

## 밸브트레인 시스템 통합 설계 프로그램 개발

조명래<sup>†</sup> · 김지운<sup>\*\*</sup> · 오대윤<sup>\*</sup> · 김지영<sup>\*\*</sup> · 한동철<sup>\*\*\*</sup>  
(2002년 1월 21일 접수, 2002년 7월 3일 심사완료)

### Development of Integrated Valve Train System Design Program

Choi, Myung-Rae, Kim, Jee-Woon, Oh, Dae-Yoon, Kim, Ji-Young and Han, Dong-Chul

**Key Words :** Valve Train(밸브트레인), Analysis Program(해석 프로그램), Cam/Tappet Friction(캠축 마찰), Friction Torque(마찰 토크), Total Friction Loss(전체동력손실)

#### Abstract

This paper introduces the development of the analysis and design program of valve train system. In order to verify the stability of design and improve the performance of system efficiently, it is required that integrated and interactive simulation program. The presented program is developed in the base of the object-oriented, capsulation, modulization, OLE (objected linking and embedding) and various design theory. It contains the expandability and flexibility of the structure. In addition to that, it is programmed to make the convenient user interface by using the visualization programming. This program can support the modification of the valve element as well as the development of the valve train system in the beginning of design. It is expected to save the cost and time for the design of valve train system.

#### 1. 서 론

21 세기는 국경을 초월한 자동차 산업의 무한경 시대이다. 고성능 저 연비 차량에 대한 소비자의 요구 상승 및 소비 패턴의 변화에 따라 신모델 개발 주기는 점점 더 짧아지고 있다. 이에 각 자동차 메이커들은 자동차 시장을 선점하기 위해 막대한 연구 개발비를 투자하고 있으며, 특히 연비 및 차량 성능에 절대적 영향을 미치는 엔진 개발에 투자를 집중하고 있다.

새로운 엔진의 개발에는 막대한 비용과 시간이 소요되므로, 각 자동차 메이커는 엔진 개발 단계에서 엔진의 성능 및 특성을 예측할 수 있는 해석 프로그램을 이용하여 엔진 개발에 드는 막대한 경제적 시간적 비용을 절감하고 있다. 특히 엔진의 주요 구동 요소인 크랭크 샤프트계, 피스톤계 및

밸브 트레인계에 대한 성능 및 특성 해석을 미리 수행함으로써 엔진의 소형화, 최적화 및 마찰 저감을 통한 연비 향상 등 성능의 극대화를 꾀하고 있다. 따라서 엔진 구성 요소의 설계 및 성능 예측을 위한 해석 패키지의 중요성은 점점 더 확대되고 있다. 이에 선진 자동차 메이커들은 이러한 통합 해석 패키지의 개발 및 활용에 적극적이다.

GM의 FLARE(Friction and Lubrication Analysis of Reciprocating Engines)<sup>(1)</sup>는 대표적인 예로서, 엔진 베어링, 피스톤 링 및 스커트, 밸브 트레인계 등에 대한 윤활 해석 및 동 특성 해석 등이 단계 별로 가능한 해석 프로그램이다. Ford, Nissan<sup>(2)</sup> 및 Volvo 등 선진 업체들은 자체 개발한 엔진 구동 요소에 대한 설계 및 해석 프로그램을 보유하고 있다. 한편 자동차 메이커와는 별도로 FEV, AVL, SwRI 및 Ricardo 등과 같은 엔지니어링 회사들도 자체 개발한 프로그램을 바탕으로 전세계 자동차 메이커를 상대로 활발한 컨설팅을 하고 있다.

그러나 세계 자동차 생산 5위의 자동차 대국인 한국의 경우, 제대로 된 엔진 요소 설계 및 해석 패키지의 개발이 미미하여, 연구의 대부분을 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다.

