

자동창고용 스택커 크레인의 동특성 해석(II)

김중준*·이윤식*·신상룡*·이호택**·조대하**

Dynamic Characteristics Analysis of Stacker Crane for Automatic Warehouse(II)

Jongjun Kim, Yunsig Lee, Sangryong Shin, Hotaek Lee and Daeha Jo

Key Words: Stacker Crane(스택커 크레인), Dynamic Characteristics(동특성), Mast(마스트), Flexible Beam(유연보), Velocity Profile(속도양상)

Abstract

In this paper, stacker crane is modeled as rigid elements and discrete flexible beam connections by kinematics & dynamics solver package program instead of deriving the equations of motion which describes the total dynamics of the system. For the simulation of structural dynamics, ADAMS, a software for the simulation of multiple rigid body dynamics, is used. Some kinds of works are fulfilled to examine the dynamic characteristics of system. In order to verify the analysis method, the results of simulation and experiment are compared.

1. 서 론

물류 자동화 부문에 있어서 자동창고의 경우는 매년 관련시장의 성장과 더불어 자동창고 운용의 핵심설비인 스택커 크레인에 대한 발주측의 설계 기술신뢰성, 고성능, 저가격, 단납기 등의 요구증대로 개발기술 및 시기에 대한 빠른 변동성을 요구하고 있다.

스택커 크레인은 다양한 크기와 중량의 운반화물을 자동창고내의 격납고에 수납시키기 위한 주행, 승강, 포킹 등의 복합운동이 발생하는 힘이나 질량을 갖고있는 유연보의 형태로 모델링 될 수 있다. 그러나 기존의 관련 연구들^(1,2,3)은 힘이나 질량이 지나가는 다리나 철도 등의 진동을 해석하기 위한 목적을 지니고 있었으며, 구조상 단순 지지보 혹은 외팔보의 운동에 관련된 연구이므로

그 응용 측면에서 스택커 크레인에 적용하기 곤란하였다.

본 연구에서는 스택커 크레인의 운전중 발생하는 동특성을 분석하여 최적화하기 위해 기구/동력학 해석 전용 프로그램인 ADAMS를 사용하였다. 이를 위해 스택커 크레인의 구성요소중 대부분을 강체로 모델링하고, 동특성에 가장 큰 영향을 주는 마스트 구조를 유연한 보로 구성하였으며, 운동조건으로는 속도선도를 사용하여 이동하는 대차위에 고정되어 이동하는 부하를 가지는 유연보의 운동 문제로 단순화 시켰다. 관련된 연구들에서는 대부분 보-부하-대차 시스템의 운동방정식을 유도하고, 모드해석 및 수치해석을 수행하는 절차로 연구결과가 도출되었으나, 본 연구에서는 이러한 절차를 생략하고 해석프로그램에 의존적인 결과를 도출하였다. 또한 이러한 해석방법의 신뢰성을 검증하기 위해서 실제 실험결과와의 비교작업을 수행하여 그 타당성을 입증하였다.

* 현대중공업 산업기술연구소

** 현대중공업 엔진사업부

2. 스택커 크레인

스택커 크레인의 구성은 자동창고 가동물, 운반화물의 중량 및 크기 등에 따라 매우 다양한 구성이 가능하나 기본적으로 그림. 1과 같이 하부 프레임, 마스트, 상부 프레임, 화물을 입/출하는 포킹 모듈로 구성되어 있다.

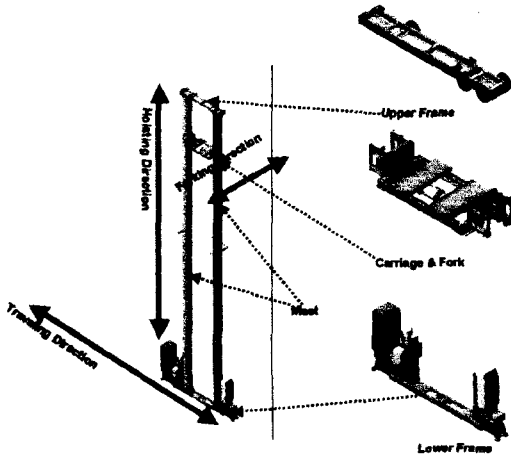


Fig. 1 Schematic Diagram of Stacker Crane

본 연구에서 해석을 수행한 스택커 크레인의 목표사양은 표. 1과 같으며 기본 설계 데이터를 바탕으로 모델링하고 동적/정적 안정성에 대해서 충분한 강도를 가지고 있는가에 대한 해석을 수행하였다. 동적 안정성 해석은 상부프레임의 가속 시 발생하는 변형량과 안정화 시간을 예측하고자 했으며 마스트 연결부의 반력 분포를 계산하여 스택커 크레인의 주행 안정성을 평가하고자 했다.

