

〈논 문〉

기계 시스템의 길이제원 결정과정에 관한 연구

천길정* · 이정환** · 한동철***

(1997년 1월 27일 접수)

A Study on the Decision Process of the Length Dimension of a Mechanical System

G. J. Cheon, J. H. Lee and D. C. Han

Key Words : System Design(시스템 설계), Length Dimension(길이제원), Information Flow(정보경로), Design Process(설계과정), Design Theory(설계이론)

Abstract

Decision process for length dimension in the mechanical system design process has been studied with a washing machine transmission as a model. The results are, (i) the length dimensions of the non-shaft elements are independent of other elements, (ii) the length dimensions of the shaft elements are dependent on the dimensions of the non-shaft elements located inside and outside of that elements, (iii) the length dimensions of the inner shaft elements are dependent on those of the outer shaft elements located parallel, (iv) the length dimensions of the shaft elements located serial are independent of each other.

1. 서 론

기업간 국가간의 경쟁이 치열해짐에 따라 생산성을 향상시키기 위해 설계에서부터 가공과 측정에 이르기까지의 모든 과정을 컴퓨터에 의해 자동으로 수행하려는 경향이 증대되고 있다. 그 중에서도 설계분야에 관한 연구가 제일 활발히 진행되고 있으나, 그 내용은 설계제원이 결정된 후의 도면생성의 자동화(computer aided drawing)가 대부분이고, 설계제원이 결정되기까지의 개념설계와 기본설계 및 상세설계 단계에서 컴퓨터의 이용은 아직도 미미한 편이다. 설계작업은 그 본질상 해석작업과는 달리 따라야 할 뚜렷이 정해진 원칙이 없이 주로 경험과 직관에만 의존해 왔으며, 개발된 설계기술도

해석기술과는 달리 보편화하거나 공식화하기가 매우 복잡하기 때문이다. 이렇게 설계작업은 주로 경험과 직관에만 의존하는 관계로 많은 시행착오를 겪어야 함으로써 신제품 개발기간이 길어지고, 개발비용이 많이 소요될 뿐만아니라, 설계개발 경험을 타인에게 정확히 전달할 수가 없어서 담당 기술자의 부서이동시 기술개발과 경험 축적이 새로이 시작되어야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 10~20년 사이 설계이론에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 최적화 알고리즘을 설계에 적용하기 위한 최적설계 이론은 대부분 특정요소의 제원이나 형상을 결정하기 위한 것이고, 지금까지 개발된 설계원칙이나 설계공식도 대부분 단독 기계요소 설계시에 지켜져야 할 이론들로서, 시스템을 종합적으로 고려한 설계원칙은 많이 알려져 있지 않다.⁽¹⁻⁶⁾

따라서, 본 논문에서는 시스템 전체를 대상으로 하여, 개념설계와 기본설계가 끝난후의 구체 설계

*회원, 원광대학교 기계공학과

**원광대학교 대학원 기계공학과

***회원, 서울대학교 기계설계학과

작업을 컴퓨터를 이용하여 자동화하기 위해 필수적인 설계 정보전달경로와 제원 결정순서를 규명하고자 한다. 설계 정보중에서도 길이 제원 정보만을 본 연구의 대상으로 하였다.

2. 본 론

2.1 제원 결정조건

하나의 기계 시스템은 여러 가지 기본적인 기계 요소들이 결합되어 형성되며, 이때의 각 기계요소들의 형상과 제원은 그들 각각의 고유기능을 수행할 수 있도록 결정된다. 한 기계요소의 제원은 그 요소가 수행해야 할 물리적 기능과 그 기능을 만족시키기위한 물리적 량 (“기능수행조건”)에 의해서 제한을 받으며, 또한 내외 전후의 주변에 배치될 다른 기계요소와의 간섭과 결합 가능성(“공간배치조건”)에 의해서도 제한을 받는다. 따라서 기계요소의 제원을 결정하기 위해서는 위의 두가지 조건을 모두 검토하여야 한다.⁽⁷⁾

2.2 길이제원 결정과정 분석

임의의 시스템을 구성하는 부품들을 크게 분류하면, 동력발생부품, 동력전달부품, 동력수용부품(작업부품), 및 구조형성부품(지지부품)으로 나눌 수 있다.⁽⁷⁾

이때 전혀 다른 형상을 가짐으로써 다른 시스템

에서는 이용되지 않고 특정 시스템에만 이용되는 부품은 거의 다 지지기능을 수행하며, 시스템의 외관을 구성하는 구조형성부품인 경우가 많다. 직접적으로 기계 고유의 기능을 구성하는 동력전달기능이나 작업기능을 수행하는 부품들은 대부분 기본적인 표준 기계요소들로 이루어진다. 또한 이와 같은 범용 표준 기계요소들에 대해서는 개별 요소별로 그에 대한 설계 기준식들이 오랜 세월동안 거의 완벽하게 “교과서적인 식”으로 정립되었다.^(8,9)

여러 가지 표준 기계요소들에 대하여 길이제원을 결정하기 위해 필요한 인자들을 정리하면 Table 1과 같다.

