

IV-TAP : 밸브트레인 통합 해석 프로그램

김지영·조명래·신흥주·한동철
서울대학교 기계항공공학부 대학원
서울대학교 터보동력기계연구센터
서울대학교 정밀기계연구소
서울대학교 기계항공공학부

IV-TAP : Integrated Valve Train system Analysis Program

Ji-young Kim, Myung-Rae Cho, Heung-Joo Shin and Dong-Chul Han

Graduate Student, School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National Univ.
Turbo & Power Machinery Research Center, Seoul National Univ.
Institute of Advanced Machinery Design, Seoul National Univ.
School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National Univ.

Abstract - This paper reports on the development of the analysis program of the valve train system, IV-TAP. It is essential to verify the stability of the design and to improve the performance of the system. In order to do that efficiently, it is required that integrated and interactive simulation analysis program. IV-TAP is developed in the base of the object-oriented, capsulation, modulization, OLE(objected linking and embedding) and variational design theory. So it contain the expandability and flexibility of the structure. In addition to that, it is programed to make the convenient user interface by using the visualization programming. It can support the modification of the valve element as well as the development of the valve system in the beginning. It is expected to reduce the money and effort for design the valve train system.

Key words : valve(밸브), application program, direct solid, direct HLA, swing arm, rocker arm, push rod, valve train.

1. 서론

21세기 자동차 산업은 국경을 초월한 무한 경쟁의 시대에 처해있다. 고성능, 저연비 차량에 대한 소비자의 욕구 상승 및 소비 패턴의 변화에 따라 신모델 개발의 주기는 더욱 더 짧아졌다. 따라서 각 자동차 메이커들은 소비자의 욕구에 부응하고 자동차 시장의 선점을 위해 막대한 연구비를 투자하고 있다. 자동차의 심장이라 할 수 있는 엔진은 차량의 성능에 직접적인 영향을 미치는 핵심 부분으로, 고성능 엔진 개발을 위한 각 사의 경쟁은 치열하다. 새로운 엔진의 개발에는 막대한 예산과 시간이 소요되므로, 각 자동차

메이커에서는 엔진의 개발 단계에서 엔진의 성능 및 특성을 예측할 수 있는 해석 프로그램을 이용하여 엔진 개발에 드는 막대한 경제적, 시간적 비용을 줄이고 있다. 특히 엔진을 구성하는 주요 기계 요소인 크랭크샤프트, 엔진 베어링, 피스톤계 및 밸브 트레인 계에 대한 성능 및 특성 해석을 미리 수행함으로써 엔진의 소형화, 최적화 및 마찰 손실의 저감을 통한 연비 향상 등 성능의 극대화를 꾀하고 있다. 따라서 엔진 요소 설계 및 성능 예측을 위한 통합 해석 패키지의 중요성은 점점 더 중요해지고 있으며 이에 따라 선진 자동차 메이커들은 이러한 통합 패키지의 개발 및 활용에 적극적이다. GM의 FLARE(Friction and Lubrication Analysis of Reciprocation

Engines)는 대표적인 예로서, 엔진 베어링, 피스톤 링 및 피스톤 스커트, 그리고 밸브 트레인 계에 대한 윤활 해석 및 동특성 해석 등이 단계별로 가능한 통합 해석 프로그램이다. Ford, Volvo, Toyota 등도 자체 개발한 엔진 요소에 대한 해석 패키지를 보유하고 있다. 한편 이러한 자동차 메이커와는 별도로 FEV, AVL, 및 Ricardo 등과 같은 연구 기관 들도 자체 개발한 해석 패키지를 바탕으로 전세계 자동차 메이커를 상대로 엔진 개발에 관한 컨설팅을 하고 있다. 그러나 세계 자동차 생산 5위의 자동차 대국인 우리의 경우, 제대로 된 엔진 요소 설계 및 해석 패키지의 개발이 미미하여, 연구의 대부분을 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 이에 엔진 요소 설계 및 특성 해석용 통합 소프트웨어 개발의 일환으로 본 연구진에서는 엔진의 밸브트레인 시스템의 동특성 및 윤활 특성을 예측하고 설계 단계에서 쉽게 활용할 수 있는 해석 프로그램인 IV-TAP (Integrated ValveTrain System Analysis Program)을 개발중이다. 해석 결과의 신뢰성은 이미 본 연구진에 의해 수행된 기존의 결과와의 비교를 통해 검증이 끝난 상태이다. 현재에는 직동식 HLA 타입에 대한 해석만이 가능하나, 본 프로그램이 완성되는 시점인 2000년 9월경에는 직동식뿐 아니라 로커암(Rocker arm), 스윙 압(Swing Arm), 푸쉬 로드(Push Rod) 등 다양한 밸브계에 대한 종합적인 해석이 가능할 것이다. 그리고 향후, 본 연구진에서 현재 개발 중인 엔진 해석 및 설계 통합 프로그램인 IEDAP(Integrated Engine Design and Analysis Package)과 통합 될 예정이다. 본 논문에서는 지금까지 개발된 IV-TAP에 대한 소개를 하고자 한다. 본 프로그램을 통해 엔진의 밸브계 설계 시 드는 시간 및 비용의 획기적인 향상을 기대하는 바이다.