Table. 1 Specification of Stacker Crane

	"A" type	"B" type	"C" type
Height	6,750 이하	6,750 이하	6750 ~ 13,440
Mast : 6 m	Mast : 6 m	Mast : 13 m	
Type	Single mast (single fork)	Double mast (Double fork)	Double mast (Double fork)
Load	Max. 50 kg	Max. 50 x 2 kg	100 / 50 x 2 kg
Mast 재질	AL-profile (A 6061-T6)	AL-profile (A 6061-T6)	AL-profile (A 6061-T6)
주행 최고 속도	250 m/min	250 m/min	250 m/min
주행 최고 가속도	1.5 m/sec ²	1.5 m/sec ²	1.0 m/sec ²

해석 모델은 시장 수요를 감안하여 예측한 당사의 고속 경량의 세 가지로 설정했다. A타입은 소형 경량폼에 싱글 마스트를 적용하여 구조의 단순화를 통해서 제작 및 조립에 관련된 생산성 향상과 빠른 납기에 대응할 수 있도록 기본설계를 하였다. B 타입은 더블 마스트(double mast), 더블 포킹(double forking)을 채택하여 물품의 반출입을 빠르게 할 수 있는 제품으로 설계하였다. C 타입은 마스트의 길이를 연장함으로써 한정된 공간에 보다 많은 물품을 적재할 수 있도록 하여 가능한 범위 내에서 고객의 다양한 요구사항을 반영할 수 있도록 특성화 되어있다. 아래의 그림. 2는 표. 1에서 서술한 A, B, C 세 가지 형식의 스택커 크레인의 구성 및 구동조건인 속도선도를 나타낸 것이다.

