

메커니즘 설계 대안의 개념적 합성: 사례 기반 접근 방법

한영현*, 이건우**

Conceptual Synthesis of Design Alternatives for Mechanism Design: A Case-Based Approach

Younghyun Han* and Kunwoo Lee**

ABSTRACT

This paper proposes a case-based approach to the conceptual design of mechanisms, especially for the generation of design alternatives in function generation and motion transmission tasks. The aim of this work is to generate and provide various design alternatives by utilizing the previous design concepts underlying in the existing design cases. The approach is based on the basic idea that the whole design concepts or sub-concepts extracted from different design cases can be merged to generate a variety of new design alternatives. The notion of *virtual function generator* is introduced to conceptualize and represent all possible underlying design concepts in the prior design cases. The virtual function generators are extracted in advance from the existing mechanisms and serve as new conceptual building blocks for the synthesis of mechanisms. Various design alternatives are generated basically by merging two virtual function generators that partially match the specified function. By utilizing the design concepts that have been effectively used in the previous design cases, the proposed approach could efficiently produce more feasible design concepts than from-scratch ones. The approach proposed in this paper is illustrated with a design example.

Key words : Conceptual synthesis of mechanisms, Case-based reasoning, Reuse of previous design concepts

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 내용

개념 설계는 설계 과정에 있어서 주어진 기능적 요구 조건이나 설계 요구 사항들로부터 기능 구조를 생성하고 이를 구현할 수 있는 작동 원리와 작동 구조를 찾아내는 작업이다¹⁾. 전체 제품 개발 시간과 비용을 줄이기 위해서는, 개념 설계 단계에서 설계 및 기능 요구 조건을 만족시킬 수 있는 다양한 설계 대안 (design alternatives)들을 생성하여 기술적, 경제적 타당성을 충분히 검토한 후 가장 적절한 것을 선택하여 추후 설계 과정을 진행시키는 것이 바람직하다.

설계자가 기능 발생(function generation)을 목적으로 하는 기계 시스템의 메커니즘을 설계할 때도 먼저

입력과 출력의 운동 타입을 정하고, 그 다음에 이 조건을 만족하는 여러 가지 설계 대안들을 생성하여 검토하게 된다.

메커니즘의 개념 설계를 위해 그 동안 두 가지의 대표적인 설계 방법이 사용되어 왔다^{2,3)}. 첫 번째로 전통적인 메커니즘 설계 방법으로는 기능에 따라 기존의 메커니즘들을 분류해 놓은 도해서나 카탈로그를 이용하는 방법이다^{4,5)}. 이 방법은 메커니즘 설계에 있어서 전형적인 방법이고 과거의 설계 예로부터 설계자가 직접적이고 유용한 설계 개념을 얻을 수 있지만, 관련된 메커니즘을 체계적으로 모두 검토하는 것은 제한된 시간과 비용 때문에 실질적으로는 불가능한 단점이 있다. 두 번째 방법으로는 자유도 해석에 기반하여 링크, 조인트와 같은 기구학적 구조(kinematic structure)를 체계적으로 생성하는 형태 합성(type synthesis) 방법이 있다^{6,7)}. 이 방법은 원하는 메커니즘의

*학생회원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

**중신회원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

구조적 관계를 모두 생성해 낼 수 있는 장점이 있지만, 그 응용에 있어서 몇 가지 제한 점이 있고^(3,8,9), 특히 메커니즘의 기능이나 운동을 직접적으로 반영하지 못하기 때문에 개념 설계 단계에서 설계자가 메커니즘의 기능을 정성적, 직관적으로 이해하는 데 어려움이 따른다.

본 연구에서는 사례 기반 추론(CBR: case-based reasoning)⁽¹⁰⁾의 기법을 메커니즘의 개념 설계에 응용하여, 앞서 첫 번째 방법으로 소개된 기존의 설계 예를 참조하는 전통적인 설계 방법을 컴퓨터를 이용하여 효과적이고 체계적으로 구현할 수 있는 방법을 제시한다.

Fig. 1은 본 연구에서 제시한 개념적 설계 대안 합성을 위한 전체적인 구성을 보여준다. 먼저 메커니즘을 구성하는 빌딩 블록(building block)⁽¹⁾으로서 기본 메커니즘(primitive mechanism)들을 정의하고 이들을 지식 베이스(knowledge base)로 구축한다. 또한, 기존의 메커니즘들을 기본 메커니즘들의 조합으로 표현하고 케이스 베이스(case base)로 구축한다. 다음에 케이스 베이스에 있는 메커니즘들로부터 설계 개념(서브 메커니즘)들이 모두 추출되고 이것들로부터 '가상 기능 발생기'를 생성하여 가상 케이스 베이스에 저장한다. 이때, 효과적인 검색을 위해 기능에 따라 색인 시스템에 가상 기능 발생기에 대한 색인을 저장한다. 그리고 설계하고자 하는 메커니즘의 기능적 요구 조건에 완전 일치, 또는 부분적으로 일치하는 가상 기능 발생기들을 찾아내고 이들을 결합하여 다양한 설계 대안들을 생성하게 된다.

1.2 관련 연구

최근에 들어 메커니즘의 개념 설계에 있어서 기능적 측면을 고려할 수 있는 연구들이 몇몇 제안되었다. 이 연구들은 기능 발생을 목적으로 하는 기존의 많은 메커니즘들 중 상당수가 기본적인 빌딩 블록들의 조합으로 구성되어질 수 있다^(3,7,13)는 개념을 이용하고 있다.

Kota와 Chiou⁽⁹⁾는 기본 메커니즘들을 이용하여 기능 발생을 위한 메커니즘의 합성을 위해 행렬에 기반한 방법을 제시하고 합성된 메커니즘을 평가 하기 위한 정성적 시뮬레이션 방법을 제시하였다. 본 연구에

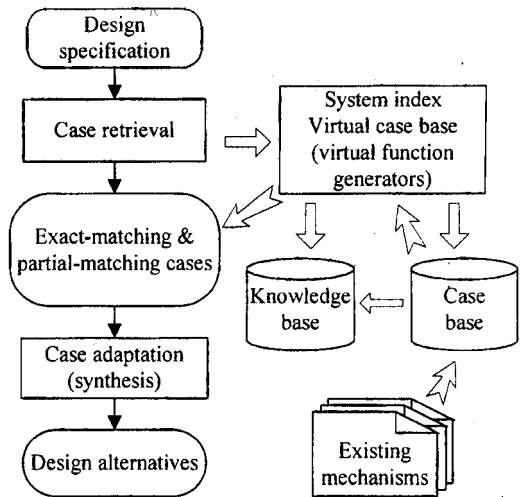


Fig. 1. Overall framework for case-based synthesis of mechanisms.

서도 역시 비슷한 빌딩 블록의 개념을 사용하지만, Kota와는 달리 기본 메커니즘들 뿐만 아니라 그것들의 조합도 빌딩 블록으로 사용한다. 또한, Kota의 일은 기본적으로 요구되는 기능을 분해하여 해를 찾는 것이므로, 기능을 분해하기 위한 변형 규칙이 제공된다. 본 연구에서는 이와 같은 인위적인 기능의 분해 과정은 없으며 설계 개념의 추출 과정을 통해 기존의 설계 사례에 내재되어 있는 설계 개념을 그대로 사용한다. 한편, 본 연구에서 제안한 방법은 여러 개의 출력을 갖는 메커니즘의 경우도 다룰 수 있다.

Chakrabarti와 Bigh^(9,13)는 기계적 힘과 운동을 전달할 수 있는 링크 단위의 기본 구조들을 빌딩 블록으로 정의하고, 일종의 넓이 우선 탐색 기법(breadth-first search)을 이용하여 기본 구조들을 차례로 연결해서 주어진 입력과 출력 조건을 만족하는 해를 모두 합성하였다. 본 연구에서는 링크보다 상위 레벨인 기본 메커니즘들의 조합이 합성의 기본 단위이고 CBR 기법을 응용하여 기존의 설계 개념들을 재사용하여 해를 구성한다.

사례 기반 추론⁽¹⁰⁻¹²⁾이란, 과거의 경험으로부터 유사한 문제를 찾아내고, 이것을 새로운 문제에 적합하게 변형 및 수정하여 해를 찾고자 하는 문제 해결 기법이다. 또한, 이렇게 해결된 문제도 저장하여 추후에 다시 문제 해결에 이용한다. 앞에서 설명한 대로, 이전의 설계를 참조하여 새로운 설계 개념을 얻는 것이 설계 문제의 해결에 흔히 사용되는 방법인데, 사례 기반 추론은 이러한 점을 잘 반영하고 있다. 메커니즘의 설계에 사례 기반 추론을 적용한 연구들은 다음

¹빌딩 블록이란 메커니즘이나 기계를 구성하는 기본 단위로서 링크나 조인트 같은 기구학적 구조의 가장 기초적인 빌딩 블록에서, 스피라이드, 크랭크나캠, 요동철과 같이 몇 개의 링크나 조인트들로 이루어진 상위 레벨의 빌딩블록 등 그 목적에 따라 서로 다르게 정의된다. 본 연구에서는 상위 레벨의 빌딩 블록으로서 기본 메커니즘을 정의하여 사용한다.