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 현대자동차 파워트레인 연구소

E-mail : formell@hyundai-motor.com

TEL : (031)369-4517 FAX : (031)369-4503

<sup>\*</sup> 현대자동차 파워트레인 연구소

<sup>\*\*</sup> 회원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

<sup>\*\*\*</sup> 회원, 서울대학교 기계항공공학부

따라서 본 논문에서는 엔진의 주요 구동 요소 중의 하나인 밸브 트레인계 설계를 위한 해석 프로그램 개발에 대해 소개하고자 한다. 본 논문에서 소개하는 해석 프로그램을 이용한 결과들은 엔진 시험 및 리그 시험을 통한 결과들과 잘 일치하였다. 본 프로그램을 통해 밸브 트레인계 설계에 드는 시간 및 비용의 획기적인 향상이 기대되는 바이다.

## 2. 시스템 개발

밸브트레인 시스템은 많은 요소들을 고려하여 설계하여야 한다. 현재까지는 그러한 요소들을 직렬식 순차적 방식으로 설계함으로써 설계, 재설계 과정을 수없이 반복함으로써 서로 유기적으로 연결되어 있는 각 요소가 전체 시스템에 미치는 영향을 해석하고 제어하기가 쉽지 않았다. 이러한 설계 방식은 효율적 측면에서나 최적의 설계치를 결정하는 측면에서 많은 어려움이 있다. 따라서 본 프로그램은 병렬식, 객체 분산형 프로그래밍을 채택하였다. 이는 시스템의 유연한 반응과 각 모듈의 독립성을 확보 시킴으로써 각 요소의 설계 인자를 정확히 판별할 수 있다.

이를 위해 각 요소의 모듈화와 계층화 또한 독립성을 보장하기 위한 캡슐화 기능을 포함하고 있는 C++ 언어의 클래스를 이용하여 구성하였다.

Fig. 1 에는 본 프로그램의 구성도를 나타내었다. 본 프로그램은 모듈 확장과 다른 해석 프로그램과의 통합을 위해 CotherEngineElement 모듈과 CotherType 모듈을 미리 구성해 놓았다.

한 모듈을 예로 들어 프로그램 구성을 설명하면, CDirectHLA 시스템 모듈에는 입력에 관한 모든 계산을 수행하는 Cinput, 데이터 처리 및 실제

연산을 수행하는 CRun, 연산 결과를 그래프 등을 통해 사용자에게 제공하는 Cresult로 구성된다.

Cinput 객체는 밸브 트레인 시스템의 질량, 강성, 댐핑, 물성치, 기하학적 형상, 작동 조건, 해석 조건으로 입력 사항을 구분하여, 사용자가 원하는 시스템의 사양을 입력할 수 있도록 하였다. CRun 객체는 밸브의 거동을 해석하는 CDynamic 모듈과 윤활 해석을 수행하는 CLubrication 모듈, 그리고 캠 샤프트의 동적 해석을 수행하는 CShaft 모듈로 분리되어 있다.

밸브의 동적 거동 해석 루틴은 밸브계를 집중 질량법으로 모델링 하였다.<sup>(3)</sup> 밸브 트레인계 윤활 및 마찰 해석은 탄성 유체 윤활 및 혼합 윤활 모델<sup>(4)</sup>을 활용하였으며, 캠 샤프트의 동적 거동 해석은 캠 샤프트를 여러 개의 집중 질량으로 나누고 이를 전달 행렬법<sup>(5)</sup>을 이용하여 해석 하는 모델을 활용하였다. 해석 모델, 기본 지배 방정식 그리고 수치 해석 방법 등은 저자들의 기 발표 논문을 참조하기 바란다.