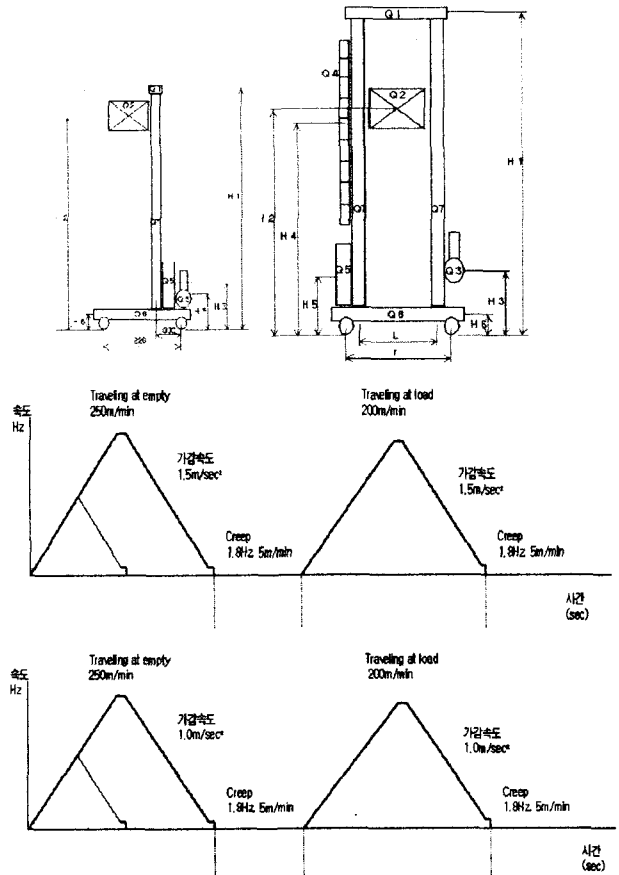


Fig. 2 General Configuration of Stacker Crane and Velocity Profile

3. 동특성 해석

일반적으로 해석업무에 대한 절차는 시스템의 특성이 반영된 수학적 모델을 작성하고, 해를 얻는 과정이 통상적이거나 매우 복잡하게 구성되고 목표사양에 따라 변경되는 스택터 크레인의 매커니즘과 구조 그리고 비선형 동특성 때문에 수학적 접근방식은 대단히 어려우며, 개발 시점에 맞는 연구업무가 거의 불가능하다고 할 수 있다. 즉, 매우 빠른 가/감속 속도 양상을 구현하며 움직이는 대형 철 구조물의 동특성과 구조적 안정성을 지배하는 요소가 어떠한 것인가에 대한 명확한 결론을 도출하기 어려우며, 지속적으로 진행되는 설계 변경 시 원하는 사양의 만족을 얻기 위해 수행하는 반복작업에서 매우 많은 시행착오와 시간이 소모된다. 그러나 해석용 S/W를 이용하는 시뮬레이션 작업은 분석의 대상이 되는 실제 시스템을 컴퓨터를 이용하여 모델링하고, 시간에 따른 시스템의 상태 변화 추이를 실제과정과 유사하게 모사함으로써, 대상 시스템의 거동(Behavior)를 사전에 간접적으로 예측할 수 있다⁽⁴⁾. 또한 시뮬레이션은 형상을 만드는 CAD(Computer Aided Design)와 성능을 예측하는 CAE(Computer Aided Engineering) 기술을 조합시켜 가상단계나 설계 중에 개발하고 있는 동작, 작용하는 힘을 시각/실험(Prototype/Experiment)하기 전에 파악하는 기술인 가상시제품제작(Virtual Prototyping)도 부수적으로 가능하게 한다.⁽⁵⁾

특히 불확실한 시스템의 특성인자를 반복적인 시뮬레이션에 의해 도출하여 시스템의 상태변화가 좋은 성능이 보장될 수 있는 방향으로 설정할 수 있으며, 실제 시스템의 거동특성이 반영되는 계측데이터와 시뮬레이션 결과와의 상관관계 분석(Correlation Analysis)에 유용하게 사용될 수 있다. 따라서 시뮬레이션 방식은 해석적 방식에 비하여 공학적 가정 및 모델의 설정부분이 보다 자유롭고, 일정한 해법의 존재 유무에도 구애받지 않으므로 다양한 경우에 대한 접근을 시도할 수 있으며 보다 현실적인 해를 제공해 준다.

4. 시뮬레이션 및 해석결과

A, B, C 타입에 대한 동특성 해석은 각각 주어진 가/감속 속도 선도에 대해서 가속 - 등속 -

감속, 가속 - 감속, 하중의 유무 등의 4가지 상태(Case 01, 02, 03, 04)로 구분하여 상부 프레임의 변형량 및 안정화 시간에 대해서 일차 해석을 수행했다. 또한 마스트 연결부의 반력을 측정하여 마스트의 동적 안정성에 대한 평가를 수행했으며, 뒤 바퀴에 작용하는 반력을 측정하여 레일과 바퀴의 접촉 상태에 따른 스택터 크레인의 주행 안정성에 대한 평가를 수행했다. 포크의 위치는 상부프레임에 위치하도록 하여 가장 불안정한 상태에 대해서 해석을 수행했다. 그림. 3과 그림. 4는 각각 해석항목과 시뮬레이션에 사용된 속도패턴에 대한 사항을 도시한 것이다.

