

퍼지 전문가 시스템을 이용한 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계

이호영*, 정태형#, 배인호**

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

Ho Young Lee*, Tae Hyong Chong#, Inho Bae**

ABSTRACT

This paper proposes an efficient mechanism design system of multi-stage gear drives including not only parallel shaft gears but also non-parallel gears such as bevel and worm gear drives. The system automatically generates three dimensional structures of specification-adjusted mechanisms, and shows the sorted list of the mechanisms according to the evaluation result by using a fuzzy expert system. The list can be used as reliable candidates of the spatial mechanism structures of multi-stage gear drives. Thus, it is expected that the system can increase the efficiency of design and cut off the expenses of preliminary design considerably.

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

1. 서론

웜 기어나 베벨 기어와 같은 비평행축 기어가 포함되어 있는 다단 기어장치의 3 차원적 배열과 형식을 결정하는 메커니즘 설계는 다양한 메커니즘 구조로부터 동일한 기능을 얻을 수 있다는 점에서 다수의 설계해 집합으로부터 적절한 설계를 선택하는 문제로 볼 수 있다. 그러나 현재까지 이들 설계해 사이의 양부(良否)를 평가하기 위한 정식화된 방법은 존재하지 않는다.¹ 즉, 다단 기어장치의 메커니즘 설계는 이후의 전체 설계 과정을

결정하는 매우 중요한 역할을 하지만, 반면 실제로는 명확한 설계 지침이 주어지지 않으며 주로 설계자의 경험, 감각, 지식 등에 의존하여 수행되기 때문에 동일한 설계 과정이 반복되는 경우가 많아 상당한 설계 비용과 시간이 소요되는 경우가 일반적이다.

본 논문에서는 다단 기어장치의 메커니즘 설계를 보다 전문적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 하기 위해 메커니즘의 초기 설계 모델을 자동적으로 생성하고 평가할 수 있는 설계 지원 시스템을 개발한다. 개발한 시스템은 퍼지 전문가 시

* 접수일: 2002년 12월 12일; 게재승인일: 2003년 4월 18일

* 한양대학교 대학원

교신저자: 한양대학교 기계공학과

Email: thchong@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 기계기술연구소

시스템을 이용하여 다단 기어장치 메커니즘의 3 차원적 배열을 자동적으로 구성한다. 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 워 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 다양한 공간적 운동 전달 기구의 구조라고 정의할 수 있으며, 그 구조는 각 단에 사용되는 기어의 종류와 각 기어들이 물리는 방향 그리고 입력축과 출력축의 방향과 위치에 의존한다.² 여기서는 다음과 같은 가정에 따라 다단 기어장치의 초기 메커니즘 모델을 결정한다. 이 가정들은^{3,4} 3장에서 설명하는 Step 2의 메커니즘 생성 단계에서 메커니즘의 구조적 적합성을 평가하기 위해 사용된다.⁵

- 1) 각 단의 기어는 스피어 기어, 헬리컬 기어, 베벨 기어 및 워 기어가 사용되며, 입력축의 위치와 방향, 출력축의 방향에 따라 각 기어의 배열 방식 및 사용되는 단 등이 결정된다.
- 2) 기어장치의 전 기어비(overall gear ratio)의 정보는 포함하지만 각 단의 기어비의 분할은 고려하지 않는다.
- 3) 스피어 기어와 헬리컬 기어가 같이 사용될 때 헬리컬 기어를 먼저 사용하며, 워 기어는 3단 이상 연속으로 사용하지 않는다.
- 4) 같은 기어 종류의 배열일 때는 보다 컴팩트한 배열을 택하며 베벨 기어만으로 메커니즘을 구성하지 않는다.

메커니즘의 구조는 각 단에 쓰이는 기어의 종류와 연결 방식으로 정해지며, 여기에는 입력축의 위치와 방향, 출력축의 방향에 관한 정보를 포함한다. 여기서 각 단은 한 쌍의 기어와 입력축과 출력축으로 구성되어 있는 것으로 가정하며, 단과 단 사이의 연결은 한 단의 출력축이 다른 한 단의 입력축이 되면서 연결이 되고, 이 연결이 여러 개로 이루어져 하나의 다단 기어장치의 메커니즘을 형성한다.