알고싶은 길이제원(출력변수)을 결정하기 위해서는 그와 관계된 인자들(입력변수)에 관한 정보를 미리 확보하여야 한다. 출력변수가 입력변수들에 의해 외연적(explicit)으로 표현되는 경우에는 단 한번에 출력변수가 결정되고, 내연적(implicit)으로 표현되는 경우에는 반복과정을 거치는 하나, 전체적인 정보 유동은 여전히 입력변수 쪽에서 출력변수 쪽으로 일어난다.

Table 1에서 알 수 있는 바와 같이, 축이외 요소의 길이제원은 동력이나 하중조건(기능수행조건)의 영향과, 이들이 결합되는 축의 직경(공간배치조건)의 영향을 받아 결정된다. 즉, 축이외 요소의 길이제원은 직접 접촉을 유지하는 축의 직경외에는 다른 요소의 길이 제원에 의한 영향을 전혀받지 않

Table 1 Parameters necessary to determine the length dimensions of the basic mechanical elements

Elements	Length parameters (Output parameters)	Preceding parameters (Input parameters)
Screw, Bolt, Nut	Pitch, No. of teeth	Load, Effective diameter, Material
Spring	Wire diameter, No. of Winding	Load, Spring diameter, Material
Bearing	Width	Load, Shaft diameter, R. P. M., Bearing Type
Gear	Width	Load, Shaft diameter, R. P. M., Material
Clutch, Brake, Coupling	Width	Load, Operating condition, Shaft diameter, Type, Material
Rope, Chain, Pully	Width of Hub	Load, Shaft diameter, Type, Material
Seal	Width	Type, Shaft diameter
Shaft	Length	

고, 자체의 기능수행조건만에 의해서 결정된다. 반면에 축의 길이는, 축에 부착되는 제반 다른 요소들의 길이제원을 알지 않고서는 결정할 수가 없다.

두 개의 축이 병렬배치되어 있는 경우, 즉 한 축이 다른 축축에 배치되는 경우에 있어서, 안쪽축의 양끝이 바깥쪽축의 밖으로 돌출되어 있지 않으면 [Fig. 1(a)], 안쪽축은 다른요소와 결합될 수 없어서 축으로의 기능을 수행할 수가 없다. 따라서 안쪽축의 길이는 반드시 바깥쪽 축의 길이보다 길어야 한다[Fig. 1(b)]. 이때 바깥쪽축의 길이는 안쪽 축 길이에 관한 정보와는 무관하게 자체에 설치되는 제반 요소들만을 고려하여 결정할 수 있다. 반면에 안쪽축의 길이를 결정할 때는, 바깥쪽축의 길이보다 길어야 한다는 제한조건을 추가로 고려하여야 한다. 즉 바깥쪽축의 길이를 먼저 결정한 후에 안쪽축의 길이를 결정해야 한다.

각자의 고유기능을 수행하는 별개의 두 축이 동일 직선상에 직렬로 배치되는 경우(Fig. 2), 어느 정도 떨어진 거리에 배치되어 직접 접촉하지 않는 경우에는 두 축의 길이 사이에는 아무런 관련이 없다. 두 축이 상호연결되는 경우에도, 결합에 필요한 형상과 요소가 개념설계 단계에서 이미 결정되기 때문에, 각 축의 길이는 이들 결합요소와 형상에 관한 정보만을 이용하여 다른 축의 길이에 관한 정보와는 상관없이 상호독립적으로 결정 가능하다. 즉 두 축이 직렬배치되는 경우에는 직렬되는 전체 축의 길이에 관한 특별한 제한조건(예: $l_{total} \equiv l_{front} + l_{back}$)이 없는 한, 어느 한 축의 길이를 결정할 때 다른 축의 길이가 전혀 영향을 미치지 않는다.