과 같다.

Issa, Shen과 Chew⁶⁾는 CBR 기법을 이용한 메커니즘의 개념 설계 시스템인 Smart 시스템을 구현하였다. 이 시스템에서는 메커니즘을 그래프 구조로 표현하고 주어진 설계 요건과 비슷한 케이스 하나를 찾아낸 다음, 변환 규칙을 이용하여 이 메커니즘의 기구학적 구조를 치환, 추가, 제거해서 설계 목적에 맞는 메커니즘을 생성한다. 이 연구는 기구학적 구조를 기반으로 하는 접근 방법이고, 본 연구는 상위 레벨의 빌딩 블록인 기본 메커니즘을 기반으로 하고 있다. 또한, 여기에서는 하나의 온전한 케이스를 재사용하는 방법을 제시하였는데, 본 연구에서는 여러 개의 부분 케이스를 한꺼번에 이용하는 접근 방법을 취하고 있다.

CADET 시스템^{14,16)}과 WAIT 시스템¹⁷⁾은 각각 메커니즘의 개념 설계와 전기-기계 시스템의 설계에 CBR을 적용하였다. CADET 시스템은 부분 일치를 허용하고 여러 개의 케이스를 이용하여 메커니즘을 합성하는 점에 있어서 본 연구와 상당히 유사하다. 하지만, 이 시스템들도 Kota의 방법과 같이 기본적으로 주어진 설계 요건인 기능을 분해(이 과정을 elaboration이라고 부른다.)하는 과정을 거치고 그 다음 매칭(matching)을 통하여 분해된 각각의 기능을 만족하는 케이스 또는 부분 케이스들을 찾아 전체 메커니즘을 합성한다. 이와 같이 전체 기능을 작은 기능들로 분해하기 위해서 이들 시스템은 각각 특정 영역에 한정되어 적용되는 원리 또는 지식을 필요로 한다. 이러한 원리로서 CADET 시스템에서는 거동 보전 변환(behavior-preserving transformation)이라는 방법을 사용하고, WAIT시스템은 본드 그래프(Bond graph)를 사용하였다. 반면, 본 연구에서 제안한 방법은 어떤 정해진 원리에 따라 주어진 기능을 분해하는 과정이 없으며, 기존의 설계 예에 내재되어 있는 설계 개념을 그대로 추출하여 사용하는 접근 방법을 취한다. 또한, 합성에 필요한 설계 개념들을 미리 추출함으로써 케이스를 검색, 복구할 때 시간이 많이 걸리는 그래프 매칭 작업을 피할 수가 있다.

2. 메커니즘의 추상화 및 표현

2.1 기본 메커니즘

본 연구에서는 힘이나 운동을 전달하는 메커니즘을 구성하는 빌딩 블록으로서 기본 메커니즘을 정의하여 사용한다. 가령, 크랭크-로커나 캠-병진 피동절은 각각 회전 운동을 요동 운동으로, 회전 운동을 직선 운동으로 변환하는 기본 메커니즘들이다. 복잡한 메커니즘

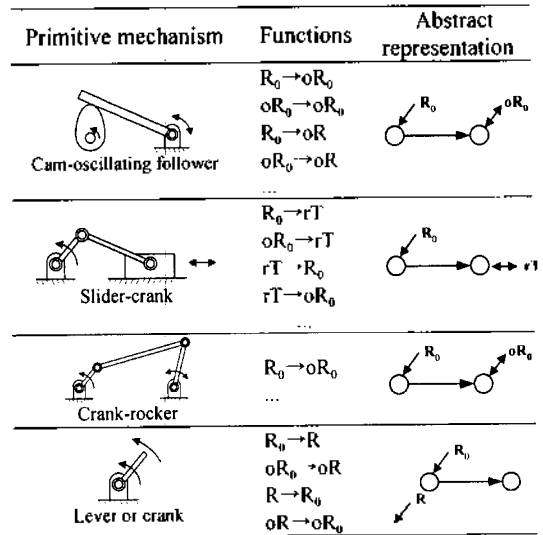


Fig. 2. Primitive mechanisms with their function and abstract representation.

은 사실상 이들 기본 메커니즘들의 조합이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 기본 메커니즘을 입력과 출력을 갖는 일종의 블랙박스로 추상화하여 표현한다. Fig. 2는 몇몇 대표적인 기본 메커니즘들과 그것들의 운동 변환 기능 및 추상화 된 표현의 예를 보여준다. 그림에서와 같이 기본 메커니즘은 운동의 입력점과 출력점을 나타내는 두 개의 노드(node)와 메커니즘의 추상적 구조를 나타내는 하나의 아크(arc)로 표현된다. 여기서 아크는 방향성을 갖는데, 이것은 메커니즘을 통해 입력에서 출력으로 가는 운동의 흐름을 나타낸다. 따라서, 기본 메커니즘은 방향성 그래프(directed graph)로 표현될 수 있다.

입력과 출력에 해당하는 메커니즘의 운동은 Joskowicz¹⁸⁾과 Erdman¹⁷⁾의 분류를 응용하여 크게 회전 운동(R), 병진 운동(T), 그리고 이들의 조합인 일반 운동(G)으로 분류한다. 특히, 회전 운동에서 축의 회전 운동은 회전 반경이 없는 축회전으로 간주하여 R_0 로 나타내고 임의의 회전 점에 대해 회전 반경을 갖는 회전 운동은 R로 나타낸다. 또한, 이런 운동의 성격을 더욱 세분하여 나타내기 위해 왕복 운동을 나타내는 r(reciprocating)과 요동 운동을 나타내는 o(oscillating) 및 간헐 운동을 나타내는 i(intermittent)라는 '운동 한정자'를 도입한다.

한편, Fig. 2에 보여진 것처럼 하나의 기본 메커니즘은 위에서 분류한 운동에 따라 여러 개의 기능을 가질 수가 있다. 이것은 같은 메커니즘이 그 용도에

따라 서로 다른 기능을 수행하기 때문이다. 예를 들면, 슬라이더-크랭크 메커니즘의 경우에 내연 기관에서는 직선 왕복 운동을 축회전 운동으로 변환($rT \rightarrow R_0$)하는 기능을 수행하고 기계 톱에서는 축회전 운동을 직선 왕복 운동으로 변환($R_0 \rightarrow rT$) 하는 역할을 한다. 즉, 메커니즘의 가역성(reversibility)에 의해 여러 개의 기능을 수행할 수 있다. 또한, 캠-요동 피동절과 같은 경우, 요동 운동을 하는 피동절에서 지면과의 조인트 부분에서는 요동 축회전 운동(oR_0)을 하지만, 피동절의 끝 부분을 출력점으로 간주하면 회전 반경을 갖는 요동 회전 운동(oR)을 한다. 즉, 메커니즘에서 출력점의 선택에 따라서도 그 기능이 달라진다.

아와 같이 동일한 메커니즘이 여러 기계에서 서로 다른 기능을 수행하는 경우에 별개의 설계 개념으로 사용되었다고 간주할 수 있다. 이런 면을 반영하여 본 연구에서는 하나의 기본 메커니즘이 서로 다른 여러 개의 기능을 가질 수 있도록 표현한다.

2.2 메커니즘

복잡한 기능을 수행하는 메커니즘들도 상당수가 기본 메커니즘들의 조합으로 이루어져 있다. 예를 들면, Fig. 3에서와 같이 사진기에서 필름을 전진시키는 메커니즘^[4]도 3가지 기본 메커니즘으로 구성되어 있다. 이 메커니즘은 하나의 입력인 축회전 운동(R_0)을 먼저 두 개의 캠이 각각 두 개의 왕복 직선 운동(rT)으로 변환하고 그 중에 하나를 슬라이더-크랭크가 요동 축회전 운동(oR_0)으로 변환한다. 따라서 최종적으로 두 개의 출력인 왕복 직선 운동(rT)과 요동 축회전 운동(oR_0)이 갈퀴(claw)로 전달된다.

이 메커니즘도 기본 메커니즘들의 조합으로 Fig. 3의 오른쪽 그림과 같이 방향성 비순환 그래프(directed acyclic graph)를 이용하여 추상적으로 표현할 수 있다. 이 그래프에서 아크들은 메커니즘을 구성하는 기본 메커니즘들을 나타내고 노드들은 입, 출력 운동을 나타낸다.

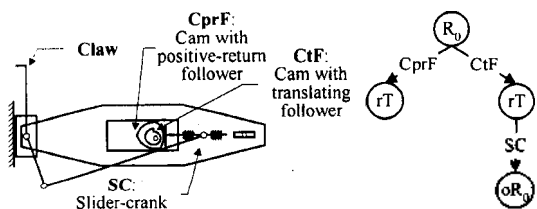


Fig. 3. Kinematic diagram and abstract representation of a film clawing mechanism.

Primitive mechanism #10	
Name	Cam with oscillating follower
Function	Func. #1: $R_0 \rightarrow oR_0$
	Func. #2: $oR_0 \rightarrow oR_0$
	Func. #3: $R_0 \rightarrow oR$
	Func. #4: $oR_0 \rightarrow oR$
Interchangeability	Irreversible
Input/output relation	Nonlinear
Cycle ratio	1
Spatial configurations	...