다단 기어장치의 메커니즘의 구조 중의 하나의 예를 Fig. 1에 보인다. Fig. 1의 메커니즘은 스피어 기어 1단, 워기어 1단, 베벨 기어 1단으로 구성된 3단 기어장치이다. 여기서는 메커니즘에 사용된 기어들의 정확한 제원은 알 수가 없으며 각 단에 쓰이는 기어의 종류, 연결 방향과 출력축의 방향만을 알 수 있다. 각 단은 가상의 공간을 가지며 각 단의 연결은 가상의 공간의 연결로 이루어진다. 메커니즘의 컴팩트한 배열은 가상의 공간들의 부피가 가장 작은 것으로 정의된다.

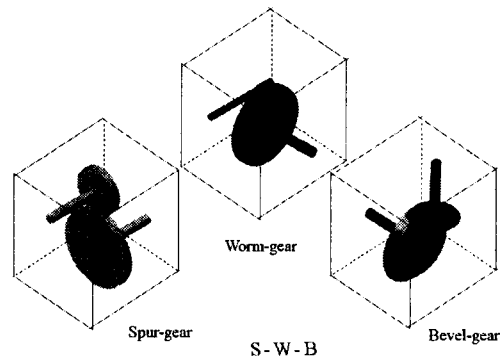


Fig. 1 An example of mechanism structure (Spur-Worm-Bevel gear)

2.2 메커니즘 설계 전문가 시스템

다단 기어장치의 설계는 기존 시스템의 변형과 개선이 대부분이기 때문에 기존의 자료들과 전문가의 지식이 설계 시 많은 비중을 차지한다. 특히 메커니즘 초기 설계 과정에서는 전문가의 판단이 요구되기 때문에 설계 시 전문가 시스템(expert system)을 구현하는 것이 필요하다. 그러나 전문가 시스템을 구현하기 위해 전문가의 경험이나 감각을 표현할 때 여러 용어들의 애매함과 모호성을 가지게 된다. 또한 다단 기어장치의 기어들의 배열과 종류는 유도된 식을 통한 최적화된 값이 존재하는 것이 아니며, 전문가들의 감각과 시행착오를 반복하면서 얻어진 경험에 의해서 대략적인 설계 값들이 결정이 되고, 그 범위 안에서의 반복적인 설계 변형과 평가에 의해서 주로 수행된다. 그러므로 이와 같이 지식을 표현하는 용어의 모호함과 설계 값의 진위의 확실성을 고려하기 위해 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 지원 시스템을 구현하기 위해 퍼지 이론을 전문가 시스템의 추

론과정에 도입한 퍼지 전문가 시스템(fuzzy expert system)을 이용하였다.⁶⁻¹¹

2.2.1 퍼지 전문가 시스템의 구성

퍼지 전문가 시스템을 구현하기 위해서는 우선 요인 변수들을 결정하고 그것을 퍼지 집합으로 표현한 소속도 함수(membership function)를 정의하여야 한다.

Table 1 은 구현한 퍼지 전문가 시스템에 사용되는 입력 변수들을 보이고 있다.

Table 1 Input variables of the fuzzy expert system

| Input variables | Symbol |
|---------------------------------------|--------|
| Overall gear ratio | RT |
| Maximum number of stages | ST |
| Number of stages of spur gear pair | S |
| Number of stages of helical gear pair | H |
| Number of stages of bevel gear pair | B |
| Number of stages of worm gear pair | W |

Table 1 에서 입력 변수는 설계자의 설계 요구로부터 얻을 수 있는 다단 기어장치의 전 기어비(overall gear ratio, RT), 단수(maximum number of stages, ST), 사용되는 기어들의 종류(S, H, B, W)로 구분할 수 있다. 또한 이러한 입력 변수를 퍼지 집합으로 표현하기 위해서 각 변수의 소속도 함수를 결정하였다. 소속도 함수는 삼각형 함수(triangular function)를 사용하여 낮다(low, L), 중간(middle, M), 높다(very high, H)의 3 단계(L, M, H)로 정의하였으며, 함수의 값은 일반적인 경우와 마찬가지로 0 에서 1 사이로 정의하였다.