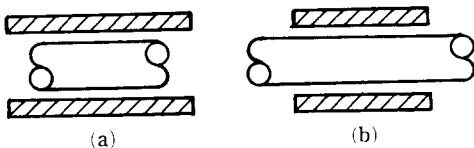


Fig. 1 (a), (b) schematic diagram of shafts arranged in parallel

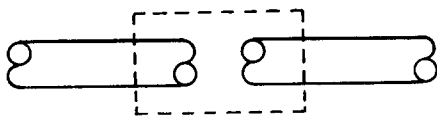


Fig. 2 Schematic diagram of shafts arranged in series

2.3 예제 분석

앞에서 분석한 이론을 검증하기 위하여 구체적인 실제 시스템을 모델로 하여 제반요소들의 길이제원 정보경로를 분석하였다. 해석대상 모델로는 비교적 크기가 작고, 전체 요소수가 적으면서도 기계요소가 거의 모두 사용되고 있으며, 현장에서의 적용예가 많은 국산 세탁기용 트랜스미션을 선정하였다. (7) (Fig. 3)

시스템을 구성하는 각 요소가 지탱하는 물리적량은 동력전달경로에 따라 순차적으로 결정되어야 하므로, (7) 그 순서에 따라 각 요소의 길이제원 결정인자를 분석한다.

2.3.1 V벨트 및 풀리

벨트와 풀리의 직경은 전달하는 동력과 감속비에 의해 그 제원이 결정되며, 풀리의 폭과 플랜지판의 두께는 표준품 사용조건에 따라 결정된다. 즉, 벨트와 풀리의 길이제원은 기능수행조건만에 의해서 결정된다.

2.3.2 G-shaft

G-shaft의 형상은 Fig. 4와 같고, 각 치수는 다음과 같이 결정된다.

$L_{G1} : L_{G1}$ 은 태양기어부로서 planet gear와 맞물리며, 그 길이는 기어설계 기준과 carrier의 제원 및 조립 여유에 의해 결정된다.

$L_{G2} : L_{G2}$ 는 플랜지 폭으로서 축방향의 하중을 지지하며 강도상의 관점에서 결정된다.

$L_{G3} : L_{G3}$ 부에는 2개의 oilless bearing이 끼워지

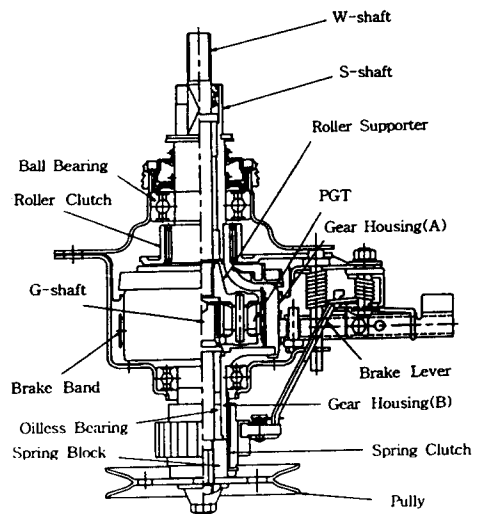


Fig. 3 Schematic diagram of transmission

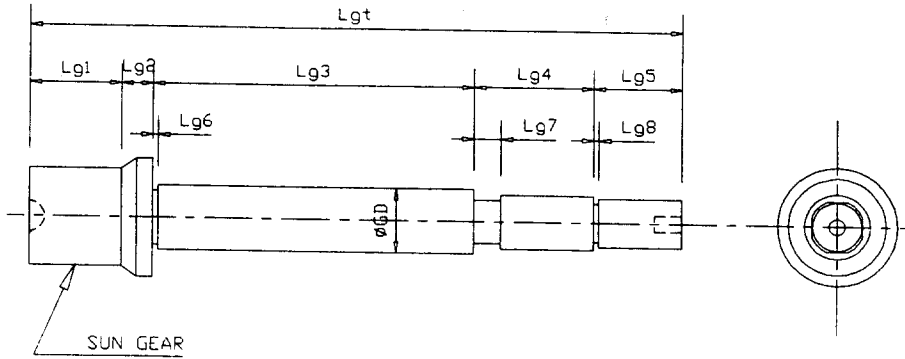


Fig. 4 Schematic diagram of G-shaft

며, 그 길이는 두개의 oilless bearing과 간섭여유에 의해서 결정되어진다. 간섭여유는 Gear housing(B)의 길이가 결정된 후 결정된다.

L_{G4} : L_{G4} 에는 spring block과 클러치 풀리가 끼워지며 그들에 의해 길이가 결정된다.

L_{G5} : L_{G5} 부는 clutch pulley를 고정하는 nut가 체결되는 부위로서 표준 제원과 조립여유에 의해 결정된다.