Fig. 4. Knowledge base of a cam-oscillating follower.

2.3 지식 베이스와 케이스 베이스

자식 베이스(knowledge base)는 메커니즘을 합성할 때 사용되는 가장 기본적인 빌딩 블록인 기본 메커니즘들에 대한 모든 관련 정보를 저장하는 역할을 한다. 여기에는 기본 메커니즘의 이름, 합성에서 사용되는 가장 기본적인 정보인 기능이 저장된다. 그 외에도 운동 변환의 교환성, 운동의 선형성, 싸이클 비율, 공간 배치 등의 정보가 저장된다. Fig. 4는 캠-요동 피동절에 대해 관련 정보를 저장한 예를 보여주고 있다(그림에서 공간 배치 정보에 관한 설명은 이 논문의 범위 밖이므로 생략한다. 관심 있는 독자는 참고문헌^[9]를 참고하기 바란다).

케이스 베이스(case base)는 기존의 메커니즘들에 관한 모든 정보를 저장한다. 저장된 각각의 메커니즘에 대한 정보가 하나하나의 구체적인 설계 사례가 된다. 메커니즘에 대한 관련 정보로서 메커니즘의 이름, 메커니즘의 전체 기능(overall function), 메커니즘의 타입(입, 출력 수에 따라 결정), 메커니즘을 구성하는 기본 메커니즘의 수, 메커니즘의 그래프 구조(메커니즘을 구성하는 기본 메커니즘들과 해당 기능 및 연결 관계)가 저장된다. 이때, 기본 메커니즘과 해당 기능의 정보는 모두 지식 베이스에 이미 저장되어 있는 정보를 참조하는 포인터로 표현된다. 예를 들면, Fig. 3의 사진기 필름 전진 메커니즘은 Fig. 5와 같이 케이스 베이스에 저장된다.

3. 설계 개념과 가상 기능 발생기

기존의 메커니즘에 사용된 설계 개념을 재사용하기 위해서는 그 설계 원리를 개념화하여 추출하고 저장할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 연구^[3,7,9]에서와 같이 빌딩 블록의 개념을 이용하며, 등

Application name of mechanism	Film clawing mechanism
Overall function	$R_0 \rightarrow oR_0$ $\searrow rT$
Type	SI2O (single input/two outputs)
Number of constituent primitive mechanisms	3
Graph structure (constituent mechanisms & involved function)	

Fig. 5. Case representation of a film clawing mechanism.

시에 이것을 더 확장하여 ‘가상 기능 발생기(virtual function generator)’라는 개념을 도입하여 메커니즘의 설계 원리를 개념화 하였다.

3.1 하위 설계 원리의 개념화

앞서 설명한 대로 복잡한 기능을 수행하는 메커니즘도 실질적으로는 기본적인 빌딩 블록들로부터 생성된다^[7]. 특히, 기능 발생과 운동 전달을 목적으로 하는 기능 발생기(function generator)의 경우에, 각각의 빌딩 블록은 전체 설계 공간(entire design space)의 각 설계 부분 공간(design subspace)을 추상적으로 표현한다. 이러한 빌딩 블록의 개념은 연속적인 전체 설계 공간을 불연속적인 설계 부분 공간들로 분해함으로써 어떤 메커니즘의 전체 기능이 어떤 원리를 통하여 이루어지는지 이해하는데 도움을 준다^[3].

예를 들어, 전동 타자기의 충격 인쇄 메커니즘(impact printing mechanism)^[7]은 Fig. 6(a)처럼 개념적으로 캠-요동 피동절(CoF)+더블-로커(DR)+타입 레버(L; type lever)로 이루어져 있다고 볼 수 있다. 이 예를 이용하여 기본 메커니즘들의 조합으로 표현된 어떤 메커니즘의 구조로부터 전체 기능이 구현된 원리를 추론해 보자.

먼저, 앞에서 설명된 기본 빌딩 블록의 관점에서 본다면 Fig. 6(b)처럼 3개의 부분 메커니즘(sub-mechanism)의 조합에 의해 원하는 전체 메커니즘의 기능이 얻어졌다고 생각할 수 있다. 이 경우는 전체 설계 공간을 3개의 설계 부분 공간으로 나누고 각각의 설계 부분 공간의 요구 기능을 만족하는 기본 메커니즘을 선택한 것이라고 할 수 있다. 즉, 3가지의 하위 설계 원리와 그 각각을 실제로 구현하는 3개의 개념적 빌딩 블록으로써 전체 메커니즘의 기능이 이루어진다고 할 수 있다.

한편, 좀더 추상적인 상위 레벨에서 생각해 본다면,

Fig. 6의 (c)나 (d)와 같이 2개의 부분 메커니즘의 조합으로 전체 기능이 얻어진다고도 생각할 수 있다. 이것은 전체 설계 공간을 2개의 부분 설계 공간으로 나누는 것에 해당한다. 즉, 전체 메커니즘이 2개의 하위 설계 원리와 그 각각을 구현하는 2개의 개념적 빌딩 블록의 조합으로 이루어진 것이라고 할 수 있다. 여기에서는 하나의 기본 메커니즘으로 이루어진 개념적 빌딩 블록과 2개의 기본 메커니즘으로 구성된 개념적 빌딩 블록이 함께 사용되는 것에 주목하기 바란다.

물론, 위의 경우에도 더 세분화된 기능 분화를 통해 Fig. 6(b)와 같은 상태로 설계가 진행되었을 수도 있지만, 설계자의 경험이나 혹은 기존의 다른 메커니즘을 참조함으로써 2개의 기본 메커니즘으로 구성된 부분 메커니즘이 한꺼번에 하나의 설계 원리로서 구현된 경우도 있을 수 있기 때문에 Fig. 6(b)와는 다른 별개의 설계 개념으로 간주한다.

같은 이유로, Fig. 6(a)의 전체 메커니즘도 그 자체로서 하나의 설계 개념이라고 간주할 수 있다. 이 경우는 3개의 기본 메커니즘과 해당 기능들의 조합을 하나의 개념적 빌딩 블록으로 하여 전체 설계 개념을 한꺼번에 구현하였다고 볼 수 있다.

이와 같이 기존의 메커니즘 자체로부터 우리가 추론할 수 있는 하위 설계 개념들의 가능성은 여러 가지가 있는데, 우리가 얻을 수 있는 정보는 최종적인 구조물 뿐이고 그것의 구체적인 설계 과정에 대한 정보는 알 수 없기 때문에, 여러 가지 가능한 설계 원리 중에서 어느 쪽을 통해 설계가 진행되었는지 더 이상 판단할 수가 없다. 따라서, 본 연구에서는 부분 메커니즘들의 가능한 조합 모두를 그 메커니즘이 설계된 하위 설계 개념들이라고 가정한다.

다시 정리하면, Fig. 6(a)는 하나의 개념적 빌딩 블록으로 이루어져 있고, (b)는 세 개의 기본 빌딩 블록의 조합, 그리고 (c)와 (d)는 두 개의 개념적 빌딩 블록의 조합이 된다. 즉, 어떤 메커니즘의 전체 설계

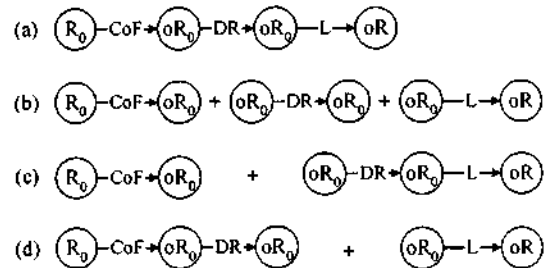


Fig. 6. Impact printing mechanism and its possible combinations of underlying design concepts.

원리나 하위 설계 원리를 개념화 할 때, Fig. 6(b)와 같이 가장 하위 레벨로서 기본 메커니즘만의 개념적 빌딩 블록의 조합으로 파악할 수도 있지만, (a), (c), (d)와 같이 보다 상위 레벨의 개념적 빌딩 블록의 조합으로도 파악할 수 있다. 이때 상위 레벨의 개념적 빌딩 블록들은 둘 이상의 기본 메커니즘의 조합과 각각의 관련된 기능으로 구성된다.

따라서, 어떤 메커니즘의 전체 기능을 구현하기 위한 빌딩 블록으로서 기본 메커니즘 뿐만 아니라, 그 메커니즘의 모든 가능한 부분 메커니즘들에 사용된 기본 메커니즘의 조합도 고려할 필요가 있다. 이러한 기본 메커니즘과 관련된 기능의 조합으로 구성되는 부분 메커니즘은 각각 고유한 입력과 출력을 가지는 기능 발생기로서의 역할을 하는 새로운 개념적 빌딩 블록이라고 할 수 있다.

이와 같이 기존의 빌딩 블록으로서의 기본 메커니즘과 함께, 그것들의 조합에 의해 얻어지는 새로운 개념적 빌딩 블록을 일관되게 표현하기 위해 본 연구에서는 '가상 기능 발생기(virtual function generator)'라는 개념을 도입하여 이들을 표현한다.

3.2 가상 기능 발생기

본 절에서는 가상 기능 발생기의 생성 및 그 구조에 대해 자세히 설명하겠다.

