

車輛 動力學

俞 完 錫

釜山大學校 生産機械工學科 教授



●1954年 10月 10日生
●컴퓨터를 이용한 기계 시스템의 機構學·動力學을 專攻하였으며, 特別히 車輛의 動力學 및 로봇공학에 많은 關心을 가지고 있다.

1. 머리말

自動車 시스템의 動力學的 解析에 있어서, 數學的인 方法을 使用한다는 것은 거의 不可能하므로, 컴퓨터가 使用되기 前에는 주로 實驗에 依해 研究가 進行 되었다. 컴퓨터의 利用과 더불어 機械시스템(mechanical system)의 動力學 分野 研究가 활발히 進行되면서, 1970年代 初부터 機械시스템의 解析을 위한 프로그램들이 많이 開發되기 始作하였다. 自動車의 動力學도 여러개의 物體로 構成된 系의 動力學, 즉 多物體動力學(multibody dynamics)의 한 分野로 볼 수 있으며, 自動車動力學的의 目的은 自動車의 運轉性(mobility), 승차감(ride-quality), 및 安定性(stability)을 解析하고 보다 性能이 좋은 自動車를 設計하고자 하는데 있다고 볼 수 있다. 여기서는 多物體動力學的의 現況 및 研究動向을 소개하면서, 自動車動力學 分野에 焦點을 맞추고자 한다.

2. 모델링方法 및 解析方法

그림 1에는 트랙터-트레일러의 컴퓨터 시뮬레이션 모델, 그림 2에는 一段 乘用車의 動力學的 解析 모델, 그림 3에는 트랙車輛의 解析 모델, 그림 4에는 鐵道車輛의 모델이 그려져 있다. 實際시스템과 같이 모델링하면 正確한 解가 얻어질 수 있겠으나, 部品の 數가 너무

많아지면 系의 運動方程式의 數가 많아져서 컴퓨터 使用時間이 길어지게 되고, 컴퓨터 使用時間이 길어지면 계산량도 많아져서 數值的인 誤差가 커질 危險性도 있다. 또한 컴퓨터 使用時間은 座標의 設定方法, 運動方程式의 誘導方法에 따라서도 달라지므로, 可能的 限 짧은 컴퓨터 使用時間으로 正確한 解를 얻는 方法에 關한 研究가 많이 進行되고 있다.

2.1 座標의 設定方法

모델링에 있어서 座標의 設定方法에는 크게 絕對座標系를 利用하는 方法과 相對座標系를 利用하는 方法으로 나눌 수 있다. 絕對座標系(또는 직교좌표계)를 利用하면 開放連鎖系(open loop system)나 拘束連鎖系(closed loop system)에 相關없이 共通的으로 使用되는 一般的인 式을 誘導할 수 있다는 長點이 있으나, 座標의 數가 많아져서 컴퓨터 使用時間이 길어지는 短點이 있다. 絕對座標系를 使用한 代表的인 컴퓨터 프로그램으로는 ADAMS⁽¹⁾와 DADS⁽²⁾가 있다. 相對座標系는 開放連鎖系의 解析에서는 効率的이나 拘束連鎖系의 處理에는 약간의 어려움이 있다. 또한 相對座標系를 使用하여 컴퓨터에서 出力을 뽑아 낼때 그 값들이 갖는 物理的인 意味를 알아내기는 絕對座標系의 경우보다 못하다는 短點이 있다. 相對座標系를 이용하는 프로그램으로는 MEDYAN⁽³⁾가 있다. 座標系 設定의 또 다른 方法으로 速度變換(velocity transformation)方法이

Jerkovsky⁽⁴⁾에 의해 紹介되고, Keat⁽⁵⁾, Kim⁽⁶⁾에 의해 利用되었다. Kim⁽⁶⁾은 入力과 出力을 絶對座標系를 利用하고 컴퓨터 프로그램 內에서 相對座標系로 變換시킴으로써 컴퓨터 使用時間을 줄이는 方法을 研究하였다.