L_{G6} 의 길이 : L_{G6} 부는 플랜지면과 oilless bearing의 단면이 회전접촉시 접촉간섭을 하는 것을 고려하여 두는 틈으로서 그 폭은 가공성을 고려하여 결정한다.

L_{G7} 의 길이 : L_{G7} 의 길이는 Gear housing(B)의 oilless bearing과 G-shaft 및 spring block의 간섭과 조립을 고려하여 결정한다.

제원 결정과정을 순서대로 작성하면 Fig. 5와 같다.

2.3.3 유성기어열

유성기어열(PGT)을 구성하는 기어의 폭은 굽힘

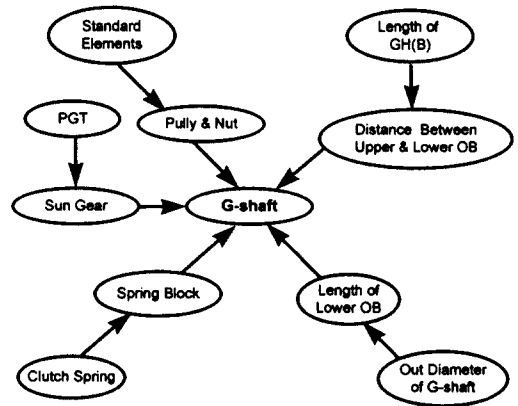


Fig. 5 Flowchart for G-shaft dimension

강도, 면압강도 및 스크링강도를 고려한 기능수행 조건만에 의해 직경 정보들과 함께 결정된다.⁽⁷⁾

2.3.4 W-shaft

W-shaft의 형상은 Fig. 6와 같고 각 치수는 다음과 같이 결정된다.

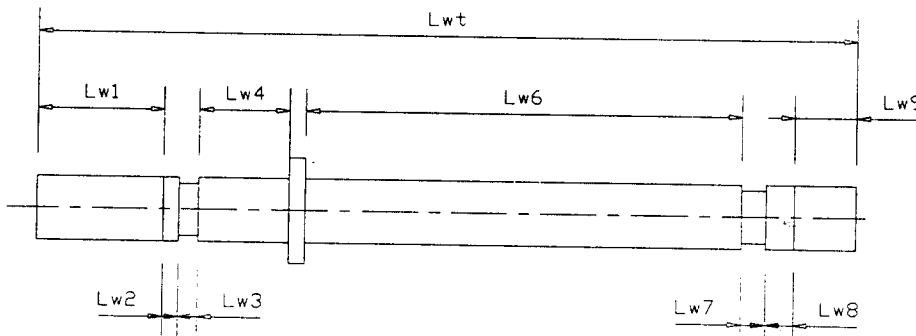


Fig. 6 Schematic diagram of W-shaft

L_{W1} : L_{W1} 은 spline부의 길이로 pulsator에 연결되며 전달토크에 의해서 결정된다.

L_{W2} : L_{W2} 는 spline축에 이어 pulsator부가 연결되는 곳으로 결합을 고려한 상수값으로 결정된다.

L_{W3} : L_{W3} 에는 스냅링이 끼워지며, 스냅링의 폭만큼 틈이 결정된다.

L_{W4} : L_{W4} 부는 Water seal(B)와 W-shaft 플랜지 사이의 틈으로써, S-shaft의 나사부 길이에 의한 영향을 받는다.

L_{W5} : L_{W5} 는 W-shaft의 플랜지로서 그 폭은 축방향하중에 의해 계산되어진다.

L_{W6} : L_{W6} 부에는 2개의 oilless bearing이 끼워지며, 그 길이는 oilless bearing과 S-shaft의 길이에 의해 영향을 받는다.

L_{W7} : L_{W7} 은 스냅링이 끼워지는 부분으로 W-shaft의 위치를 고정해 주는 역할을 하며, 그 폭은 스냅링의 폭으로 결정된다.

L_{W8} : L_{W8} 부는 spline축과 스냅링의 간섭을 고려한 길이로서 상수로 결정되어진다.

L_{W9} : L_{W9} 부는 carrier의 spline부와 맞물리는 spline부로서 전달토크의 크기에 의해 결정되어진다.

제원 결정과정을 순서대로 작성하면 Fig. 7과 같다.

2.3.5 Oilless bearing

Oilless bearing의 길이는 반경방향하중과 수명 및 사용 재료의 PV치 등에 의한 기능수행조건만에 의해 결정된다.