설계하고자 하는 기어장치의 감속비는 일반적으로 500:1 이상인 경우 감속비가 크다(high)고 하며 400:1 정도인 경우에도 감속비가 크다고 말하기도 한다. 또한 200:1 정도의 감속비가 중간 정도의 감속(middle)이라고 하지만 다른 조건에선 저감속(low)으로 분류되기도 한다. 이런 표현들을 고려하여 기어 장치의 감속비에 관한 소속도 함수를 Fig. 2 와 같이 정하였다. Fig. 2 에서 감속비의 소속도 함수의 크기는 0 에서 1 사이가 되며 저감속(low, L), 중감속(middle, M), 고감속(high, H)의 3 개의 삼각형 함수로 구성되어 있다.

각 종류의 기어에 대해 구현 가능한 기어비의 한계가 정해져 있기 때문에, 메커니즘의 기어 장치

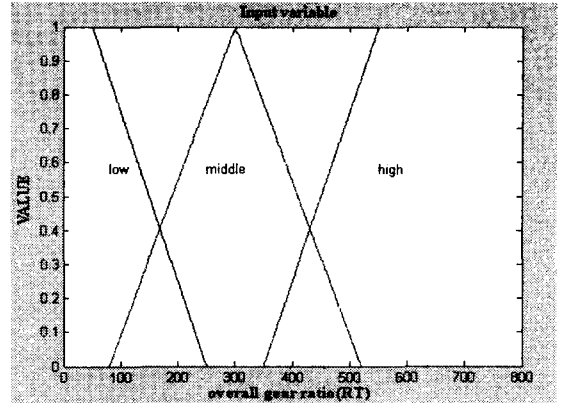


Fig. 2 Membership function: overall gear ratio (RT)

의 단수는 전 기어비에 따라 여러 값을 가질 수 있다. 예를 들어 300:1 의 감속비를 가질 때 웜 기어와 스퍼 기어를 사용하면 2 단으로 표현될 수 있지만 스퍼 기어만 사용할 때에는 3 단이나 4 단 이상이 사용된다. 이때 1 단은 저단을 의미하지만 10 단이 사용되는 기어 장치에서는 3 단까지 저단이라 생각하기도 한다. 이런 표현을 종합하여 기어 장치의 단수에 관한 퍼지 집합을 나타내기 위한 소속도 함수를 Fig. 3 에 나타내었다. 1 단인 경우에는 단수가 적으며 낮다(low, L)의 퍼지 값이 1 이다. 그리고 5 단 이상인 경우에는 단수가 많으며 높다(high, H)의 퍼지 값이 1 과 같이 되도록 표현한다.

또한 나머지 입력 변수인 기어들의 종류에 따른 사용 단수(S, H, B, W)에 대해서도 유사한 소속도 함수를 사용한다.

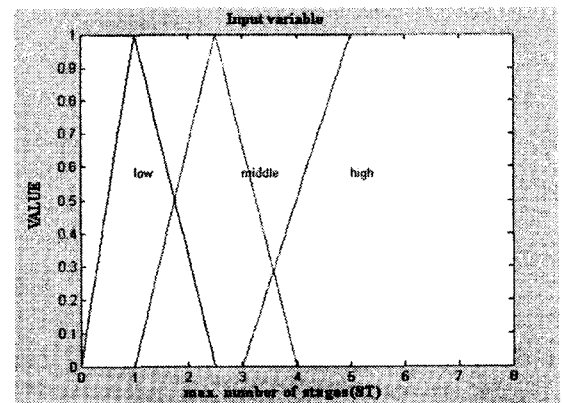


Fig. 3 Membership function: max. number of stages (ST)

Table 2 에서 메커니즘의 종합적 성능 지수를 평가하기 위하여 다단 기어장치의 가격(cost, CO), 체적(volume, VO), 효율(eficiency, EF), 전달 동력(power, PO)의 4 가지의 출력 변수를 정의하였다. 이 값들은 초기 설계 단계이므로 특정한 값을 구할 수가 없기 때문에 메커니즘들의 상대적인 비교를 통하여 값을 얻을 수 있도록 하였다.