가상 기능 발생기는 앞 절에서 설명한대로 기존의 메커니즘의 전체 혹은 부분 메커니즘으로부터 유도된다. 따라서, 기존의 메커니즘으로부터 모든 부분 메커니즘을 추출하는 과정이 필요하다. 모든 부분 메커니즘은 전체 메커니즘의 그래프 구조에서 모든 가능한 서브 그래프(subgraph)²⁰⁾를 찾아냄으로써 추출할 수 있다. 본 연구에서는 깊이 우선 탐색과 재귀 호출을 써서 서브 그래프의 추출을 구현하였는데 자세한 내용은 참고 문헌¹⁹⁾를 참고하기 바란다.

예를 들면, Fig. 3에 보여졌던 필름 전진 메커니즘으로부터는 Fig. 7과 같이 모두 6개의 부분 메커니즘(전체 메커니즘도 포함)이 추출된다. 이로부터 먼저 필름 전진 메커니즘은 개념적으로 부분 메커니즘 (a), (b), (c)의 조합이라고 생각할 수 있다. 또한, (a), (e)의 조합 또는 (c), (d)의 조합이라고도 생각할 수 있다. 이러한 모든 부분 메커니즘들이 필름 전진 메커니즘의 하위 설계 원리를 나타낸다고 볼 수 있다.

추출된 부분 메커니즘으로부터 그 구조에 따라 3가지 종류의 가상 기능 발생기가 생성된다. Fig. 7의 (a), (b), (c)와 같이 기본 메커니즘 하나로 구성되어 있으면 M-type, (e)와 같이 기본 메커니즘의 조합인

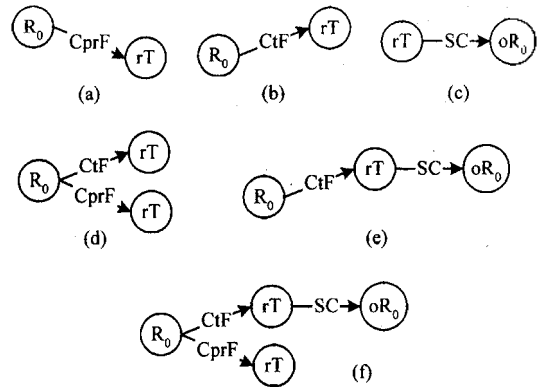


Fig. 7. Extracted sub-mechanisms of the film clawing mechanism.

체인 형태이면 C-type, 그리고 (d), (f)와 같이 여러 개의 출력을 갖는 그래프 구조이면 G-type으로 분류된다.

이들 가상 기능 발생기들은 다음과 같은 정보를 저장하게 된다.

- 전체 기능: 자신이 수행하는 입력과 출력 운동의 변환을 지정한다. M-type과 C-type은 하나의 입력과 하나의 출력을 가지며, G-type은 하나의 입력과 여러 개의 출력을 가진다.

- 구조: 구성 기본 메커니즘과 각각의 관련된 기능을 저장한다. 이 구조는 추출된 부분 메커니즘의 구조와 동일하며 그래프 구조로 저장된다. 이 그래프 구조에 저장되는 정보는 모두 지식 베이스에 있는 기본 메커니즘과 해당 기능에 대한 포인터이다.

- 유도 정보(derivation information): 자신이 유도된 부모 메커니즘에 대한 포인터 및 유도 형태(type of derivation)를 가진다. 동일한 가상 발생기가 서로 다른 메커니즘에서 전체, 또는 부분으로서 여러 번 공통적으로 사용될 수 있기 때문에 부모 메커니즘은 여러 개가 있을 수 있다. 그리고 유도 형태는 자신이 어떤 부모 메커니즘의 전체로부터 유도되었는지(complete), 혹은 그것의 일부로부터 유도되었는지(partial)를 나타낸다. 이때, 각각의 부모 메커니즘에 따라 유도 형태가 다르므로 이들을 따로 저장해야 한다. Fig. 7의 예에서 complete 유도 형태를 갖는 (f)를 제외하고 나머지는 모두 partial 유도 형태를 갖게 된다.

본 연구에서 도입된 가상 기능 발생기는 전체 메커니즘 및 그것에서 추출된 부분 메커니즘들로부터 고유한 기능 발생기들을 생성하여 만든 가상적인 실체(virtual entity)이다. 본 연구에서는 가상 기능 발생기를 이용하여 기존의 메커니즘에 사용된 하위 설계 개

념을 추출하여 저장하고, 추후에 설계 대안의 합성에서 이것들을 사용하게 된다.

4. 색인 시스템과 가상 케이스 베이스

기존의 메커니즘에서 사용된 하위 설계 개념들을 효율적으로 재사용하기 위해 그것들을 저장하고 검색할 수 있는 색인 시스템(index system)을 구축한다. 그리고 하위 설계 원리를 개념화하여 표현하는 가상 기능 발생기들이 기본적으로 지식 베이스와 케이스 베이스의 정보들을 공유하기 때문에 이것들도 모두 색인 시스템에 함께 통합되어 있다.

먼저, 색인 시스템은 Fig. 8에 나타난 것처럼 기본 부색인(sub-index)과 보조 부색인으로 구분된다. 기본 부색인은 각각 하나의 입력과 출력(SISO: single input and single output)을 갖는 M-type과 C-type의 가상 기능 발생기에 대한 색인들을 저장하고 있으며 설계 대안 합성 과정에 실제로 사용된다. 보조 부색인은 여러 개의 출력을 갖는 G-type 가상 기능 발생기들에 대한 색인을 저장하며 출력의 개수에 따라 SI2O, SI3O 등으로 분류된다. 이것들은 실제 합성 과정에는 사용되지 않고 주어진 설계 조건에 완전 일치하는 케이스들을 빨리 찾아 내기 위한 보조적 목적으로 사용된다.

각각의 부색인은 다층 구조로 되어 있으며 각 층은 서로 다른 단계로 추상화(different levels of abstraction) 되어 있다.

첫 번째 층은 기능 색인(functional index) 층으로

서, 앞에서 정의된 입력에서 출력으로의 운동 변환(e.g., $R \rightarrow T$)으로 지정되는 기능 색인들이 종류 별로 존재한다. 하나의 기능 색인 아래 해당 기능(운동 변환)을 수행하는 모든 가상 기능 발생기들에 대한 포인터가 저장되어 있다. 이 곳이 검색을 할 때 실질적인 색인 역할을 하게 된다. 두 번째 층은 가상 케이스(virtual case) 층으로서 기존의 메커니즘에서 추출된 가상 기능 발생기들이 저장되어 있다. 여기에는 가상 기능 발생기의 종류에 따라 저장소가 따로 마련되어 있다. 3.2절에서 설명한대로 가상 기능 발생기의 구조와 부모 메커니즘에 대한 정보는 다음에 설명되는 세 번째 층의 정보들을 참조하게 된다. 세 번째 층은 2.3절에서 설명된 지식 베이스와 케이스 베이스로서, 물리적인 기본 메커니즘과 기존의 메커니즘에 대한 모든 정보를 저장하고 있다.

다음으로, 색인 시스템의 생성 과정에 대해 자세히 살펴 보자. 색인 시스템은 다음 세 가지 절차에 의해 구축된다.

- 부분 메커니즘의 추출: 케이스 베이스에 저장되어 있는 기존의 메커니즘들로부터 모든 가능한 부분 메커니즘을 추출한다.

- 가상 발생기의 생성: 추출된 부분 메커니즘들과 이에 관련된 정보를 추가하여 가상 기능 발생기를 생성한다.

- 색인 (indexing): 색인 시스템에 가상 기능 발생기들을 저장하고 기능에 따라 색인을 작성한다.

앞의 두 과정에 대해서는 3장에서 자세히 설명하였고 여기에서는 가상 기능 발생기의 저장과 색인 방법

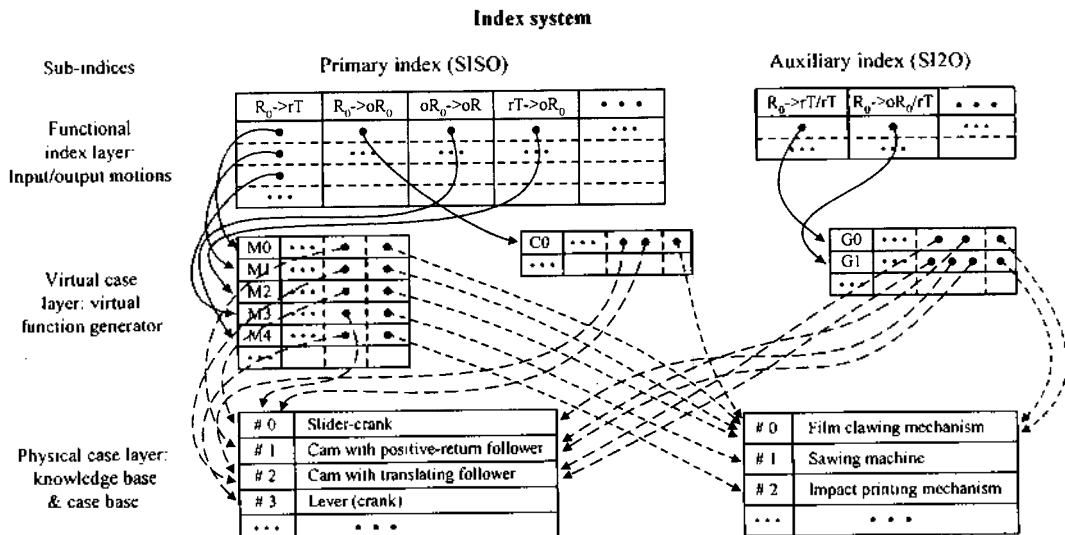


Fig. 8. Illustrative example of the system index.