2.3.6 Gear housing(B)

Gear housing(B)의 형상은 Fig. 8과 같고, 각 치

수는 다음과 같이 결정된다.

L_{GHB1} : L_{GHB1} 은 Gear housing(B)의 플랜지 두께로서 좌굴이 없이 토크를 전달할 수 있도록 결정된다.

L_{GHB2} : L_{GHB2} 는 플랜지부와 축부에 라운드를 준 것으로 프레스가공이나 단조가공을 고려한 플랜지 두께와 축의 내경 및 외경의 두께에 의해 정해진다.

L_{GHB3} : L_{GHB3} 는 여유길이로서 Gear housing(B)와 Gear housing(A)가 결합되었을 때 두 축을 지지하는 베어링간 거리에 의해 정해진다.

L_{GHB4} : L_{GHB4} 부에는 ball bearing과 clutch spring이 끼워지며, 그들 요소에 의해 길이가 결정된다.

L_{GHB5} : L_{GHB5} 의 길이는 G-shaft의 플랜지가 끼워지는 부분으로, roller supporter guide의 회전 간섭을 고려하여 S-shaft플랜지 폭이 결정된 후 그에 따라 길이가 결정된다.

L_{GHB6} : L_{GHB6} 부에는 두개의 oilless bearing이 끼워지며, 그에 의해 길이가 결정된다.

Gear housing(B)의 총 길이는 외측요인에 의한 길이의 합과 내측요인에 의한 길이의 합을 비교하

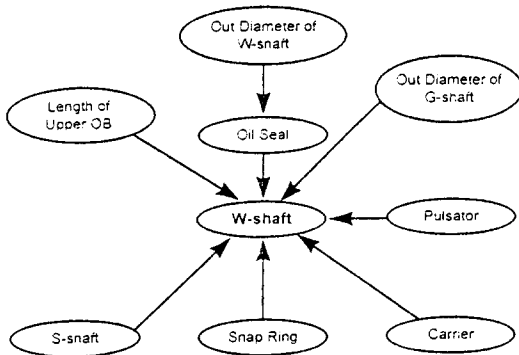


Fig. 7 Flowchart for W-shaft dimension

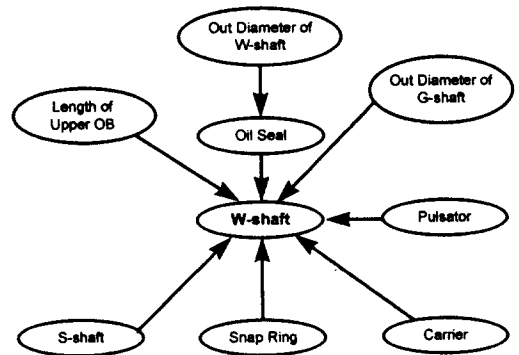


Fig. 8 Schematic diagram of Gear housing(B)