CResult 객체는 자체적으로 개발한 데이터 처리 루틴이 들어가 있다. COutData 루틴이 가지고 있는 밸브 및 캠 축의 변위, 속도, 밸브 트레인 시스템에 작용하는 각종 하중 및 축 거동과 캠 베어링 내 저어널 운동 궤적 등, 설계에 필요한 결과들을 각각의 데이터 영역에 맞게 그래프로 나타내어 주거나 데이터 파일을 생성하여 준다. CCopy 객체에서는 윈도우 클립보드를 관리하여 기본적인 그림 파일 형식인 비트맵으로 복사가 가능하다

## 3. 시스템의 실제 문제 적용

본 프로그램의 실제 적용 사례로서 밸브 트레인 시스템의 동특성, 마찰 및 캠 샤프트 거동 해석 등을 수행하였다. 먼저 해석 하고자 하는 밸브 트레인 형식을 선정한다.

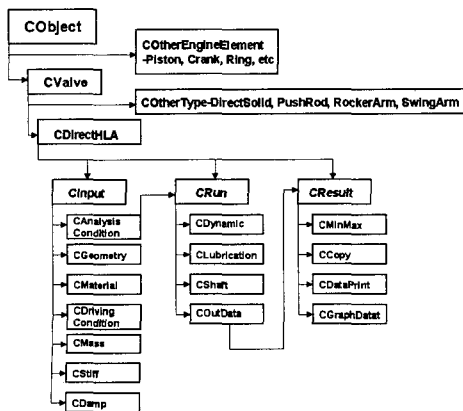


Fig. 1 Multiple document interface(MDI) structure

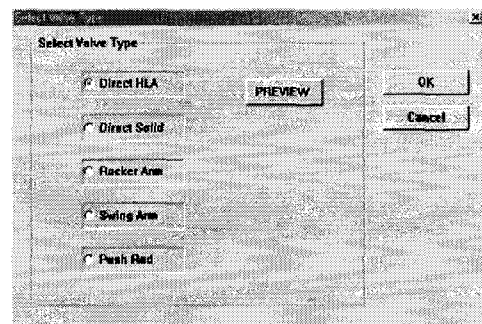


Fig. 2 Select valve type

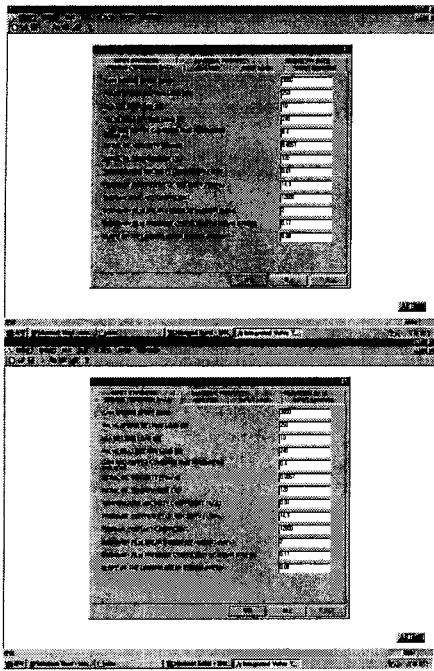
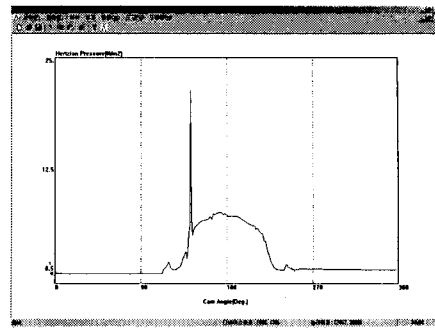
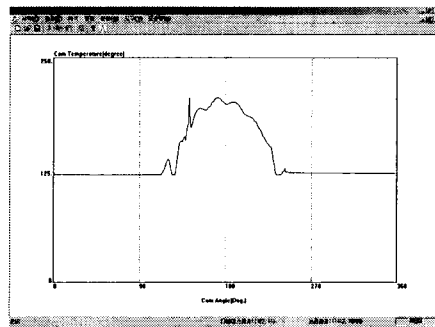