2. 시스템 개발

밸브 트레인 시스템은 일반 기계 요소의 설계와 마찬가지로 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 IV-TAP은 병렬식, 객체 분산형 프로그래밍을 채택하였다. 이는 시스템의 유연한 반응과 각 모듈의 독립성을 확보시킴으로써 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.

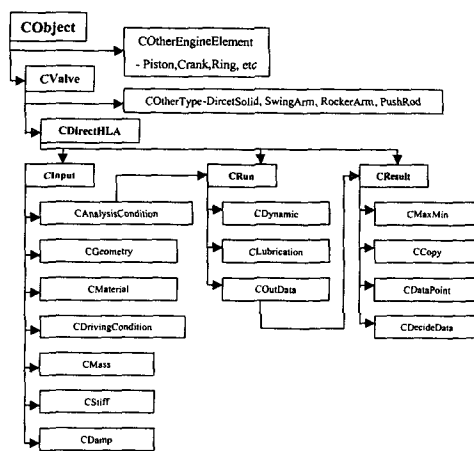


Fig 1 MDI Structure

IV-TAP 프로그램의 모듈 확장과 엔진 프로그램과의 통합을 위해 COtherEngineElement 모듈과 COtherType 모듈을 이미 구성해 놓았다.

CDirectHLA 시스템 모듈에는 입력에 관한 모든 계산을 수행하는 CInput, 데이터의 처리 및 실제 해석을 수행하는 CRun, 계산된 결과를 사용자에게 보여주는 CResult로 구성된다.

CInput 객체는 밸브 시스템의 질량, 강성, 댐핑, 물성치, 기하학 형상, 작동조건, 해석 조건으로 입력 사항을 구분하여, 사용자가 원하는 시스템의 사양을 입력할 수 있도록 하였다. CRun 객체는 밸브의 거동을 해석하는 CDynamic 모듈과 윤활조건 해석을 수행하는 CLubrication 모듈로 분리되어 있다. 윤활해석은 혼합 윤활 해석을 수행한다. CResult 객체는 우리가 자체적으로 개발한 데이터 처리 루틴이 들어가 있다. COutData 루틴이 가지고 있는 밸브 및 캠축의 변위와 속도, 밸브 시스템에 작용하는 여러 가지 하중들,

스프링 하중, 마찰력 등의 설계에 필요한 결과들을 각각의 데이터 영역에 맞게 그래프로 나타내어 주며, 여러 가지 논문 및 발효 자료에 이용할 수 있게 CCopy 객체에서 윈도우 클립보드를 관리하여 기본적인 그림 파일 형식인 비트맵으로 복사가 가능하다.

3. 시스템의 실제 문제 적용

IV-TAP의 실제 적용 사례로서 캠 표면에서의 마모 해석을 수행하도록 한다.

현재 완전한 해석이 가능한 Direct HLA type을 선택한다.