에 대해 설명한다.

가상 기능 발생기를 색인할 때, 먼저 같은 가상 기능 발생기가 이미 저장되어 있는지 가상 케이스 층에서 검색한다. 그 이유는 동일한 가상 기능 발생기가 여러 메커니즘에서 공통적으로 쓰일 수 있고, 이런 경우 그것이 이미 다른 메커니즘에서 추출되어 저장되어 있을 수 있기 때문이다. 가상 기능 발생기는 그 종류 별로 저장되어 있으므로 이런 검색은 빠른 시간 내에 수행될 수 있다. 검색하여 같은 것이 없다면 Fig. 8에 보여진 대로 가상 케이스 베이스 층의 해당 저장소에 그 종류에 따라 저장한다. 그 다음 가상 기능 발생기의 기능에 따라 해당 기능 색인을 찾아 그 리스트에 가상 기능 발생기의 저장 위치에 대한 포인터를 저장한다. 만약 같은 것이 발견된다면 새로 생성된 것을 따로 저장할 필요 없이 이미 존재하는 가상 기능 발생기의 '유도 정보'에 새로운 부모 메커니즘과 유도 형태를 추가한다. 이런 식으로 색인 시스템은 중복 없이 유일한 가상 기능 발생기들을 저장하게 된다.

예를 들어, Fig. 3과 Fig. 7에 있는 필름 전진 메커니즘의 예를 다시 살펴 보자. 먼저 3장에서 설명한 대로 필름 전진 메커니즘에서는 6개의 가상 기능 발생기가 생성된다. 이 중에서 (a), (b), (c)로부터 유도된 3개는 SISO와 M-type 가상 기능 발생기로서 Fig. 8의 가상 케이스 층의 M-type 저장소에 M0(캠-자동회키 피동절), M1(캠-병진 피동절)과 M2(슬라이더-크랭크)와 같이 저장되고 그 기능($R_0 \rightarrow rT$: M0, M1; $rT \rightarrow oR_0$: M2)에 따라 기능 색인에 그 위치의 포인터가 저장된다. 가상 기능 발생기를 구성하는 기본 메커니즘과 부모 메커니즘에 대한 정보도 그림에 화살표(점선)로 나타나 있다. 다음에, (c)로부터 유도된 SISO의 C-type 가상 기능 발생기는 Fig. 8의 C-type 저장소에 C0(캠 병진 피동절 + 슬라이더 크랭크)로 저장되고 기능 색인에도 전체 기능($R_0 \rightarrow oR_0$)에 의해 색인되어 그 위치가 저장된다. 마지막으로, (d)와 (f)로부터 유도된 SISO의 그래프 구조를 가지는 가상 기능 발생기들은 Fig. 8의 G-type 저장소에 G0, G1으로 저장되고 해당 기능 색인에 그 위치의 포인터가 저장된다.

또한, 나중에 설명되는 설계 대안 합성 예제를 설명하기 위해 기계 톱과 충격 인쇄 메커니즘에서 추출되어 생성된 가상 기능 발생기 중에서 일부도 Fig. 8에 M3(슬라이더-크랭크; $R_0 \rightarrow rT$)와 M4(레버; $oR_0 \rightarrow oR$)로 저장되었다고 가정하자.

가상 기능 발생기의 생성에 있어서 주목해야 할 것

은 가상 기능 발생기는 기본 메커니즘들 뿐만 아니라 각각 관련된 기능까지 포함되어 개념화 된 가상적 실체라는 점이다 따라서, 어떤 메커니즘에 사용된 기본 메커니즘이 동일하더라도 그것에 관련된 기능이 다르다면 서로 다른 가상 기능 발생기로 생성된다. 예를 들면, Fig. 8에서 필름 전진 메커니즘에 사용된 슬라이더-크랭크는 $rT \rightarrow oR_0$ 의 기능을 가지는 가상 기능 발생기 M2로 생성되었고, 기계 톱에 사용된 슬라이더-크랭크는 $R_0 \rightarrow rT$ 의 기능을 가지는 가상 기능 발생기 M3로 생성되어 있다.

5. 메커니즘의 합성: 검색 및 적합화

5.1 기본 합성 원리와 설계 대안 생성 방법

기능 발생을 목적으로 하는 메커니즘을 설계할 때, 설계자가 입력과 출력 운동을 지정하는 경우 이를 만족시키는 메커니즘들을 가상 케이스 베이스의 가상 기능 발생기들을 이용하여 합성하는 방법을 설명하겠다.

메커니즘 합성에 있어서 가장 기본적인 적합성 원리(compatibility principle)는 '한 메커니즘의 출력 운동과 다른 메커니즘의 입력 운동이 같으면 합성될 수 있다' 라는 것이다. 본 연구에서는 가상 기능 발생기가 기본적인 메커니즘의 역할을 하므로 앞서 설명한 적합성 원리를 확장하여 '한 가상 기능 발생기의 출력 운동과 다른 가상 기능 발생기의 입력 운동이 같으면 합성될 수 있다' 라고 말할 수 있다.

기존의 설계 사례를 이용하여 주어진 입력과 출력 운동을 갖는 메커니즘에 대한 설계 대안을 생성하는 방법은 크게 두 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫 번째는 완전 일치 케이스(exact-matching case)를 찾아내는 방법이다. 여기서 완전 일치 케이스란 기존의 어떤 메커니즘의 전부, 또는 부분이 주어진 입력과 출력 조건을 만족하는 경우를 말한다. 이런 경우는 더 이상의 적합화 과정이 필요 없이 그 자체로서 하나의 설계 대안이 될 수 있다. 특히, 본 연구에서는 부분 메커니즘들이 이미 추출되어 있으므로 시간이 많이 걸리는 그래프 매칭 작업 없이 완전 일치 케이스를 찾아낼 수 있다. 두 번째로는 주어진 입력과 출력 조건의 일부를 만족하는 부분 일치 케이스(partial-matching case)들을 찾아내고 이것들을 결합시켜서 전체 설계 요구 조건을 만족하는 설계 대안을 생성하는 방법이다. 이 방법은 서로 다른 메커니즘에서 유도된 부분 일치 케이스들을 결합함으로써 새롭고 다양한 설계 대안들을 제공할 수 있는 장점이 있다[1].

본 연구에서는 가상 기능 발생기를 이용하여 완전

일치하는 설계 대안을 찾는 방법도 효율적으로 지원 하면서, 기본적으로는 부분 일치하는 케이스들을 결합하여 다양한 설계 대안을 생성하는 방법을 제시한다.

5.2 출력이 하나인 메커니즘의 합성

하나의 입력 M_i 와 하나의 출력 M_o 를 갖는 메커니즘의 설계 대안 합성 과정은 다음과 같다.

Step 1: 부분 일치 케이스의 검색 및 복구. 색인 시스템을 검색하여 설계 요건으로 주어진 입, 출력 운동에 대해 입력 운동이 부분 일치하는 가상 기능 발생기들을 입력 일치 집합 P_i 로, 그리고 출력 운동이 부분 일치하는 가상 기능 발생기들을 출력 일치 집합 P_o 로 모두 복구(retrieve)한다.

Step 2: 완전 일치 케이스의 검색. 입력과 출력이 지정된 설계 조건과 모두 일치하는 가상 기능 발생기들은 Fig. 9에서와 같이 P_i 와 P_o 에 중복되어 복구되므로 양 쪽에 함께 존재하는 같은 가상 기능 발생기들을 완전 일치 케이스로서 찾아 낸다. 이것들은 그 자체로서 주어진 입력과 출력 조건을 만족하므로 그대로 해집합 S 에 포함된다. 이제 P_i 와 P_o 에는 순수하게 부분 일치하는 케이스들만 남는다.

Step 3: 두 부분 일치 케이스의 결합. P_i 의 원소인 입력 일치 케이스 p_i 와 P_o 의 원소인 출력 일치 케이스 p_o 의 쌍 중에서 적합성 원리를 만족하는 쌍을 경험적 합성 법칙(heuristic synthesis rule)에 따라 합성하여 입력과 출력이 완전히 일치하는 설계 대안을 생성한다. 본 연구에서 적합화(adaptation)를 위해 사용하는 합성 법칙들을 예와 함께 자세히 설명하면

다음과 같다.

Rule 1: 두 가상 발생기가 같은 부모 메커니즘을 갖지 않으면 공통 노드에서 결합하여 해집합에 등록한다. 여기서 공통 노드란 Fig. 10에 보여진 것과 같이 p_i 의 출력과 p_o 의 입력에서 운동이 동일한 노드 M_c 를 말한다. 이와 같이 서로 다른 부모 메커니즘에서 유도된 두 가상 기능 발생기의 결합은 새로운 설계 개념을 생성하게 된다.