Table 2 Output variables of the fuzzy expert system

| Output variables | Symbol |
|------------------------------------|--------|
| Relative cost of a mechanism | CO |
| Relative volume of a mechanism | VO |
| Relative efficiency of a mechanism | EF |
| Relative power of a mechanism | PO |

출력 변수의 소속도 함수는 Fig. 4 에 보인다. 출력 변수의 소속도 함수의 크기는 0 과 1 사이의 값을 가지지만 함수의 정의역 구간은 정규화(normalization)하여 0 부터 100 으로 하였다. 소속도 함수의 모양은 삼각형 함수를 이용하였으며 매우 낮다(very low, VL)에서 매우 높다(very high, VH)의 5 단계(VL, L, M, H, VH)로 나누어 정의하였다. 출력 변수들의 값은 모두 정규화된 상대적인 값이므로 같은 소속도 함수를 사용하였다.

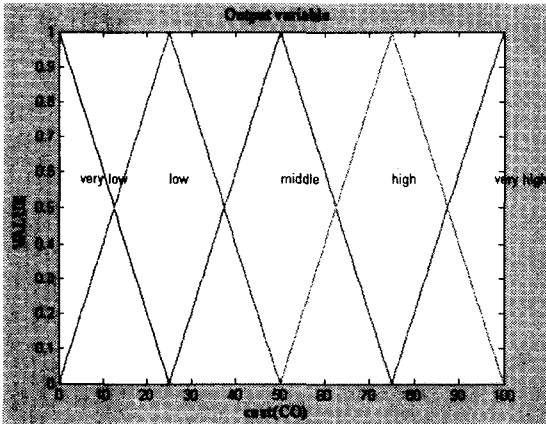


Fig 4 Membership function: cost (CO)

2.2.2 전문가 시스템의 규칙

다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 추론을 위해 정의한 지식 베이스 규칙 중 일부를 아래에 설명하며, Table 3 에 규칙을 정리하여 보인다.^{3,4,12}

(1) 기어의 상대적인 가격에 관한 규칙:

- 헬리컬 기어는 스퍼 기어보다 비싸다.
- 베벨 기어는 다른 기어들보다 비싸다.
- 한 단에서 기어비가 클수록 가격은 비싸다.
- 단의 수가 증가하면 가격이 비싸다.

Table 3 Fuzzy rules for the expert system

| No. | Input variables | | | | | | Output variables | | | |
|-----|-----------------|----|---|---|---|---|------------------|----|----|----|
| | RT | ST | S | H | B | W | CO | VO | EF | PO |
| 1 | L | L | L | | | | VL | VL | VH | H |
| 2 | L | L | | L | | | L | VL | VH | VH |
| 3 | L | L | | | L | | M | VL | VH | H |
| 4 | L | L | | | | L | L | VL | H | M |
| 5 | M | L | L | | | | L | L | VH | M |
| 6 | M | L | | L | | | M | L | H | H |
| 7 | M | L | | | L | | H | L | H | M |
| 8 | M | L | | | | L | M | VL | M | L |
| 9 | M | M | L | | | | VL | L | VH | H |
| 10 | M | M | | L | | | L | L | VH | VH |
| 11 | M | M | | | L | | M | L | VH | H |
| 12 | M | M | | | | L | L | VL | M | M |
| 13 | M | M | M | | | | L | M | VH | M |
| 14 | M | M | | M | | | M | M | H | H |
| 15 | M | M | | | M | | H | M | H | M |
| 16 | M | M | | | | M | M | L | M | L |
| 17 | H | L | L | | | | M | M | H | L |
| 18 | H | L | | L | | | H | M | H | M |
| 19 | H | L | | | L | | VH | M | H | L |
| 20 | H | L | | | | L | H | VL | L | VL |
| 21 | H | M | L | | | | M | M | VH | M |
| 22 | H | M | | L | | | H | M | H | H |
| 23 | H | M | | | L | | VH | M | H | M |
| 24 | H | M | | | | L | H | L | M | L |
| 25 | H | M | M | | | | H | H | H | L |
| 26 | H | M | | M | | | VH | H | M | M |
| 27 | H | M | | | M | | VH | H | M | L |
| 28 | H | M | | | | M | H | M | L | VL |
| 29 | H | H | L | | | | M | L | VH | H |
| 30 | H | H | | L | | | H | L | H | VH |
| 31 | H | H | | | L | | VH | L | H | H |
| 32 | H | H | | | | L | H | VL | M | M |
| 33 | H | H | M | | | | H | M | H | M |
| 34 | H | H | | M | | | VH | M | H | H |
| 35 | H | H | | | M | | VH | M | H | M |
| 36 | H | H | | | | M | H | L | M | L |
| 37 | H | H | H | | | | H | H | H | M |
| 38 | H | H | | H | | | VH | H | H | H |
| 39 | H | H | | | H | | VH | H | H | M |
| 40 | H | H | | | | H | H | M | M | L |