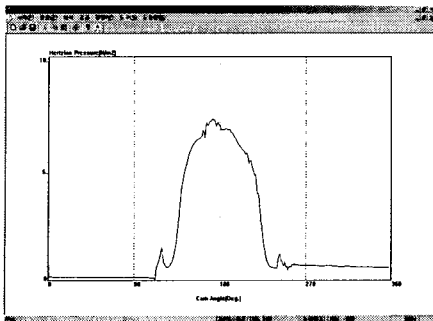
Fig. 3 Input property sheet



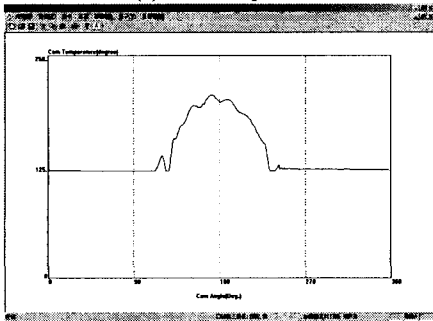
(a) Hertzian pressure



(b) Cam temperature



(a) Hertzian pressure



(b) Cam temperaturer

Fig. 4 Application example of designed cam

Fig. 5 Application example of worn cam

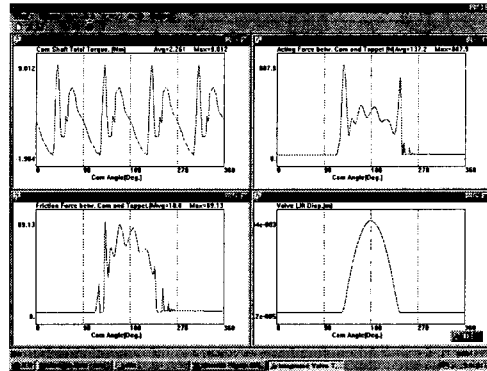
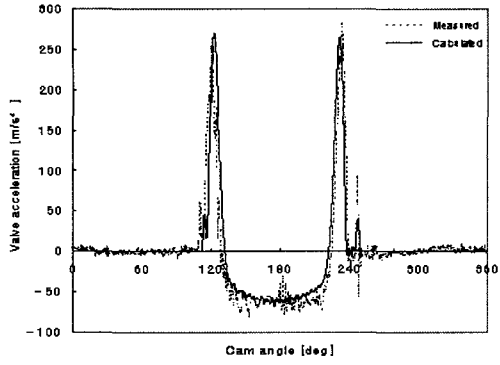


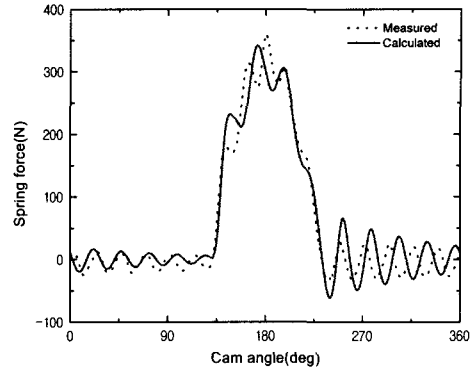
Fig. 6 Typical output graph.

다음은 선정된 밸브 형식에 대해 해석에 필요한 변수의 입력이다. CInput 객체는 캡슐화 되어 있으므로 사용자는 그에 대한 자세한 관리나 구성을 알 필요 없이 쉽게 사용할 수 있도록 프로퍼티 시트를 도입하였다.