2.2 運動方程式의 誘導方法

運動方程式의 誘導方法은 Newton-Euler 方法, Euler-Lagrange 方法 및 變分形態式 (variational form)으로 크게 나눌 수 있다. Euler-Lagrange 方法을 使用하면 方程式의 誘導는 어렵지 않지만 (straight-forward) 에너지를 微分하는 過程이 지루하다 (tedious). 따라서 이러한 어려움을 피하기 위하여 기호연산 (symbolic computation) 技法⁽⁷⁾이 使用되기도 한다. 變分形態의 式을 使用하면 Euler-Lagrange 方法보다는 쉽게 方程式을 얻을 수 있으며 Wittenburg⁽⁸⁾, Haug⁽⁹⁾에 의해 이용되었다.

2.3 運動方程式의 解法

相對座標系를 使用하여 開放連鎖系를 취급할 때와 같이 拘束條件式 (constraint equation)이 생기지 않는 境遇에는 運動方程式이 常微分方程式 (ordinary differential equation)으로 表示되므로 큰 어려움 없이 풀 수가 있다. 이런 微分方程式을 푸는 컴퓨터 프로그램은 이미 많은 種類가 開發되어 있으며, 많이 使用되는 것 中의 하나가 프리딕터-커랙터 (predictor-corrector) 알고리즘^(10,11)이다. 相對座標系를 使用하여 拘束連鎖系를 解析할 때나 絶對座標系를 使用하여 系를 解析할 때는 拘束條件式이 생기므로, 代數方程式 (algebraic equation)과 微分方程式이 混合된 微分-代數方程式 (differential-algebraic equation)이 생긴다^(12,13). 이런 微分-代數方程式을 풀 때, 高周波項 (high frequency term)이 급히 減衰되는 경우에는 프리딕터-커랙터 알고리즘을 適用하기 어렵게 된다. 이 境遇에는 Gear⁽¹³⁾가 제창한 方法과 같은 스티프 인티그레이션 (stiff integration) 알고리즘을 使用하여 이런 어려움을 피할 수 있