(2) 기어의 상대적 체적에 관한 규칙:

- 기어의 종류에 따른 체적은 비슷하다.
- 단수가 일정할 때 기어비가 커질수록 기어의 크기도 커지게 된다.
- 기어비가 일정할 때 단수가 많아질수록 체적도 커지게 된다.
- 워엄 기어의 사용 시 단수가 일정하고 기어비가 클 때 체적이 작아진다.

(3) 기어의 효율에 관한 규칙:

- 한 단에서 기어비가 증가할수록 효율이 떨어진다.
- 워엄 기어는 다른 기어들보다 효율이 떨어진다.
- 기어비가 일정할 때 단수가 증가할수록 효율이 떨어진다.
- 스퍼 기어는 단수가 증가할 때 효율은 적게 떨어진다.

(4) 기어의 전달 동력에 관한 규칙:

- 헬리컬 기어가 스퍼 기어보다 전달 동력이 크다.
- 베벨 기어가 워엄 기어보다 전달 동력이 크다.
- 한 단에서 기어비가 증가할수록 전달 동력은 줄어든다.

3. 다단 기어장치 메커니즘 초기 설계 과정

다단 기어장치는 다양한 배열 형태로부터 동일한 기능을 얻을 수 있기 때문에 많은 메커니즘의 리스트를 얻을 수가 있다. 여기에서 설계자가 원하는 메커니즘 리스트를 찾기 위하여 설계 제한 조건에 부합하는 메커니즘과 일반적인 다단 기어 장치의 규칙을 이용한다. 이 과정을 통하여 얻어진 메커니즘의 리스트를 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 평가하고 정렬함으로써 최종적인 설계 리스트를 얻는다.

Fig. 5 는 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계 알고리즘을 나타낸 것이다.

Step 1 은 기본 입력 설정 단계로서 설계 명세에 맞는 메커니즘을 설정하기 위해 동력 전달 방향과 전 기어비, 메커니즘이 가질 수 있는 최대 단수를 입력한다. 동력 전달 방향은 입력축의 위치와 방향 및 출력축의 방향을 설정하는 것으로 정해진다.

Step 2 는 메커니즘 생성 단계로서 사용 가능한 메커니즘을 생성하고 기어장치의 공간적 배치와 관련된 기본 규칙을 만족하는 메커니즘을 추출한다. 즉, 1 단부터 최대 단수까지 가능한 메커니즘의 초기 모델을 형성하며, 이 과정에서 각 단의 수에 따라 다양한 배열을 가진 메커니즘들의 리스트를 얻게 된다. 이 리스트는 프로그래밍에 의해 자동적으로 생성되기 때문에 일반적인 설계 규칙이나 제한 조건에 맞지 않는 메커니즘들도 포함하게 된다. 리스트 중에서 이러한 메커니즘을 제거하는 과