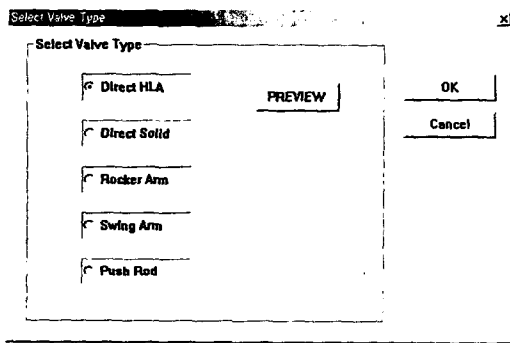


Fig 2 Select Valve Type

CInput 객체는 캡슐화되어 있으므로 사용자는 그에 대한 자세한 관리나 구성을 알 필요 없이 쉽게 사용할 수 있도록 프로퍼티시트를 도입하였다.

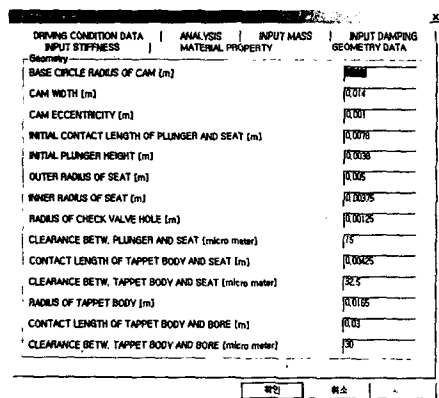


Fig 3 Input Property Sheet

Fig. 2에는 밸브트레인 형상에 대한 입력 변수 창을 나타내었다.

실제 엔진의 캠 표면에서의 마모는 캠의 노우즈 영역이 아니라, 프랭크(frang)부에서 시작되어 노우즈 영역으로 전파된다. 캠에서 마모의 시작에 영향을 주는 주된 원인은 하중에 의한 최대 응력이 아니라 최소 유막 두께에 의한 마찰력 및 표면 온도의 이상 피크이다. 또한 스커핑(scuffing) 등의 마모가 한번에 발생하는 것이 아니라, 처음에는 폴리싱 마모(polishing wear)가 발생하여 캠 표면이 평평하게 마모된 다음 시간이 지나면서 스커핑 등이 발생하는 것으로 알려져 있다[1].

캠 축 속도 1500rpm에 대하여, 실제 디자인 상태의 마모가 일어나기 전, 캠 형상을 가지고 해석한 결과이다.

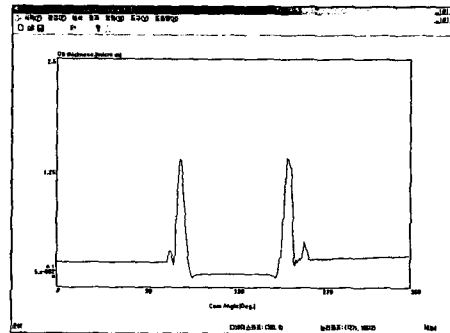


Fig 4 Minimum oil Thickness, Designed cam

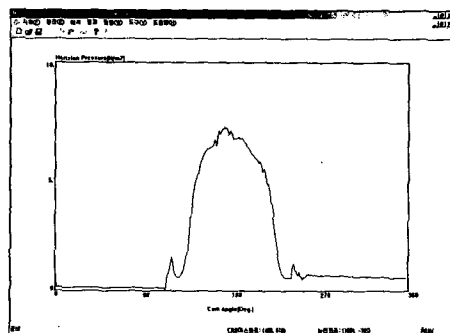


Fig 5 Hertzian Pressure, Designed cam

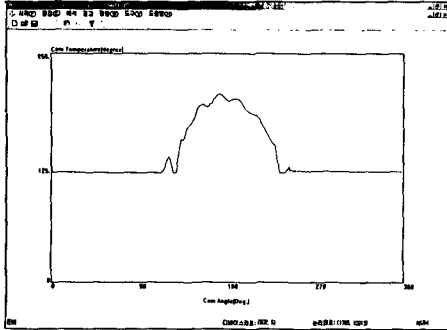


Fig 6 Cam Temperature, Designed cam

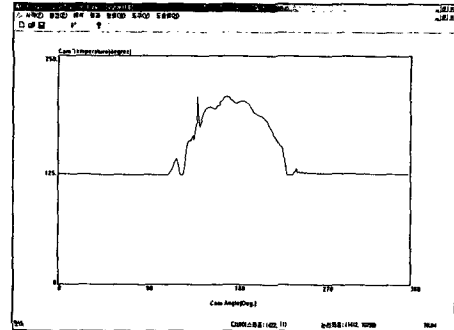


Fig 9 Cam Temperature, worn cam

캠의 표면에 마모가 일어난 상태의 캠 형상을 가지고 해석한 결과이다. Fig. 3에서 Anaysis 탭을 선택한 후, 마모가 일어난 캠 형상 파일을 바꾸어 준다.