Rule 2: 두 가상 기능 발생기가 같은 부모 메커니즘을 가지고 그것에서 서로 이웃하면 결합하지 않는다. Fig. 11(b)의 두 가상 기능 발생기가 같은 부모 메커니즘에서 유도되고 원래 서로 연결된 것이라면 이것들의 결합에 의해 생성되는 것과 동일한 메커니즘이 Fig. 11(a)와 같이 이미 부분 메커니즘으로 추출되어 가상 케이스 베이스에 존재하므로 Step 2에서 완전 일치 케이스로 찾아진다. 또한, Fig. 11(c)의 결합에 의해서도 같은 것이 중복 생성될 수 있다. 따라서, 이 법칙을 써서 이와 같은 중복된 설계 대안의 생성을 방지하게 된다.

Rule 3: 두 가상 기능 발생기가 같은 부모 메커니즘을 가지고 부모 메커니즘에서 서로 이웃하지 않으면, 그것들을 결합하여 새로운 설계 대안을 생성한다. 그 이유는 같은 부모 메커니즘에서 유도된 가상 기능 발생기들이라도 원래 서로 연결되어 있지 않은 것들이라면 Fig. 12와 같이 서로 결합되어 새로운 설계 개념을 생성할 수 있기 때문이다.

이와 같이 본 연구에서 제안한 합성 방법은 앞에서 설명한 대로 완전 일치 케이스를 찾는 방법과 부분 일치 케이스들을 찾아서 결합하는 방법을 함께 제공한다.

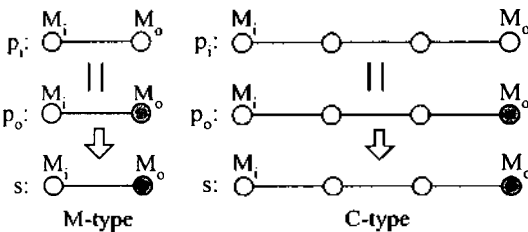


Fig. 9. Finding exact-matching cases.

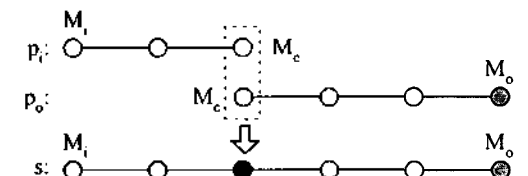


Fig. 10. Combining two partial-matching cases.

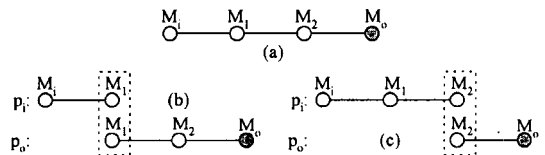


Fig. 11. Prevention of duplicate mechanisms.

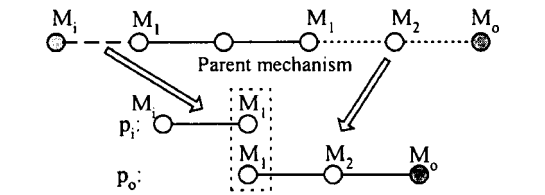


Fig. 12. Combining two partial-matching cases derived from a common parent mechanism.

5.3 여러 개의 출력을 갖는 메커니즘의 합성

하나의 입력과 여러 개의 출력(SIMO)을 갖는 메커니즘의 설계 대안도 5.1절에서 설명한 두 가지 방법에 의해 얻을 수 있다. 첫 번째로, 완전 일치하는 케이스(전체 혹은 부분 메커니즘)는 보조 부색인을 통하여 그래프 매칭 작업 없이 바로 얻을 수 있다. 두 번째로, 부분 일치하는 케이스들의 결합에 의한 방법을 통해 더욱 다양하고 새로운 설계 대안들을 얻을 수 있다. 그 합성 과정은 다음과 같이 기본적으로 5.2절에서 설명한 SISO 방법을 반복적으로 적용하는 것이다.

Step 1: 줄기 체인(stem chain)의 합성. 주어진 출력들 중에서 임의로 하나를 선택하고, 이것과 원래 지정된 입력에 대해 SISO 합성 방법을 이용하여 줄기 체인을 먼저 합성한다. 이 단계에서 여러 개의 체인이 생성된다. 여기서 각 체인들이 하나의 기본 메커니즘으로 구성된 것이 아니라면 중간 노드들을 가지게 되는데, 이것들은 원래의 입력 노드와 함께 추후 합성 과정에서 나머지 출력 노드들이 연결될 수 있는 '가능한 입력 노드(possible input node)'가 된다.

Step 2: 가지 체인(branch chain)의 합성과 결합. Step 1에서 생성된 각각의 줄기 체인에 대해 다음 작업을 수행한다. 나머지 주어진 출력들 중 하나를 임의로 선택한다. 그리고 이것과 줄기 체인의 가능한 입력 노드 중 하나를 선택하여 SISO 합성 방법을 이용하여 가능한 모든 가지 체인들을 생성한 다음, 이 가지 체인들을 각각 줄기 체인의 선택된 입력 노드에 결합하여 메커니즘들을 합성한다. 이 과정을 선택된 출력과 줄기 체인의 다른 가능한 입력 노드에 대해서도 적용하여 메커니즘들을 합성한다. 만약, SISO 문제라면 여기서 중단한다.

Step 3: 다른 가지 체인의 합성과 결합. 다른 나머지 출력들에 대해서도 Step 2를 반복 적용하여, 모든 주어진 출력을 합성되는 메커니즘에 연결시킨다. 이때, 가지 체인이 합성되어 결합되면 될수록 가능한 입력 노드의 개수도 보통 증가하게 된다.

한편, 앞의 설명에서 합성 절차를 간단히 설명하기 위해 Step 2에서 임의의 출력을 선택한다고 하였지만, 실제로는 출력들이 선택되는 순서에 따라 서로 다른 메커니즘이 생성될 수 있으므로 이것도 고려해야 한다. 따라서, 실제로는 모든 출력들의 순열을 구하여 그 차례에 따라 위의 과정을 모두 적용시켜야 할 것이다.

6. 적용 예제

본 연구에서 제시한 방법의 유용성을 재봉틀^[47]의

기능 발생 메커니즘 예제를 통하여 설명한다. 먼저, 재봉틀은 벨트-풀리를 통해 축회전 운동(R_0)을 입력으로 받아들인다. 이로부터 바늘의 상, 하 왕복 직선 운동(rT)을, 그리고 천을 전진시키는 기구에 2개의 요동회전 운동(oR)을 전달해야 한다. 즉, 설계 문제는 입력이 R_0 이고 3개의 출력 rT , oR , oR 을 갖는 메커니즘을 설계하는 것이 된다. 본 예제에서는 간편한 설명을 위해서 Fig. 8에 보여준 색인 시스템을 대상으로 하여 Fig. 13(a)와 같이 oR , rT , oR 의 출력 순서에 대해서만 설명한다.

먼저, 첫 번째 출력이 oR 이므로 Step 1에 의해 $R_0 \rightarrow oR$ 의 입력과 출력을 갖는 줄기 체인을 먼저 합성하게 된다. Fig. 8의 색인 시스템에서 입력(R_0)이 부분 일치하는 케이스로서 $R_0 \rightarrow rT$ 의 기능 색인에서 $M0$, $M1$, $M3$, 그리고 $R_0 \rightarrow oR_0$ 의 기능 색인에서 $C0$ 가 검색 복구되고, 출력(oR)이 부분 일치하는 케이스로서 $oR_0 \rightarrow oR$ 의 기능 색인에서 $M4$ 가 복구된다. 그 다음에 적합성 원리를 만족하는 가상 기능 발생기들이 합성 법칙에 따라 결합된다. 여기서는 합성 법칙 1에 의해 $C0$ (캠-병진 피동절+슬라이더 크랭크; $R_0 \rightarrow rT \rightarrow oR_0$)와 $M4$ (레버; $oR_0 \rightarrow oR$)가 결합되어 그 결과로 $C0+M4(R_0 \rightarrow rT \rightarrow oR_0 \rightarrow oR)$ 의 체인을 얻는다. 가상 기능 발생기 $C0$ 는 필름 전진 메커니즘에서 유도된 것이고, $M4$ 는 충격 인쇄 메커니즘에서 유도된 것이다. 따라서, 전체 메커니즘은 Fig. 13(b)와 같이 캠-병진 피동절 + 슬라이더-크랭크 + 레버로 구성된다.