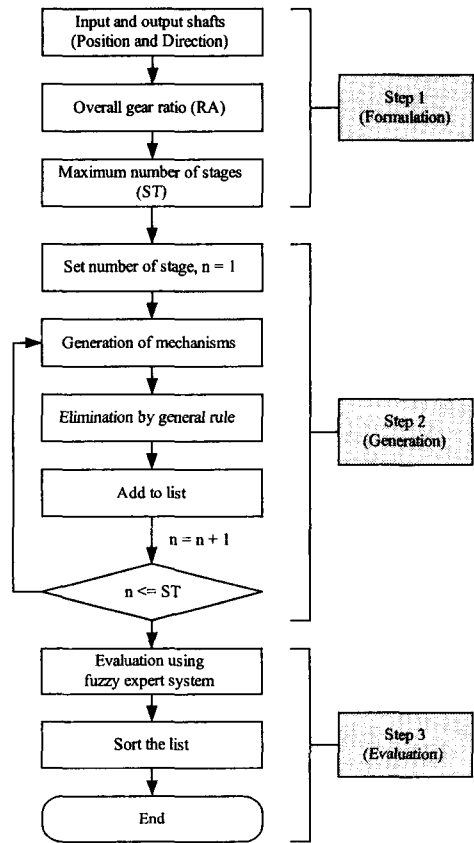


Fig. 5 Proposed mechanism design algorithm

정을 거쳐서 원하는 리스트를 얻는다. 여기서 설계 제한 조건으로는 출력축의 방향을 이용한다.

마지막으로 Step 3 에서는 메커니즘의 2 차적인 추출과 평가, 정렬이 이루어진다. 이전의 과정을 통하여 얻어진 리스트는 출력축의 방향이 원하는 설계 사양과 일치하는 메커니즘을 추출한 것이다. 이 메커니즘의 리스트를 가지고 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 2 차 추출을 위한 평가를 수행한다. 먼저 메커니즘 리스트에서 입력 변수의 정량적인 값을 퍼지화(fuzzification)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 정량화하기 위해서 무게 중심법(Method of center of gravity)을 이용한 디퍼지화(defuzzification) 과정을 거친다. 이러한 추론 과정을 거치면 메커니즘은 출력 변수인

부피, 가격, 효율, 전달 동력에 관한 상대적인 수치값을 가지게 되며, 최종적으로는 각 항목의 설계 전체에 대한 중요도의 영향을 고려하여 출력 변수의 결과값에 가중치를 부여하여 메커니즘을 정렬한 리스트를 설계자에게 제공하게 된다. 식 (1)은 가중치를 고려하여 메커니즘 리스트를 정렬하기 위한 평가 값을 구하기 위한 식을 나타낸다.

$$Rate_i = W_{CO}CO_i + W_{VO}VO_i + W_{EF}EF_i + W_{PO}PO_i \quad (1)$$

여기서 가중치를 W 로 표기하고 각 출력 변수의 중요도에 따라 값을 가지며 전체 가중치의 합은 1 이다.

4. 다단 기어장치 설계의 적용

이상과 같이 개발한 메커니즘 설계 알고리즘을 다단 기어장치 메커니즘의 초기 설계에 적용한 예를 보인다.

Table 4 Input parameters of the design example

| | |
|------------------------------|---------|
| Input shaft direction | [1 0 0] |
| Input shaft position | (0 0 0) |
| Output shaft direction | [0 0 1] |
| Overall gear ratio, RT | 400 |
| Maximum number of stages, ST | 4 |

기어장치는 Table 4 에 보이는 바와 같이 전 기어비가 400, 최대 단수를 4 로 하고 입력축의 위치는 좌표축의 원점으로 하였다. 또한, 입력축과 출력축의 방향은 3 차원 공간의 단위 벡터로 표시를 하였으며, 입력축의 방향은 (-)x 방향, 출력축의 방향은 (+)z 방향으로 입력축과 출력축이 직교하는 것으로 하였다(Fig. 6). 여기서는 제원 설계를 수행하지 않기 때문에 출력축의 위치는 정확히 정해줄 수 없다. 따라서 출력축의 위치는 방향을 포함하는 영역으로만 표시한다.

Table 5 에 Step 2 의 과정을 통하여 얻어진 메커니즘의 리스트를 보인다. 이 리스트는 다단 기어 장치의 일반적인 규칙에 의해 출력축의 위치가 주어졌던 명세에 부합하는 메커니즘의 전체 리스트이다. Table 5 에서 W 는 웜 기어로 이루어진 단을 말하며, H 는 헬리컬 기어, S 는 스피어 기어, B 는 베벨 기어로 이루어진 단을 말한다. 그리고 각 메커니

즘의 구조 옆에는 메커니즘에서 사용되는 각 기어의 수를 나타내는 것으로 이후 퍼지 전문가 시스템의 입력 변수로서 사용된다.