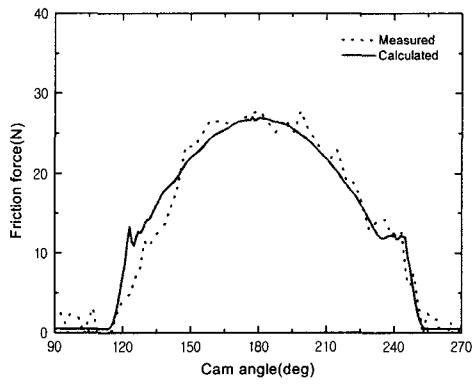
Fig. 4 와 Fig. 5 에서 본 프로그램을 이용하여 캠 프로파일의 설계 적정 여부를 확인하였다. 두 가지 프로파일에 대해 해석을 수행한 결과, 한 프로



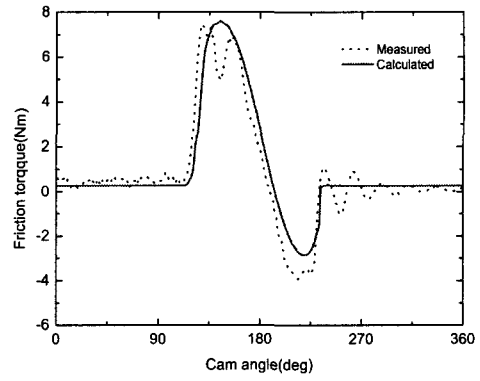
(a) Acceleration



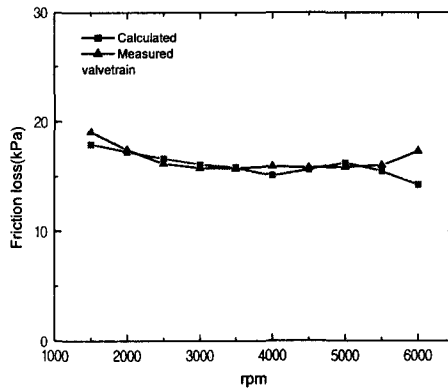
(b) Spring force



(c) Cam/Tappet friction



(d) Friction torque.



(e) Total friction loss

Fig. 7 Comparison between analysis and experiment

파일에서 접촉 응력 및 표면 온도에서 이상 피크가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 캠 프로파일의 경우, 캠의 과도 마모 등을 유발할 수 있다.

본 프로그램의 경우, 위와 같은 문제점 발견 뿐 아니라 밸브 변위, 작용 하중, 최소 유막, 마찰력과 구동 토크 및 축 거동과 베어링 내 저어널 계적 등 다양한 결과를 일목요연하게 확인할 수 있으므로 설계의 타당성 여부를 확인하여 바로 설계 변경 등에 활용할 수 있다. Fig. 6 에는 캠 축 구동 토크, 캠과 태핏 접촉 하중 및 마찰력 그리고 밸브 변위 등에 대한 해석 결과 예를 나타내었다.

#### 4. 해석 결과의 신뢰성 검증

본 프로그램을 이용한 해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 리그 시험 및 엔진 시험을 통해 측정된 결과와의 비교를 하였다. 밸브 가속도, 스프링 하중, 캠과 태핏 접촉부 마찰력, 캠 샤프트 구동 토크 및 밸브 트레인 시스템 전체 마찰 손실 등 밸브 트레인 시스템의 동특성 및 마찰 특성에 대한 비교를 하였다. 각 동특성 및 마찰력, 마찰 토크 등은 단일 캠에 대한 리그 시험을 통해 측정된 결과이며, 밸브 트레인 시스템 전체 마찰 손실은 엔진 다이내모에서 스트립 다운(Strip down) 시험을 통해 얻은 결과이다. Fig. 7 에서 볼 수 있듯 전체적인 해석 결과는 시험 결과와 매우 잘 일치하고 있어 본 프로그램을 통한 해석 결과의 신뢰성이 상당히 높음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

기계 요소를 설계하는데 향상된 방법론인 병렬식, 모듈화 설계 개념을 도입하여, 각 시스템의 통합 분산이 자유롭고, 유연한 설계가 가능하도록 밸브 트레인 설계 및 해석 프로그램을 개발하였다.

