개발한 시스템은 기어에 관한 전문적인 지식을 이용함으로써 초기 설계의 전문성을 높였으며, 초기 설계 시 체적, 가격, 효율, 전달 동력을 미리 고려하여 설계를 수행함으로써 설계의 신뢰성과 효율성을 증가시킬 것으로 기대된다. 또한 다단 기어 장치의 특성을 고려하여 출력변수에 가중치를 주어 탄력성 있는 초기 설계가 되도록 하였다. 실제 기어비가 400 인 다단 기어장치의 초기 설계를 수행해 보았을 때 20 개정도의 유력한 메커니즘을 얻을 수 있었으며, 이것을 전문가 시스

템에 의해서 평가하고 부피와 효율에 가중치를 주어서 정렬한 리스트를 얻었다. 얻어진 리스트는 실제의 다단 기어장치와 유사한 메커니즘을 가진 것뿐 아니라 다양한 메커니즘을 볼 수 있어 설계의 다양성이 증가된 설계를 할 수 있으며 리스트를 얻기까지의 수행시간도 짧은 시간에 이루어지기 때문에 초기 설계의 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Fauroux,J.C., Sanchez,C., Sartor,M., Martins,C., 1996, "Application of a fuzzy logic ordering method to preliminary mechanism design"
2. T. H. Chong, S. J. Lee, I. Bae, "Development of a Design System for Multi-Stage Gear Drives (1st Report: Proposal of Formal Processes for Dimensional Design)," KSPE International Journal, Vol. 2, No. 2, 2001.
3. T. H. Chong and I. Bae, "Development of a Design System for Multi-Stage Gear Drives (2nd Report: Development of a Generalized New Design Algorithm)," KSPE International Journal, Vol. 2, No. 2, 2001.
4. 이재규 외, 전문가 시스템의 원리와 개발, p18~p81, p294~p338
5. 이광형, 오길록, 퍼지 이론 및 응용-2권:응용,
6. 機械システム設計便覧編集委員會, 1986, 機械システム設計便覧, 日本規格協會.
7. Dudley, D.W., 1984, Handbook of Practical Gear Design, McGraw-Hill, Inc.
8. Townsend, D. P., 1992, "Dudley's Gear Handbook," McGraw-Hill