Table 5 Mechanism list by Step 2

| No. | Stage | | | | Number of gears | | | |
|-----|-------|---|---|---|-----------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | S | H | B | W |
| 1 | W | S | | | 1 | | | 1 |
| 2 | W | H | | | | 1 | | 1 |
| 3 | B | B | H | | | 1 | 2 | |
| 4 | B | B | S | | 1 | | 2 | |
| 5 | H | B | B | | | 1 | 2 | |
| 6 | H | B | H | | | 2 | 1 | |
| 7 | W | H | B | | | 1 | 1 | 1 |
| 8 | W | H | H | | | 2 | | 1 |
| 9 | W | H | S | | 1 | 1 | | 1 |
| 10 | W | S | B | | 1 | | 1 | 1 |
| 11 | W | S | S | | 2 | | | 1 |
| 12 | B | H | B | B | | 1 | 3 | |
| 13 | H | B | H | B | | 2 | 2 | |
| 14 | H | B | S | B | 1 | 1 | 2 | |
| 15 | H | H | B | S | 1 | 2 | 1 | |
| 16 | H | H | B | H | | 3 | 1 | |
| 17 | H | H | S | B | 1 | 2 | 1 | |
| 18 | H | S | B | S | 2 | 1 | 1 | |
| 19 | S | S | B | B | 2 | | 2 | |
| 20 | S | S | B | S | 3 | | 1 | |
| 21 | W | B | S | B | 1 | | 2 | 1 |
| 22 | W | H | B | B | | 1 | 2 | 1 |
| 23 | W | H | H | B | | 2 | 1 | 1 |
| 24 | W | H | S | B | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | W | S | B | B | 1 | | 2 | 1 |
| 26 | W | S | S | S | 3 | | | 1 |
| 27 | W | S | S | B | 2 | | 1 | 1 |

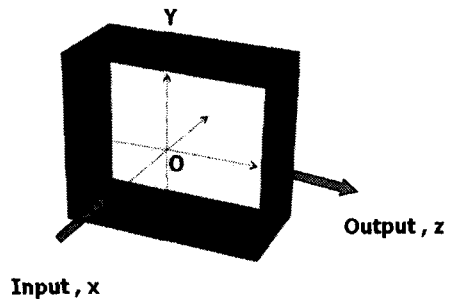


Fig. 6 Direction of input and output shafts

Step 3 에서는 Table 5 에서 얻어진 메커니즘의 리스트를 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 평가한 후, 출력 변수 중 체적과 효율에 가중치를 주어

계산한 결과(Rate) 순으로 메커니즘을 정렬한다. Table 6 은 Step 3 의 과정을 거친 메커니즘의 평가 결과 중에서 상위 10 개 만을 보이는 리스트이다. 결과에서 W-H-S(Worm-Helical-Spur)로 이루어진 3 단 메커니즘의 평가 결과가 61.6 으로 가장 좋은 것으로 나왔다. 4 개의 출력 변수 중에서 가격(CO) 과 체적(VO)은 낮을수록 좋은 것으로 볼 수 있으므로 가중치를 구할 때는 역수를 취하여 구하였다.

Table 6 Final mechanism list by Step 3

| No. | Stage | | | | Output value | | | | |
|-----|-------|---|---|---|--------------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | CO | VO | EF | PO | Rate |
| 1 | W | H | S | | 39.2 | 33.8 | 60.7 | 58.6 | 61.6 |
| 2 | W | S | | | 38.9 | 33.8 | 57.4 | 54.3 | 60.3 |
| 3 | W | S | B | | 42.4 | 33.8 | 60.7 | 54.9 | 60.0 |
| 4 | H | S | B | S | 46.0 | 46.6 | 73.5 | 56.2 | 60.0 |
| 5 | H | H | B | S | 45.9 | 46.6 | 68.2 | 62.4 | 59.0 |
| 6 | W | H | B | | 46.1 | 33.8 | 60.7 | 58.6 | 58.9 |
| 7 | S | S | B | S | 48.0 | 46.6 | 73.5 | 53.4 | 58.9 |
| 8 | H | B | H | | 49.5 | 44.9 | 70.6 | 64.0 | 58.8 |
| 9 | W | H | | | 43.3 | 33.8 | 57.6 | 55.5 | 58.8 |
| 10 | W | S | S | | 41.2 | 43.1 | 60.7 | 51.6 | 58.3 |