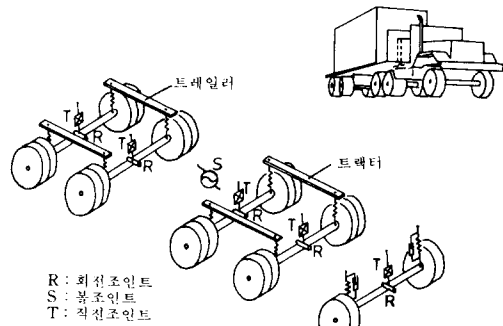


그림 1 트랙터-트레일러의 모델

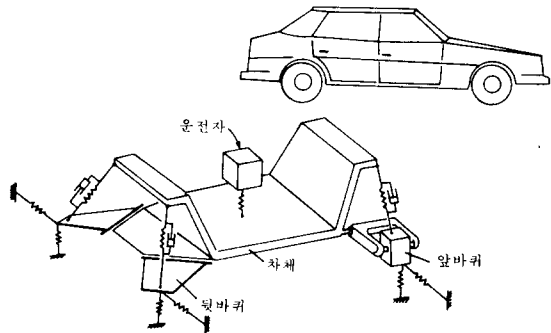


그림 2 승용차의 동력학적 해석 모델

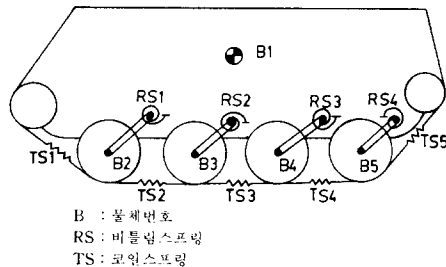


그림 3 트랙차량의 해석모델

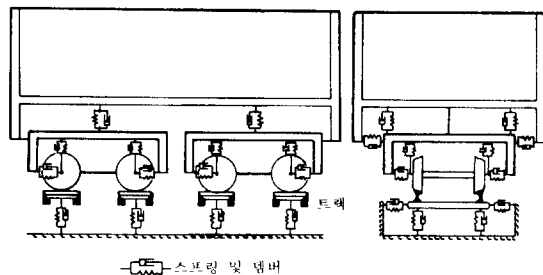


그림 4 철도차량의 해석모델

表 1 機械 및 機構 解析 프로그램

ADAMS :	(Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) Developed by N. Orlandea, J. Angell, and R. Rampalli Commercially available from Mechanical Dynamics Incorporated, 55 South Forest, Ann Arbor, Michigan 48104
DADS :	(Dynamic Analysis and Design System) Developed by E. J. Haug, G.M. Lance, P.E. Nikravesh, M. J. Vanderploeg, and R. A. Wehage Commercially available from Computer Aided Design Software Incorporated, P. O. Box 203, Oakdale, Iowa 52319
DYSPAM :	(Dynamics of Spatial Mechanisms) Developed by B. Paul and R. Schaffa Commercially available from Professor B. Paul, Department of Mechanical Engineering, University of Pennsylvania, Pennsylvania
IMP :	(Integrated Mechanisms Program) Developed by J. J. Uicker and P. Sheth Commercially available from Professor J. J. Uicker, Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin
MESA VERDE :	(Mechanism, Satellite, Vehicle, and Robot Dynamics) Developed by J. Wittenburg and U. Wolz Commercially available from Professor J. Wittenburg, Institut Fur Mechanik, Universitat Karlsruhe, FRG
NEWEUL	Developed by W. O. Schiehlen and E. J. Kreuzer Commercially available from Professor W. O. Schiehlen, Institute B. of Mechanics, University of Stuttgart, FRG
DRAM :	(Dynamic Response of Articulated Machinery) Developed by D. A. Smith, J. Angell, M. A. Chace, M. Korybalski, and A. Rubens Commercially available from Mechanical Dynamics Incorporated, 555 South Forest, Ann Arbor, Michigan 48104
DYMAC-G :	(Dynamics of Machinery-General Version) Developed by B. Paul and A. Amin Commercially available from Professor B. Paul, Department of Mechanical Engineering, University of Pennsylvania, Pennsylvania

다. 微分-代數方程式을 푸는 다른 方法으로는 全體座標를 獨立座標와 從屬座標로 分離하여, 獨立座標에 대한 積分을 수행하고 代數方法式을 풀어서 從屬座標의 값을 찾아내는 解法도 있으며⁽¹⁴⁾, 制御理論에서 얻어진 結果를 利用하는 拘束條件安定法⁽¹⁴⁾(constraint stabilization method)도 있다. 또한 座標分離法과 拘

束條件安定法을 섞어서 使用하는 混合法(hybrid method)⁽¹⁵⁾도 發表되었다.

3. 開發된 프로그램의 種類

앞에서 言及한 바와 같이 系를 모델링하는 境遇에 座標를 選擇하는 方法, 運動方法式의

誘導方法, 運動方法式을 푸는 方法 등이 多樣하므로 어떤 方法을 使用하는 것이 제일 좋다고 結論 맺기는 쉽지 않다. 여러 境遇의 問題를 解析할 수 있는 一般的인 프로그램은 特定한 問題를 위한 特殊프로그램 보다 效率性 (efficiency)은 뒤떨어지지만, 범용성의 見地에서는 有利하다. 現在까지 開發되어 市販中이거나 使用中인 범용 프로그램 (general purpose program)의 이름과 개발자의 目錄은 表 1과 같으며, 詳細한 內容은 參考文獻 (16)에 잘 나타나 있다. 自動車의 動力學的 解析에 使用되고 있는 프로그램도 여러가지가 있으나, 많이 使用되고 있는 ADAMS⁽¹⁾, DADS⁽²⁾ 및 MEDYNA⁽³⁾를 比較해 보면 表 2와 같으며 詳細한 比較는 參考文獻 (17)에 잘 나타나 있다.