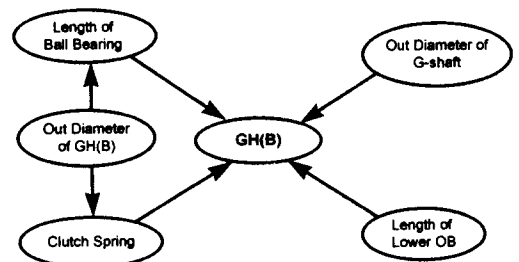


Fig. 9 Flowchart for Gear housing(B) dimension

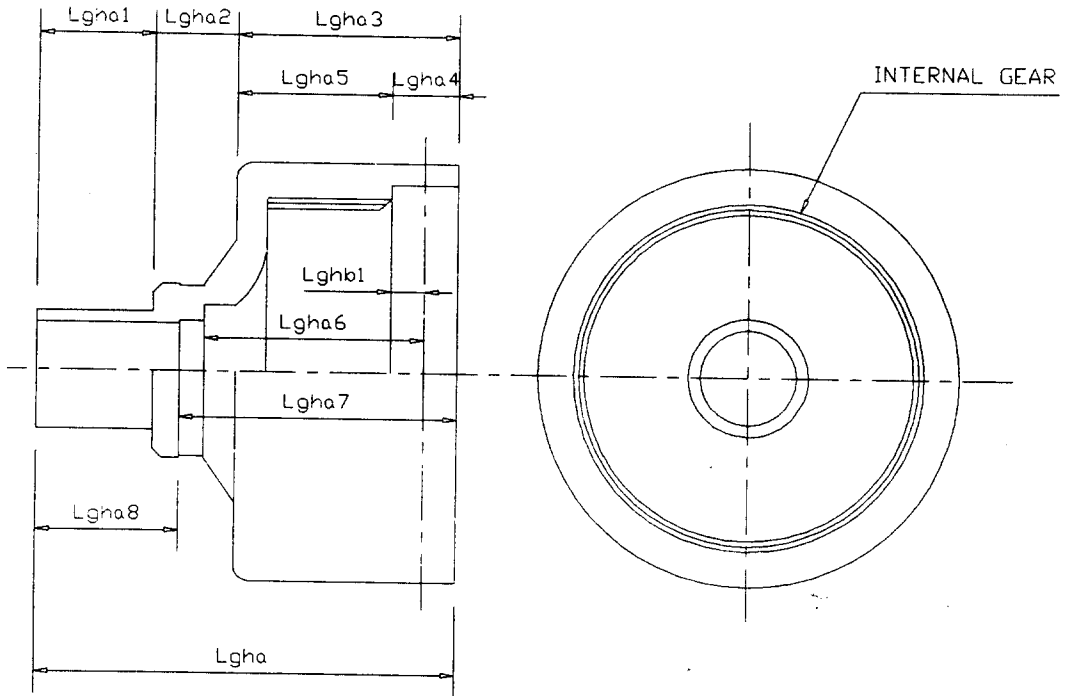


Fig. 10 Schematic diagram of Gear Housing (A)

여 큰 쪽의 길이를 기준으로 하여 제원을 결정한다.

제원 결정과정을 순서도로 작성하면 Fig. 9과 같다.

2.3.7 Gear housing(A)

Gear housing (A)의 형상은 Fig. 10과 같고 각 치수는 다음과 같이 결정된다.

L_{GHA1} : L_{GHA1} 의 길이는 S-shaft와 끼워맞춤을 하는 부분으로 그 길이는 간섭 및 전달 동력의 크기에 의해 결정된다.

L_{GHA2} : L_{GHA2} 부의 길이는 roller clutch부와 Gear housing (A)의 조립간섭을 고려하여 결정된다.

L_{GHA3} : L_{GHA3} 부는 oilless bearing이 끼워지는 부분으로서, W-shaft의 직경이 결정되면 그에 맞는 oilless bearing을 결정하고, 그에 따라 길이가 결정된다.

L_{GHA4} : L_{GHA4} 부는 스프링이 끼워지는 부분으로 스프링의 폭에 의해 길이가 결정된다. 스프링은 S-shaft의 직경에 의해 표준 제원이 결정된다.

L_{GHA5} : L_{GHA5} 의 길이는 roller supporter의 길이에 의해 결정된다.

L_{GHA6} : L_{GHA6} 부는 planet gear가 맞물리는 곳으

로 링기어가 가공되어진다. 그 길이는 조립과 전달 동력 등을 고려하여 결정된다.

L_{GHA7} : L_{GHA7} 부의 길이는 Gear housing (B)의 플랜지 폭과 플랜지를 고정하기 위한 부위로서 그들 요소를 고려하여 결정된다.

Gear housing (A)의 총 길이는 내측요인과 외측요인의 합 중에서 큰 값으로 결정한다.

제원 결정과정을 순서도로 작성하면 Fig. 11과 같다.