일반적으로 축이 직교하는 다단 기어 장치에서는 2 번과 같이 W-S 의 2 단으로 구성된 메커니즘을 많이 사용한다. 그러나 가격보다 체적과 효율을 중요시한다면 W-S 보다 W-H-S 의 3 단으로 된 메커니즘이 더 좋다고 생각할 수 있다.

여기에 나온 상위 10 의 메커니즘은 제원 설계와 상세 설계까지 이러한 순위가 계속되는 것은 아니며 변할 수 있다. 그러나 시스템을 통하여 얻은 리스트들은 일반적으로 수행해오던 설계를 포함할 뿐만 아니라 다른 메커니즘 구성도 제시하기 때문에 여러 조건을 고려하여 설계를 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 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 시스템

은 기어에 관한 전문적인 지식을 이용함으로써 초기 설계의 전문성을 높였으며, 초기 설계 시 체적, 가격, 효율, 전달 동력 등을 미리 고려하여 설계를 수행함으로써 설계의 신뢰성과 효율성을 증가시킬 수 있다. 또한 다단 기어 장치의 특성을 고려하여 출력 변수에 가중치를 주어 유연성 있는 초기 설계가 되도록 하였다. 실제 다단 기어장치의 초기 설계를 수행해 보았을 때 얻어진 리스트는 실제의 다단 기어장치와 유사한 메커니즘을 가진 것뿐 아니라 다양한 메커니즘을 정량적인 평가를 얻을 수 있기 때문에 초기 설계의 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Fauroux, J. C., et al., "Application of a fuzzy logic ordering method to preliminary mechanism design," Proceedings of IDMME'98, Vol. 2, pp. 423-430, 1998.
2. Chong, T. H., Lee, S. J., Bae, I. H., "Development of a Design System for Multi-Stage Gear Drives (1st Report: Proposal of Formal Processes for Dimensional Design)," International Journal of the KSPE, Vol. 2, No. 2, pp. 57-64, 2001.
3. Townsend, D. P., Dudley's Gear Handbook, McGraw-Hill, 1992.
4. Dudley, D. W., Handbook of Practical Gear Design, McGraw-Hill, Inc., pp. 32-64, 1984.
5. Chong, T. H. and Bae, I. H., "Development of a Design System for Multi-Stage Gear Drives (2nd Report: Development of a Generalized New Design Algorithm)," International Journal of the KSPE, Vol. 2, No. 2, pp. 65-72, 2001.
6. Lee, J. K., Choi, H. L., Kim, H. S., Suh, M. S., Chu, S. J. and Jee, W. C., The Principles and Development of Expert Systems (in Korean), Peobyoungsa, pp. 18-81, pp. 294-338, 1996.
7. Lee, K. H. and Oh, K. L., Theory and Application of Fuzzy, Vol. II -Application (in Korean), Hongneung Science Publishing Co., pp. 2-46, 1997.
8. The Japan Association of Measurement and Automatic Control, Handbook of Neuro-Fuzzy Artificial Intelligence (in Japanese), Kitari Publishing Co., pp. 267-339, 1998.

9. Myint, S., Tabucanon, M. T., "The framework for an expert system to generate alternative products in concurrent engineering design" *Computers in Industry* 37, pp. 125-134, 1988.
10. Moti Schneider, Abraham Kandel, Gideon langholz, Gerard Chew, *Fuzzy expert system tools*, John Wiley, pp. 2-12, 1996.
11. Hans-jurgen Sebastioin, Erik K. Antonsson, *Fuzzy sets in engineering design and configuration*, Kluwer Academic Publishers, pp.108-117, 1996.
12. The Committee on Handbook of Mechanical Systems Design, *Handbook of Mechanical systems Design (in Japanese)*, Japan Standard Association, pp. 915-967, 1986.