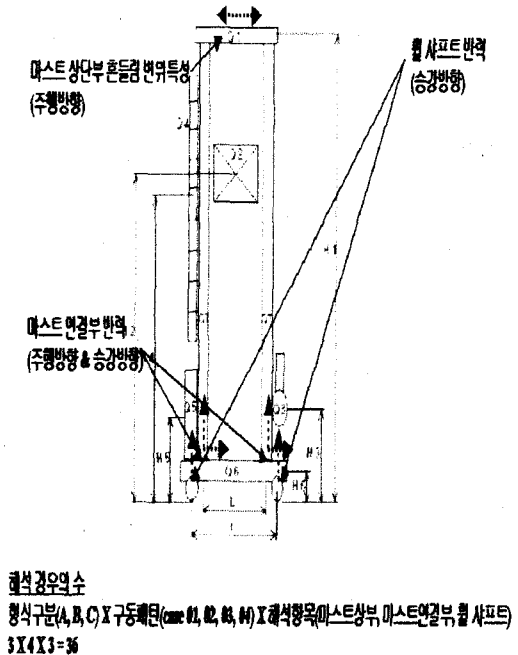
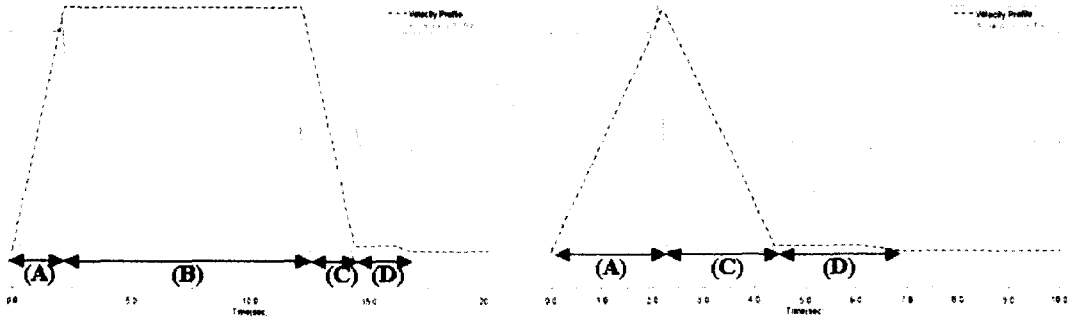


Fig. 3 Items of Dynamic Analysis

4.1 A 타입 해석결과

A 타입의 경우 화물이 마스트에 편하중으로 작용하게 되므로 초기 상태에서 화물방향으로 5 mm 처진 형상을 보이고 있으나 적재칸과의 화물 입/출입 오차 범위 안에 존재한다. 가속이 시작되면서 주행 반대 방향으로 급격하게 19 mm 위치까지 변형된 후, 12 mm 지점으로 2.5 초 이

- Case 01 : with load & constant velocity operation 10 sec
- Case 02 : with load & constant velocity operation 0 sec
- Case 03 : without load & constant velocity operation 10 sec
- Case 04 : without load & constant velocity operation 0 sec



(A) : acceleration, (B) : constant velocity, (C) : deceleration, (D) : creep & stop

Fig. 4 Velocity Profile of Simulation Model

내에 수렴한다. 가속이 제거되고 등속구간으로 진입하면서 초기 변위인 5 mm로 안정화되는데 약 2 초가 소요된다. 즉 가속-등속으로 진입하면서 약 4.5 초 동안 변위에 의한 진동이 발생하게 된다. 해석 결과인 그림. 8에서 보듯이 전체적으로 일정한 주기로 변형이 점차로 감소하는 현상을 보이고 있으므로 주행 안정성을 확보할 수 있다고 보여진다.

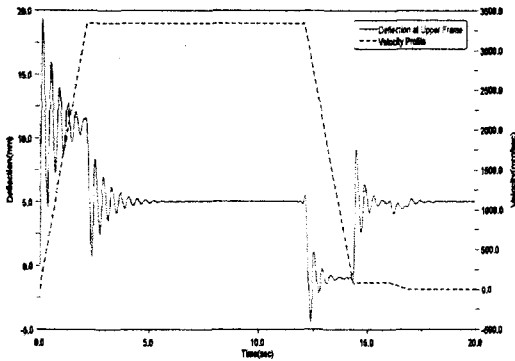


Fig. 5 Deflection Profile of "A" Type
(With Load & Velocity Constant Operation Time=10sec(Case01))

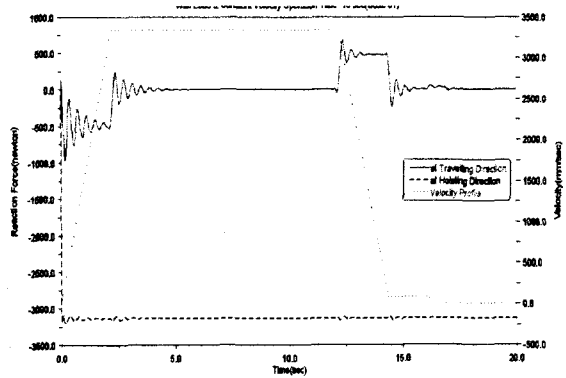


Fig. 6 Reaction Force of "A" Type
at Mast Join Part
(With Load & Velocity Constant Operation Time=10sec(Case01))