줄기 체인이 생성되었으므로 이제 Step 2와 3에 의해 가지 체인들을 합성하여 나머지 출력들을 연결시킨다. 두 번째로 연결되어야 할 출력은 앞서 설명한 대로 rT 이고, 원래의 입력 노드(R_0)와 줄기 체인($R_0 \rightarrow rT \rightarrow oR_0 \rightarrow oR$)의 두 중간 노드(rT , oR_0)들이 새로운 출력 노드(rT)가 연결될 수 있는 '가능한 입력 노드'들이 된다. 원래의 입력 노드(R_0)부터 고려하면, $R_0 \rightarrow rT$ 의 입력과 출력을 갖는 가지 체인을 합성하여 줄기 체인에 연결해야 한다. 입력(R_0)이 부분 일치하는 케이스는 step 1과 동일하기 때문에 $R_0 \rightarrow rT$ 의 기능 색인에서 $M0$, $M1$, $M3$, 그리고 $R_0 \rightarrow oR_0$ 의 기능 색인에서 $C0$ 가 검색, 복구된다. 다음에 출력(rT)이 부분 일치하는 케이스로서 $R_0 \rightarrow rT$ 의 기능 색인에서 $M0$, $M1$, $M3$ 가 복구된다. 가상 기능 발생기 $M0$, $M1$, $M3$ 가 입력 일치 케이스와 출력 일치 케이스에 모두 포함되어 있으므로 각각 완전 일치 케이스로서 별다른 합성 절차 없이 가지 체인이 될 수 있다. 이들 각각이 줄기 체인에 합성되어 3개의 서로 다른 메커니즘을 생성한다. 기계 톱에서 유도된 $M3$ 가 줄기

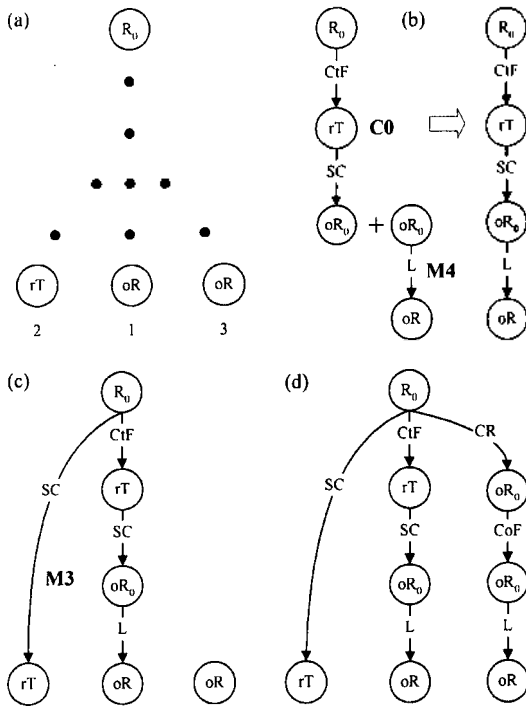


Fig. 13. Conceptual synthesis of a sewing machine.

체인에 결합된 예가 Fig. 13(c)에 나타나 있다. 유사한 방법으로, 나머지 가능한 입력 노드인 줄기 체인의 두 중간 노드(rT, oR₀)와 출력 노드(rT)에 대해서도 가지 체인을 합성하여 줄기 체인에 합성시킬 수 있고, 이 경우 더 많은 메커니즘을 얻을 수 있다. 이들에 대한 설명은 생략하기로 한다.

마지막으로 남은 출력(oR)에 가지 체인을 합성하여 최종적인 메커니즘을 완성해야 한다. 앞에서 연결된 M3 체인의 경우 중간 노드가 없기 때문에 '가능한 입력 노드'는 변하지 않는다. 이번에도 원래의 입력 노드(R₀)를 입력으로 가정하면, R₀→oR의 가지 체인을 합성해서 연결시키는 것이 된다. 이 경우는 앞의 줄기 체인을 합성하는 경우와 동일하게 된다. 따라서, 이것을 Fig. 13(c)에 결합하여 최종적인 메커니즘을 얻을 수 있다. 한편, 또 다른 설계 대안으로서 이번에는 Fig. 8의 색인 시스템에 나와 있지 않은 포바 제네바(four-bar Geneva) 메커니즘과 캠-레버(cam-lever) 메커니즘을 고려해 보자. 포바 제네바 메커니즘^[5]은 크랭크-로커+제네바 메커니즘으로 구성되어 있으며 축회전 운동을 간헐요동 축회전 운동으로 변환(R₀→oR₀→oR₀)한다. 캠-레버 메커니즘^[6]은 캠-요동 피동절+레버로 구성되어 있으며 요동 축회전 운동을 요동 회전으로 변환(oR₀→oR₀→oR)한다. 이 메커니즘들로부터

가상 기능 발생기들이 추출되어 색인 시스템에 저장되어 있다고 가정한다면, 포바 제네바 메커니즘에서 유도된 가상 기능 발생기(크랭크-로커; R₀→oR₀)와 캠-레버 메커니즘에서 유도된 가상 기능 발생기(캠-요동 피동절+레버; oR₀→oR₀→oR)가 합성 법칙 1에 의해 결합되어 크랭크-로커+캠-요동 피동절+레버; R₀→oR₀→oR₀→oR)로 구성된 가지 체인이 얻어질 수 있다. 이것을 앞에서 합성된 메커니즘에 결합하여 Fig. 13(d)에 나타나 있는 최종적인 메커니즘을 합성할 수 있다. 이 과정에서도 물론 다른 가지 체인들이 여러 개 얻어질 수 있고 그것들이 각각 연결되어 서로 다른 설계 대안을 제공할 수 있다.

어 설계 예는 가상 기능 발생기의 개념을 이용하여 서로 다른 여러 가지 메커니즘에서 사용된 하위 설계 개념들을 전체적, 혹은 부분적으로 전달하고 합성하여 실제 사용되고 있는 재봉틀의 메커니즘을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 실제로는 각 단계에서 여러 가지 다른 체인들이 생성되기 때문에 다른 설계 대안들도 많이 얻어진다.

본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 시험용 시스템을 구현하였다. 현재 약 30개의 기본 메커니즘이 분류되어 정의되어 있으며, 메커니즘 도해서와 특허 등에서 수집된 40개 정도의 메커니즘들이 앞의 기본 메커니즘들로 표현되어 저장되어 있다. Fig. 14는 본 연구에서 제안한 방법을 구현한 시스템에서 앞서 설명한 재봉틀을 개념적으로 합성한 모습을 보여준다. 그림의 오른쪽 창에는 합성된 메커니즘을 구성하는 가상 기능 발생기들과 그것에 관련된 유도 정보가 나타나 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 케이스 기반 추론 기법을 이용하여 기능 발생 및 전달을 목적으로 하는 메커니즘의 개념적 설계 대안 합성 방법을 제시하였고, 그 타당성을 적용 예를 들어 설명하였다.

제안된 방법은 기존에 존재하는 메커니즘들의 하위 설계 개념을 체계적으로 재사용할 수 있게 한다. 이전 설계에 사용된 하위 설계 개념을 기존의 메커니즘으로부터 추출하여 가상 기능 발생기라는 개념을 이용하여 구체화하고 가상 케이스 베이스에 저장한다. 지식 베이스와 실제 케이스베이스로부터 구축된 색인 시스템은 합성에 필요한 이전의 설계 개념을 효율적으로 얻어낼 수 있도록 한다. 그리고 제시된 합성 법칙은 서로 다른 메커니즘에서 유도된 이전 설계 개념

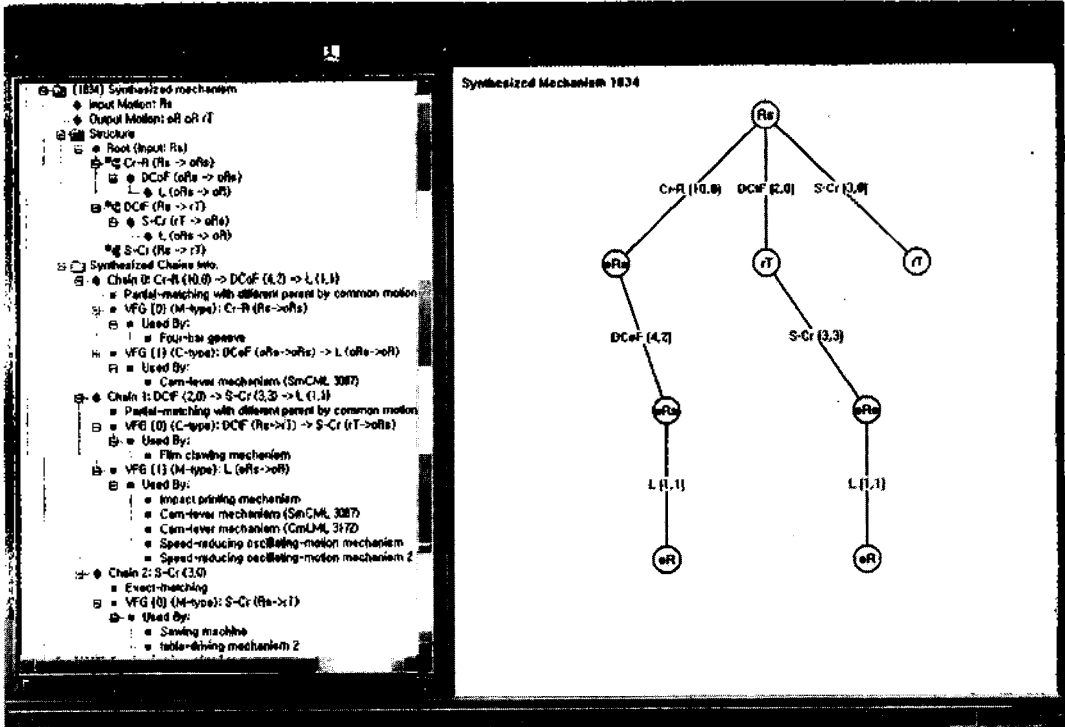


Fig. 14. Synthesized mechanism of a sawing machine.