실제 적용 사례를 통해 밝힌 바와 같이 사용자가 손쉽게 밸브 트레인 시스템의 문제점 발견이나 해결 및 한계 특성 파악에 사용할 수 있다.

실제 시험 결과와의 비교를 통해 본 프로그램의 해석 결과의 신뢰성을 확인 하였으며, 본 프로그램 활용 시 밸브 트레인 시스템의 개발, 설계의 신뢰성 확보 및 수정, 보완에 따르는 많은 경제적 시간적 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- (1) Goenka, P. K., 1986, "Role of Tribology in Vehicle Design - General Motors Perspective," 17<sup>th</sup> Leeds-Lyon

*Symposium, Elsevier*, pp. 479-493.

- (2) Hamai, K., Goto, T., Masuda, T., Arai, T. and Goto, T., 1986, "Present Status and Future Direction of Engine Tribology at Nissan," 17<sup>th</sup> Leeds-Lyon Symposium, Elsevier, pp. 495-502.
- (3) Kim, D. J., Shin, B. S., Yun, S. H. and Park, B. G., 1996, "The Study for Analysis of OHV Valve Train Dynamic Characteristics and Optimum Cam Design," *Journal of KSAE*, Vol. 4, No. 1, pp. 110-122.
- (4) Shin, H. J., Cho, M. R. and Han, D. C., 2000, "Mixed Lubrication Analysis of Cam/Tappet Interface on the Direct Acting Type Valve Train System," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 6, pp. 685-692.
- (5) Gasch, R. U. and Pfutzner, H., 1975, "Rotor-dynamic," Springer-Verlag.
- (6) Lee, S. Y. and Lee, M. C., 1999, "Visual C++ Programming Bible Ver. 6. x," Youngjin.com.
- (7) Woo, M., Neider, J., Davis, T. and Shireiner, D., 1997, "Open GL Programming Guide," Addison Wesley.
- (8) Kim, Y. S., 2000, "Visual C++ prefect guide," Youngjin.com.

#### Appendix

##### A. Input property

##### 1. Driving condition data

Cam driving speed[rpm]  
 Valve spring setting load[N]  
 HLA setting load[N]  
 Valve seat setting load[N]  
 Cam and tappet combined rms roughness[ $\mu\text{m}$ ]  
 Initial oil viscosity[Pa]  
 Initial oil temperature[ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 Temperature viscosity coefficient[ $1/^{\circ}\text{C}$ ]  
 Pressure coefficient of viscosity[1/GPa]  
 Thermal contact coefficient  
 Boundary film shear stress at ambient[MPa]  
 Boundary film pressure coefficient of shear stress  
 Slope of the limiting shear stress-pressure

##### 2. Material property

Young's modulus[ $\text{Ns}/\text{m}^2$ ]  
 Poisson ratio  
 Density of oil[ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

##### 3. Geometry data

Base circle radius of cam[m]  
 Cam width[m]

- Cam eccentricity[m]
- Initial contact length of plunger and seat[m]
- Initial plunger height[m]
- Outer radius of seat[m]
- Inner radius of stat[m]
- Radius of check valve hole[m]
- Clearance between plunger and seat[ $\mu\text{m}$ ]
- Contact length of tappet body and seat[m]
- Clearance between tappet body and seat[ $\mu\text{m}$ ]
- Radius of tappet body[m]
- Contact length of tappet body and bore[m]
- Clearance between tappet body and bore[ $\mu\text{m}$ ]

4. Input stiffness[N/m]

- Cam shaft
- Cam and tappet
- HLA spring
- Plunger and valve
- Valve spring
- Valve seat
- Natural frequency of valve spring

5. Input damping[Ns/m]

- Cam shaft
- Cam and tappet
- Chamber and valve
- Valve seat

6. Input mass[Kg]

- Cam mass
- Tappet body and seat mass
- Plunger mass
- Valve mass

B. Valve train model

1. Direct



2. Rocker arm



3. Swing arm



4. Push rod