4.2 B 타입 해석결과

B 타입의 경우 화물이 마스트와 마스트 사이에서 하중이 작용하게 되므로 초기 상태에서 스택러 주행 축에 대해서 균형잡힌 모습으로 매우 안정감을 보여준다. 가속 및 등속 구간으로 진입하면서 가속 시 최대 변위 3mm 안정화 시간 1 초 정도로 주행 시에도 마스트는 매우 안정된 거동을 보여 주고 있다. 화물 하중이 A타입에 비

해서 증가했지만 더블 마스트 구조로 가면서 충분한 동적 강도를 제공하고 있는 것으로 보여진다. (가속 시 최대 변위 : 3 mm, 안정화 시간 : 1 초, 가속구간 주행거리 : 약 3 M, Stack 가속 구간 최소 이송 거리 6 M : 안정 운전 조건, 가속 등속 변화 점에서 최대 변위 : 0.7 mm(변형 량 0.7 mm))

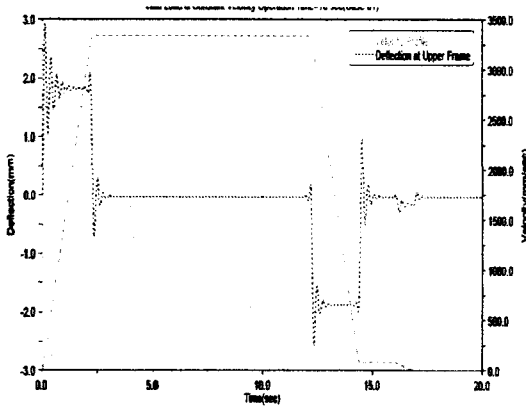


Fig. 7 Deflection Profile of "B" Type
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

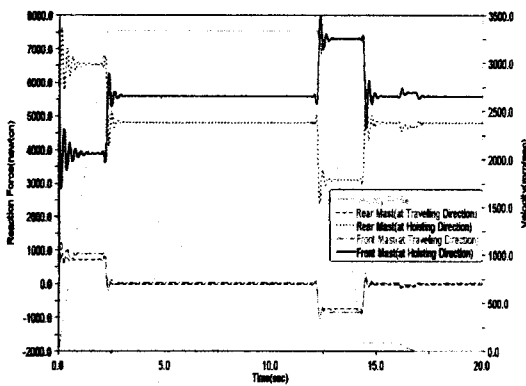


Fig. 8 Reaction Force of "B" Type
at Mast Join Part
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

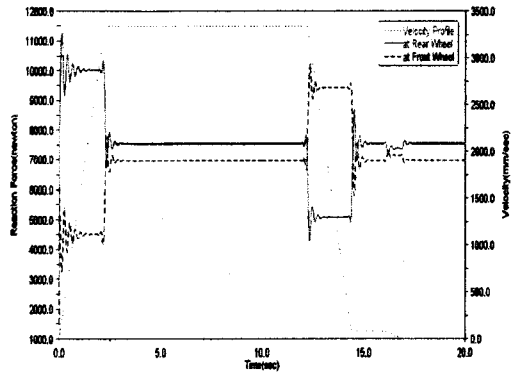


Fig. 9 Reaction Force of "B" Type
at Wheel Part
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

4.3 C 타입 해석결과

C 타입의 경우 아래의 그림. 10에서 보듯이, A, B와 같이 일정한 변형 양상을 보이지 않고 매우 진폭이 큰 진동 양상을 보이면서 변형량도 안정된 변위로 수렴하지 않는 것을 보여준다. 이것은 충분한 동적 강도를 제공하지 못하므로 일종의 변형에 대한 공진 현상이 발생하는 것으로 보인다. 따라서 C 타입의 경우 부족한 동적 강도를 보완하기 안정화 장치를 부착하여 실제 모델을 제작하였다.