을 서로 결합함으로써 다양하고 새로운 설계 대안을 생성할 수 있다.

이 방법은, 기존의 메커니즘 자체로부터 명시적인 설계 지식을 얻을 수는 없다 하더라도, 기존의 메커니즘에 한번 이상씩 사용되었던 기본 메커니즘의 조합을 개념적 빌딩 블록으로 이용한다는 점에서 보다 실현 가능성 있는 설계 대안을 제시한다고 할 수 있다. 그리고 여러 메커니즘에서 전체적으로, 혹은 부분적으로 유도된 설계 개념을 결합하는 방법은 때때로 창조적 설계 대안을 제공하기도 한다.

본 연구에서 도입한 가상 기능 발생기의 개념은 다음과 같은 특성과 장점을 가진다. 첫째로, 기본 메커니즘들의 조합을 하나의 개념적 빌딩 블록으로 파악하는 가상 기능 발생기는, 전체적인 기능은 비록 기존의 기본 메커니즘과 동일하더라도, 운동의 특성이나 공간에서의 배치, 입력과 출력의 방향 등에 있어서 완전히 새로운 특성을 보여준다. 따라서, 나중에 합성 과정에서 전혀 새로운 개념적 빌딩 블록으로서의 역할을 할 수 있다. 둘째로, 이 개념은 물리적 빌딩 블록에서 기능적인 측면의 분리를 실현하고 색인 시스템의 구축에 있어서 유연성을 제공한다. 기본 메커니즘들은 여러 메커니즘에서 서로 다른 기능을 수행할

수 있는데, 기본 메커니즘과 해당 기능의 조합으로 구성된 가상 기능 발생기의 개념을 도입함으로써, 이와 같은 서로 다른 기능적 사용법을 편리하게 표현할 수 있다. 또한, 여러 개의 메커니즘에 공통적으로 사용된 기능을 개념화 하는데도 편리하다. 셋째로, 이 개념을 통해 합성 과정에 필요한 빌딩 블록을 미리 추출하여 저장함으로써, 시간이 많이 걸리는 그래프 매칭 작업을 통해 기존의 메커니즘에서 합성에 필요한 부분 메커니즘을 찾아야 하는 작업을 피할 수 있고 합성 과정에 필요한 설계 개념들을 효율적으로 복구할 수 있다. 물론, 이 과정에서 메모리를 더 요구하지만, 이러한 메모리의 소모보다는 그래프 매칭 작업을 피할 수 있는 장점이 더 크다고 볼 수 있다.

본 연구에서 제시된 방법은 구축된 케이스 베이스의 범위에서 가능성 있는 많은 수의 설계 대안들을 생성해 낼 수 있다. 하지만, 이것들로부터 보다 실현 가능성 있고 효율적인 설계 대안을 선택하기 위해서는 어떤 평가 방법이 제공되어야 할 것이다. 이러한 평가 방법의 하나로서, 설계 요구 조건으로 부여되는 공간 구속 조건을 생각할 수 있다. 공간 배치에 관련된 문제는 합성된 메커니즘을 구성하는 기본 메커니즘들의 공간 상의 배치 방향과 그에 따른 입력과 출

력의 방향 및 상대적 위치를 다루는 문제이다. 어떤 메커니즘을 구성하는 기본 메커니즘들 각각의 공간상의 배치에 의해 합성된 메커니즘의 전체 배치가 유도되고 이것을 주어진 공간 구속 조건과 비교함으로써, 원하는 공간 배치를 만족하는 설계 대안들을 찾아 낼 수 있다¹⁹⁾. 한편, 비용의 관점에서 본다면 구성 기본 메커니즘의 개수가 적은 것이 보다 좋은 설계 대안이라고 생각할 수도 있다. 하지만, 개수가 적으면 입력과 출력의 방향과 상대적 위치 등 앞에서 설명한 공간 구속 조건을 만족시킬 수 있는 가능성에 있어서는 불리해진다. 이와 같이, 평가 기준들은 서로 상충되는 면이 있기 때문에 보다 중요한 요소에 따라 설계자가 추후에 선택해야 할 것이다. 본 논문에서는 이러한 평가 기준이나 방법은 추후에 설계자나 혹은 다른 평가 도구에 의해 이루어진다는 가정 아래, 과거의 설계 예를 이용하여 모든 가능한 설계 대안을 합성하여 제시해 주는 것에 중점을 둔다.

그리고 설계 대안들을 생성한 후에 평가하는 방법 외에 보다 적극적으로 합성 과정에서 직접 적용될 수 있는 평가 방법이나 경험 법칙들을 고안하여 본 연구에서 제안한 방법에 통합하면 생성 단계에서부터 보다 실현성 있는 설계 대안을 얻는 데 도움이 될 것이다. 이런 점들은 추후에 더 연구되어야 할 부분이다.

참고문헌

- Pahl, G. and Beits, W., *Engineering Design*, 2nd ed., Springer-Verlag, 1996.
- Erdman, A.G., "Computer-Aided Mechanism Design: Now and the Future", *Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 117, pp. 93-100, June 1995.
- Kota, S. and Chiou, S.-J., "Conceptual Design of Mechanisms Based on Computational Synthesis and Simulation of Kinematic Building Blocks", *Research in Engineering Design*, Vol. 4, No. 2, pp. 75-87, 1992.
- Artobolevsky, I.I., *Mechanism in Modern Engineering Design*, Vol. 1-7, 기술정보, 1984.
- Chironis, N.P., *Mechanisms, Linkages, and Mechanical Controls*, McGraw-Hill, New York, 1965.
- Titus, J.E., Erdman, A.G. and Riley, D.R., "The Role of Type Synthesis in the Design of Machines", *Proceedings of the 1989 NSF Engineering Design Research Conference*, Amherst, Mass., June 11-14, pp. 451-474, 1989.
- Erdman, A.G. and Sandor, G.N., *Mechanism Design: Analysis and Synthesis. Vol. 1*, 3rd ed., Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 1997.
- Issa, G., Shen, S. and Chew, M. S., "Using Analogical Reasoning for Mechanism Design", *IEEE Expert*, Vol. 6, pp. 60-69, 1994.
- Chakrabarti, A. and Bligh, T.P., "An Approach to Functional Synthesis of Solutions in Mechanical Conceptual Design. Part I: Introduction and Knowledge Representation", *Research in Engineering Design*, Vol. 6, No. 3, pp. 127-141, 1994.
- Kolodner, J., *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1993.
- Maher, M.L., Balachandran, M.B. and Zhang, D.M., *Case-Based Reasoning in Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, 1995.
- Maher, M. L. and Pu, P., eds., *Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, 1997.
- Chakrabarti, A. and Bligh, T.P., "An Approach to Functional Synthesis of Solutions in Mechanical Conceptual Design. Part II: Kind Synthesis", *Research in Engineering Design*, Vol. 8, No. 1, pp. 52-62, 1996.
- Sycara, K.P., Guttal, R., Koning, J., Narasimhan, S. and Navinchandra, D., "CADET: a Case-based Synthesis Tool for Engineering Design", *International Journal of Expert Systems*, Vol. 4, No. 2, 1992.
- Navinchandra, D., Sycara, K.P. and Narasimhan, S., "A transformational approach to case-based synthesis", *AI EDAM*, Vol. 5, No. 1, pp. 31-45, 1991.
- Narasimhan, S., Sycara, K.P. and Navin-Chandra, D., "Representation and synthesis of non-monotonic mechanical devices", in *Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design*, eds., Maher, M. L. and Pu, P., Lawrence Erlbaum Associates, pp. 187-219, 1997.
- Madhusudan, T.N., Sycara, K.P. and Navin-Chandra, D., "On Synthesis of Electro-mechanical assemblies", *Proceedings of The 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference*, August 18-22, 1996.
- Joskowicz, L., "Mechanism Comparison and Classification for Design", *Research in Engineering Design*, Vol. 1, No. 3/4, pp. 149-166, 1990.
- 한영현, "Conceptual Design of Mechanisms: Synthesis of Design Alternatives and Spatial Configuration Design", 박사학위논문, 서울대학교, 1999.
- Foulds, L. R., *Graph Theory Applications*, Springer-Verlag New York, 1992.

한 영 천

1989년 서울대학교 기계설계학과 학사
1993년 서울대학교 기계설계학과 석사
1999년 서울대학교 기계설계학과 박사
1999년-현재 서울대학교 정밀기계설계공동
연구소 특별연구원

관심분야: Intelligent CAD, Geometric &
Solid modeling, Design theory
and methodology

이 건 우

1978년 서울대학교 기계공학과 학사
1981년 미국 MIT 공학석사
1984년 미국 MIT 공학석사
1984년~1986년 Univ. of Illinois at Urbana-
champaign 조교수

1986년-현재 서울대학교 기계항공공학부 교
수 및 정밀기계설계공동연구소 연
구부장

관심분야: Computerd aided geometric &
solid modeling, Rapid proto
typing & tooling, Virtual design
& prototyping, CAD systems for
injection mold, Custom-made
shoe design