4. 研究方向 및 展望

機械시스템이나 自動車의 動力學 解析을 위한 많은 種類의 프로그램들이 開發되어 使用되고 있다. 各各의 解析能力과 方法에는 差異가 있지만, 剛體解析과 더불어 彈性體解析 까지도 可能하도록 보완해 나가고 있으며, 몇몇 프로

그램은 이미 彈性體解析 까지 다루고 있다. 彈性體解析을 위해서는 有限要素法 프로그램과 連結시켜 使用하고 있다. 시스템 解析은 彈性體解析까지 研究가 進行되었기에 거의 마무리 단계로 볼 수 있으나, 解析結果를 바탕으로 하여 設計하는 分野의 研究는 아직 始作段階라고 보여진다. 따라서 앞으로는 시스템의 設計分野의 研究가 활발하리라 展望된다. 解析의 分野에서는 彈性體를 포함하는 拘束連鎖系의 解析을 위한 效果的인 프로그램의 개발, 大型컴퓨터가 아닌 퍼스널컴퓨터의 容量으로도 可能한 小規模의 프로그램개발, 一般的인 프로그램 보다는 特定 問題의 解析에 效率的인 特殊 프로그램이 개발되리라 展望된다. 自動車의 動力學的 解析에서는 解析 自體의 어려움 못지 않게 各 部品 및 要素의 實際現象을 어느만큼 正確하게 모델링 하는가에 어려움이 있다고 보여진다. 乘用車의 경우에는 바퀴와 路面사이에서 생겨나는 힘의 전달現象을 把握하여 모델링 하는 것이 어려우며, 철도車輛의 경우에는 바퀴와 궤도 사이에서 생기는 非線形 接觸의 모델링이 어렵다. 트랙車輛의 境遇에도 트랙과 路面과의 力學的 問題 및 트랙의 張力이 運動에 미치는

表 2 自動車 解析 프로그램의 比較

프로그램 명 (언어)	개발자/ 소 속	특 징	비 고
ADAMS (FORTRAN)	Chace, Orlande et al./ Mechanical Dynamics	Cartesian coordinates Large displacements Closed loops	Interactive data input Impact effects included Flexible bodies (in preparation)
DADS (FORTRAN)	Haug, Nikraves et al./ CADSI	Cartesian coordinates Large displacements Closed loops	Interactive data input Nonlinear forces Flexible bodies Pre-and postprocessors
MEDYNA (FORTRAN)	Walrapp et al./ DFVLR Ober pfaffenhofen	Lagrangian coordinates Small displacements Closed loops	Interactive data input Nonlinear forces Flexible bodies Pre-and postprocessors

影響 등을 研究하는 것이 正確한 解析을 위해 必須의이라 사료된다. 또한 自動車의 懸架裝置 (suspension system)도 解析에 重要的 部分인 만큼 이 分野의 研究도 활발히 進行되고 있으며⁽¹⁸⁾, 日本의 境遇에는 半能動懸架裝置(semi-active suspension system)를 一般乘用車에 使用하고 있다고 發表되고 있으므로^(19,20) 國內에서도 이 分野의 研究가 必要하리라 사료된다.

5. 맺음말

1970年代 初부터 機械시스템의 解析을 위한 컴퓨터 프로그램들이 紹介되기 始作한 機械시스템의 動力學的 解析은, 解析 自體의 重要性 못지 않게 보다 나은 設計를 위해서도 必要하다고 사료된다. 各 部品の 設計도 重要하지만, 시스템 全體를 다루는 解析도 重要的 바, 앞으로 國內에서도 이 分野의 研究가 活潑하여 自動車 産業에 많은 도움을 줄 수 있기를 바란다.