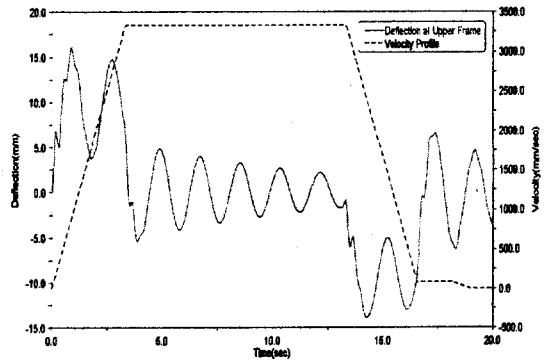


Fig. 10 Deflection Profile of "C" Type
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

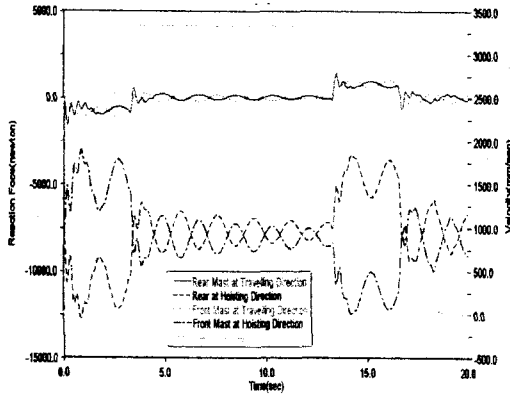


Fig. 11 Reaction Force of "C" Type
at Mast Join Part
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

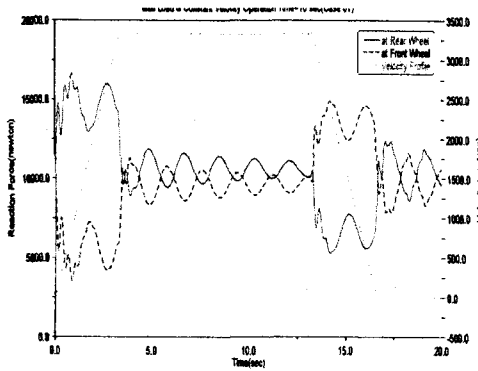


Fig. 12 Reaction Force of "C" Type
at Wheel Part
(With Load & Velocity Constant Operation
Time=10sec(Case01))

5. 결론

본 연구에서는 다양한 모델의 스택커 크레인 설계 데이터를 확보하고자 고속 경량의 A, B, C 세 가지 기본 설계 모델에 대해서 충분한 동특성을 가지고 있는가에 대한 연구를 수행하였다.

동특성 해석과정은 일반적인 수학적 모델링 절차를 생략하고 산업현장에서 응용이 가능한 상용

프로그램을 사용하였으며, 그 이유는 실제 스택커 크레인을 정확하게 수학적으로 묘사하는 모델의 유도는 매우 어려우며, 빈번하게 수행되는 설계변경과 이에 따른 수학모델의 수립은 현실적으로 불가능하기 때문이다.

따라서 스택커 크레인의 주행 안정성 평가를 위해 주어진 하중 조건 및 속도 선도를 기반으로 상부 프레임의 변형량 및 안정화 시간, 마스트와 하부 프레임 연결부의 반력, 휠에 작용하는 반력에 대한 해석을 수행하여 주행 시 마스트의 동적, 정적 강도 및 스택커 크레인의 주행 안정성에 대해서 종합적으로 평가하였다.

이러한 동특성 해석 절차는 산업현장의 다양한 응용분야로의 적용이 가능하다고 판단되며, 향후 고객의 다양한 요구에 신속한 대응을 할 수 있으므로 자동창고 시스템분야에서의 제품 경쟁력을 확보하였다고 사료된다.

참고문헌

1. Olsson, M., "On the Fundamental Moving Load Problem," J. of Sound and Vibration, Vol. 145, No. 2, pp.299-307, 1991.
2. Lee, U., "Separation Between the Flexible Structure and the Moving Mass Sliding on It," J. of Sound and Vibration Vol. 209, No. 5, pp.867-877, 1998.
3. Lee, H.P., "Dynamic Responses of a Beam With a Moving Mass," J. of Sound and Vibration, Vol. 191, No. 2, pp.289-294, 1996.
4. 홍유석 외 2인, "컴퓨터 시뮬레이션에 의한 시작 능력 분석," 대우자동차기보, 1994, p.171
5. 山内後一, "버추얼 프로토타이핑이란," 월간기계설계, 1999, 8 pp.26~28