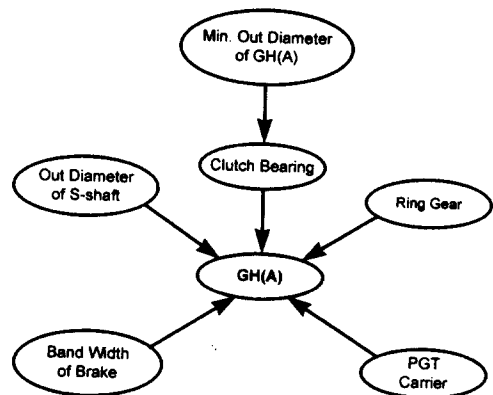


Fig. 11 Flowchart for Gear housing (A) dimension

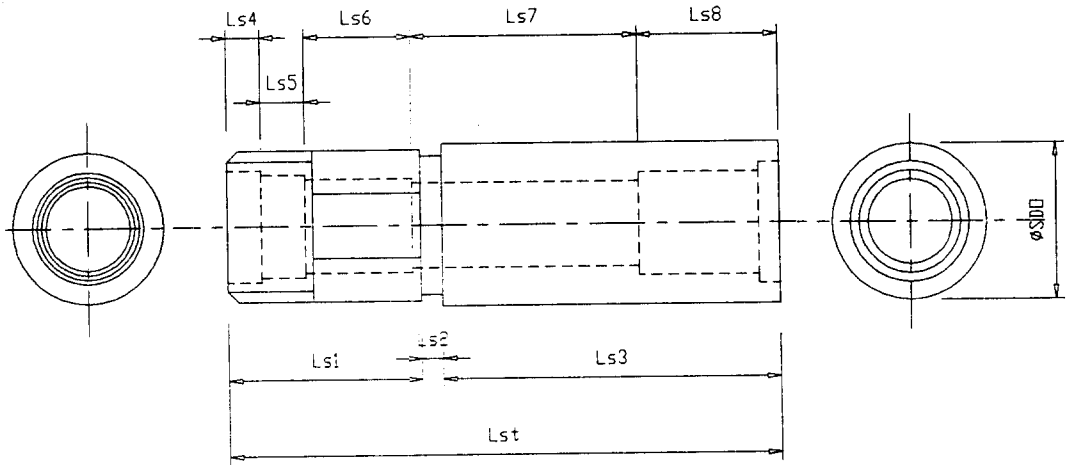


Fig. 12 Schematic diagram of S-shaft

2.3.8 Ball bearing & Clutch bearing

Ball Bearing과 Clutch Bearing의 길이는 기능 수행조건에 의해 최소 직경이 결정되면 표준 규격 조건에 의해 자동적으로 결정된다.

2.3.9 S-shaft

S-shaft의 형상은 Fig.12와 같고, 각 치수는 다음과 같이 결정된다.

L_{s1} : L_{s1} 부는 탈수통과 결합되는 부분으로 그 길이는 탈수통과 세탁통의 조립조건에 의해 결정된다.

L_{s2} : L_{s2} 부에는 hub(A) sealer의 color가 끼워지는 부분이며, 조립조건에 의해 그 길이가 결정된다.

L_{s3} : L_{s3} 부에는 water seal(A)와 ball bearing및 roller clutch가 끼워지며, 그들을 고려하여 길이가 결정된다.

L_{s4} : L_{s4} 부에는 water seal(B)가 끼워지며, W-shaft의 직경이 결정된 후 표준 규격에 따라 그 길이가 결정된다.

L_{s5} : L_{s5} 부는 W-shaft의 color폭과 water seal (B) 및 color와의 회전간섭을 고려한 틈새의 합으로 결정된다.

L_{s6} : L_{s6} 부에는 oilless bearing이 끼워지며, W-shaft의 직경결정후 규격에 따라 oilless bearing의 길이를 결정하면 길이가 결정된다.

L_{s7} : L_{s7} 부는 oilless bearing과 Gear housing (A) 사이의 틈새로 S-shaft의 외측요인에 의한 길이와 내측요인에 의한 길이의 차에 의해 결정된다.

L_{s8} : L_{s8} 부는 Gear housing(A)의 축과 억지끼워맞춤을 하는 부분으로 Gear housing(A)의 축부의 길이가 결정된후 결정된다.

S-shaft의 총 길이는 외측요인의 합과 내측요인의 합중 큰 값으로 결정된다.

재원 결정과정을 순서대로 작성하면 Fig.13과 같다.

2.3.10 스프링 클러치

스프링 클러치의 길이는 토크전달이라는 기능 수행조건에 의해 폭과 권수가 결정되면, 그에 따라 자동으로 결정된다.

2.3.11 브레이크 밴드

브레이크 밴드의 폭은 회전관성 및 제동시간과

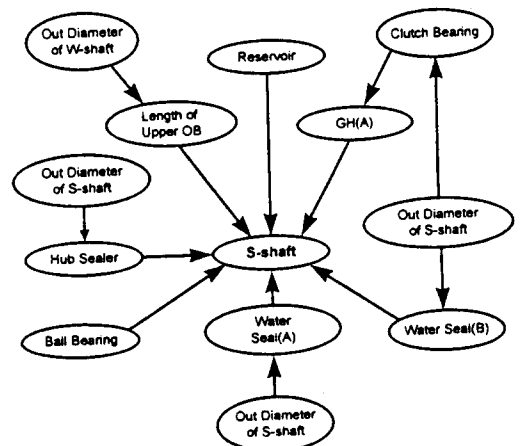


Fig. 13 Flowchart for S-shaft dimension

같은 기능수행조건만에 의해서 결정된다.