Fig. 8과 Fig. 9를 보면 마모가 발생한 캠의 경우 마모가 시작되는 부분과 끝나는 부분에서 응력 및 온도의 순간적인 피크가 심화되어 나타나는 것을 즉시 확인해 볼 수 있다.

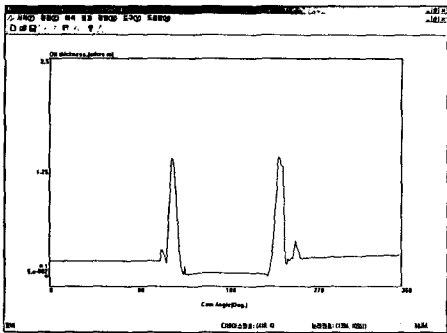


Fig 7 Minimum oil Thickness, worn cam

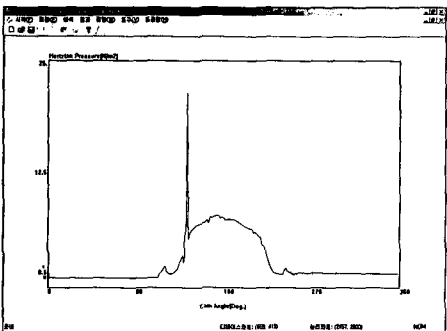


Fig 8 Herzian Pressure, worn cam

4. 결론

기계요소를 설계하는 데 좀더 향상된 방법론인 병렬식, 모듈화 설계 개념을 도입하여, 각 시스템의 통합, 분산이 자유롭고 유연한 설계가 가능하도록 밸브 트레인 시스템 설계 및 해석 프로그램을 개발하였다.

실제 사례를 통해 밝힌 바와 같이 어려움없이 시스템의 문제점 발견이나 그 해결에 사용할 수 있다.

또한 그 결과를 바로 모니터링할 수 있으므로 밸브 시스템의 개발 설계 및 수정, 보완에 많은 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) 신흥주, "직동식 밸브트레인 시스템의 캠/태핏 접촉부의 혼합 윤활 해석", Spring Conference proceeding, 2000
- (2) 신흥주, "직접 구동형 OHC 밸브 트레인 시스템에서의 태핏 회전 연구", 서울대학교 공학 석사 학위 논문, 2000
- (3) C.M. Taylor, "Engine Tribology", Tribology Series 26, Elsevier Science Publishers, 1993
- (4) J. T. Staron and P. A. Willermet, "An Analysis of Valve Train Friction in Terms of Lubrication Principles", SAE No.830165, 1983

- (5) P. J. Philips ,A. R. Schamel and J. Meyer
 "An Efficient Model for Valvetrain and Spring
 Dynamics", SAE No. 890619 ,1989
- (6) Andreas R. Schamel, Joachin Hammacher,
 and Dietrich Utsch, "Modeling and Measurement
 Techniques for Valve Spring Dynamics in High
 Revving Internal Combustion Engines" SAE
 No.930615 ,1993
- (7) P. Kreuter and G. Maas, "Influence of
 Hydraulic Valve Lash Adjusters on the Dynamic
 Behavior of Valve Trains", SAE No. 870086 ,1987
- (8) A. P. Pisano and F. Freudenstein, "An
 Experimental and Analytical Investigation of the
 Dynamic Response of a High-Speed Cam-Follower
 System. Part 1: Experimental Investigation",
 Transactions of the ASME, Vol. 105, pp.692,1983
- (9) 이상엽, 이문철, "Visula C++ Programming
 Bible Ver. 6. x", (주)영진출판사, 1999
- (10) Manson Woo, Jackie Neider, Tom Davis,
 Dave Shireiner, "Open GL Programming Guide",
 Addison Wesley, 1997
- (11) 김용성, "Visual C++ 6 완벽 가이드", (주)
 영진.com, 2000