참 고 문 헌

- (1) ADAMS(Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems), Mechanical Dynamics Incorporated, 55 South Forest, Ann Arbor, Michigan 48104, U.S.A.
- (2) DADS (Dynamic Analysis and Design System), Computer Aided Design Software Incorporated, P.O. Box 203, Oakdale, Iowa 52319, U.S.A.
- (3) MEDYNA — An Interactive Analysis and Design Program for Flexible Multibody Vehicle Systems, Proc. of the 3rd ICTS Course and Seminar on Advanced Vehicle System Dynamics, Amalfi, May 1986.
- (4) Jerkovsky, W., 1987, "The Structure of Multibody Dynamics Equations", Journal of Guidance and Control, Vol. 1, No. 3 p. 173.
- (5) Keat, J., 1983, "Dynamical Equations of Multi-Body Systems with Application to Space Structures Deployment", ph. D. Dissertation, MIT, Cambridge, MA.
- (6) Kim, S. S., and Vanderploeg, M. J., 1986, "A General and Efficient Method for Dynamic Analysis of Mechanical Systems Using Velocity Transformations", Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 108, No. 2, p. 176.
- (7) Noble, B., and Hussian, M. A., 1984, "Applications of MACSYMA to Calculations in Dynamics", Computer Aided Analysis and Optimization of Mechanical System Dynamics, (ed. E.J. Haug), Springer-Verlag.
- (8) Wittenburg, J., 1977, "Dynamics of Systems of Rigid Bodies", Teubner, Stuttgart.
- (9) McCullough, M. K., and Haug, E.J., 1986, "Dynamics of High Mobility Track Vehicles," Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 108, No. 2, pp. 189~196.
- (10) Atkinson, K. K., 1978, "An Introduction to Numerical Analysis", Wiley, New York.
- (11) Shampine, L. F., and Gordon, M.K., 1975, "Computer Solution of Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problem", Freeman, San-Francisco, CA.
- (12) Petzold, L.D., 1981, "Differential/Algebraic Equations Are Not ODES", Rept, SAND 81-8668, Sandia National Laboratory, Livermore, CA.
- (13) Gear, C. W., 1984, "Differential-Algebraic Equations", Computer Aided Analysis and Optimization of Mechanical System Dynaics(ed. E. J. Haug), Springer-Verlag, Heidelberg.
- (14) Baumgarte, J., 1972, "Stabilization of Constraints and Integrals of Motion in

- Dynamical Systems”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. p. 1.
- (15) Park, T.W., and Haug, E.J., 1986, “A Hybrid Numerical Integration Method for Machine Dynamic Simulation”, Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 108, No. 2, pp. 211~216.
- (16) Haug, E. J., 1983, “Elements and Methods of Computational Dynamics”, Presented at the NATO-NSF-ARO Advanced Study Institute on Computer Aided Analysis and Optimization of Mechanical System Dynamics, Iowa city, Iowa, U.S.A.
- (17) Kortum, W., 1986, “Introduction to System-Dynamics of Ground Vehicles”, Proceedings of the 3rd Course on Advanced Vehicle System Dynamics International Center for Transportation Studies, Amalfi, Italy.
- (18) Crolla, D. A., Pitcher, R. H., and Lines, J. A., 1987, “Active Suspension Control for an Off-Road Vehicle”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Transport Engineering, Vol. 201, No. D1.
- (19) Yokoya, Y. et. al, 1984, “Toyota Electronic Modulated Suspension (TEMS) System for the 1983 Soarer”, SAE Paper 840341.
- (20) Mizuguchi, M., et. al, 1984, “Chassis Electronic Control Systems for the Mitsubishi 1984 Galant”, SAE Paper 840258.



■ 국제 학술대회 개최 안내 ■

메카트로닉스 국제학술회의

— International Conference on Advanced Mechatronics —

주 관 : 일본기계학회(JSME)

후 원 : ASME, STLE, IMechE, VDI, CMES

분 야 : 정보 및 관련장비, 반도체 제작을 위한 메카트로닉스, FA/CIMS 성분 및 로봇, 정밀가공 및 측정, 의료기구, 자동차 전자제어 시스템, 메카트로닉스 시스템 및 성분에서의 동력학적/열적 문제 및 제어, 신소재 응용

일 시 : 1989년 5월 21~24일(4일간)

장 소 : 일본 동경

일 정 : 1988년 5월 1일 초록제출 마감

1988년 8월 1일 초록채택 여부 통보

1988년 12월 1일 카메라 촬영용 원고 제출 마감

* 기타 상세한 내용은 본 학회 사무국으로 문의 바람.

문의처 : 대한기계학회 사무국 전화 : (02) 783-4571, 4572