2.4 결과 및 토의

예제를 대상으로 한 각 요소의 길이 제원 결정과정을 요약하면 Fig. 14와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시스템을 구성하는 모든 요소들의 길이 제원 정보들은 최종적으로 모두 축계요소로 수렴되며, 직렬연결된 축들은 상호간에 독립적으로 존재하고, 병렬연결된 축들간에는 외부의 축에서 내부의 축으로 정보 전달이 이루어진다.

즉, 예제를 이용한 분석결과가 이론적인 분석 결과와 매우 잘 일치함을 확인할 수 있다.

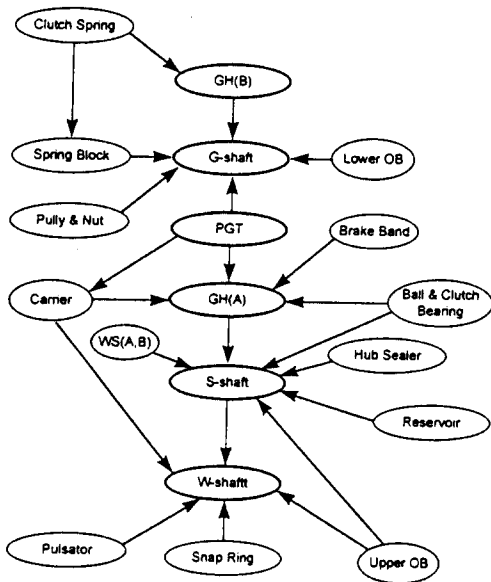


Fig. 14 Flowchart of decision making for length dimension

2.5 자동 설계 프로그램

이상의 분석결과와 원칙을 적용하여 세탁기용 트랜스미션을 구성하는 제반요소의 길이제원을 자동으로 결정하는 설계 프로그램을 효과적으로 개발하였다. (Fig. 15)

3. 결 론

기계 시스템 설계시의 길이 제원 결정과정을 이론적으로 분석하고, 이를 검증하기 위하여 세탁기용 트랜스미션을 모델로 하여 분석하였으며, 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 축계가 아닌 요소의 길이제원은 주변 요소의 길이제원에 영향을 받지않고, 고유의 물리적 기능수행조건만에 의해서 결정된다. (비축계단독의 원칙)

(2) 축계의 길이제원은 축계와 결합되는 주변 요소의 제원이 결정된 후에 그 값들에 의해 결정된다. (축계유입의 원칙)

(3) 여러 축계가 서로간에 병렬배치되어 있는 경우에는, 바깥쪽 요소의 길이 제원 정보가 안쪽 요소의 길이 제원결정에 영향을 미친다. (수축의 원칙)

(4) 서로간에 직렬배치되어 있는 축계들간의 길이 제원 정보흐름은 없다. (정체의 원칙)

탐구된 정보전달경로 결과를 적용 준수하여 자동 설계 프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 기계 시스템 설계를 효과적으로 수행할 수 있었다.

본 논문에서 제시된 길이제원 정보전달경로에 관한 원칙들은 세탁기용 트랜스미션뿐만이 아닌 일반적인 기계 시스템 설계시에도 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Pahl, G. and Beitz, W., 1996, *Engineering Design*, Springer-Verlag.
- (2) Hubka, V., 1982, *Principles of Engineering Design*, Butterworth Scientific.
- (3) French, M. J., 1985, *Conceptual Design for Engineers*, Springer-Verlag.
- (4) Suh, N. P., 1990, "The Principles of Design," Oxford University Press.
- (5) ASME, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, "Design

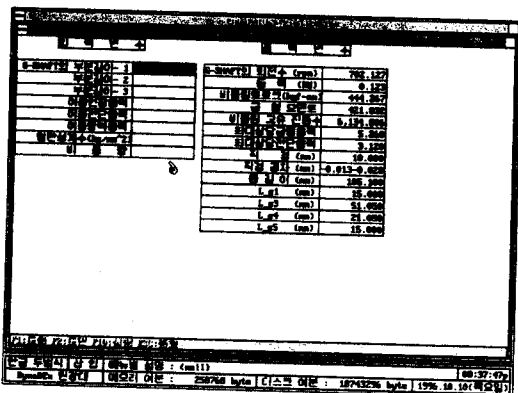


Fig. 15 Design results of the G-shaft

- Theory and Methodolgy.”
- (6) Ullman, D. G., 1992, *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill.
- (7) 천길정, 김완두, 한동철, 1996, “세탁기용 트랜스미션을 모델로 한 기계 시스템 설계이론에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제20권, 제2호, pp. 431~439.
- (8) Shigley, J. E., 1977, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill.
- (9) 정선모, 한동철, 1995, 표준 기계설계학, 동명사.