

# 폐쇄된 계의 닫힌 회전 운동에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델에 관한 연구

## (A study on the computer simulation model of the closed rotating system about the closed system )

정 병 태(Byung-Tae Chung)<sup>1)</sup>

### 요약

폐쇄된 계 내부와 외부에서 작용되는 운동에는 선형 열린 운동과 닫힌 운동이 있고 비선형 열린 운동과 닫힌 운동이 있다. 선형 닫힌 운동이 마찰과 같은 외력을 받을시 닫힌 운동이 발생된다. 회전 닫힌 운동에도 마찰과 같은 외력을 받을시 회전 닫힌 운동이 있음을 해석 한다. 회전 닫힌 운동과 닫힌 운동을 액체 실험 장치를 통하여 정량적으로 고찰 하고 회전 닫힌 운동이 있음을 분석하여 회전 열린 운동, 닫힌 운동 과 닫힌 운동에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 수식모델을 정한다. 그리고 간단한 운동 장치의 그래픽 구조를 고려 할 수 있도록 소개한다.

### Abstract

The movement in the closed system's internal and external, consists of linear open motion and linear closed motion, as well as non-linear motion and non-linear closed motion. When the linear closed motion receives external forces such as friction, closed motion is activated. It explains that even closed rotating systems that are subjected to external forces such as friction becomes a confined rotating system. Through fluid experiments the closed rotating system and confined system's quantitative data was observed and closed rotating system was confirmed to formulate the computer simulation function model concerning closed motion and confined motion. A basic graphic configuration of the motion device is also introduced.

논문 접수 : 2007. 5. 15.

심사 완료 : 2007. 5. 30.

---

1) 정희원 : 인천전문대학 컴퓨터 정보과 교수

본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의한 논문임

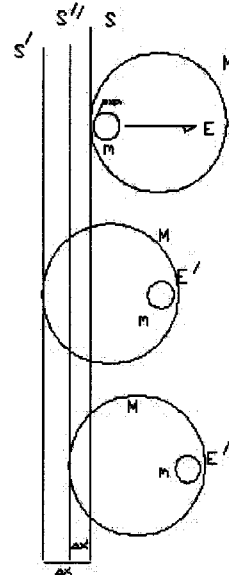
### 1. 서론

폐쇄된 계[1]가 작용 될 수 있는 운동에는 열린 운동[2], 닫힌 운동[3], 갇힌 운동이 있다. 폐쇄된 계의 1차원적인 운동에서 한 방향으로 외력을 받아서 움직이는 열린 운동과 양방향으로 좌우 같은 외력을 시차[3]를 두고 받아서 움직이는 닫힌 운동이 있다. 폐쇄된 계 외부에서 외력을 줄 때 내부에서 외력과 맞서는 힘으로 폐쇄된 계 내부의 질량  $m$ 을 내부 공간사이로 짧은 시간 외력과 같은 방향으로 발사하면 폐쇄된 계의 거중 질량[4]은 정지하고 발사지점과 맞은편 끝에 도달 전까지 폐쇄된 계의 겉보기 이동은 없다. 이때 외력을 멈추고 내부 힘도 멈추면 폐쇄된 계 내부에서 발사된 질량  $m$ 이 외력을 받은 만큼 운동량을 갖는다. 짧은 시간 폐쇄된 계가 겉보기 정지 한 것과 같으나 내부에서 질량중심(CM:Center of Mass)[4],[2],[8]의 운동량이 존재하는 이 운동이 갇힌 운동의 개념이다. 폐쇄된 계 내부에서 발생된 닫힌 운동이 있을 경우 외부에서 마찰이나 외력이 존재하면 갇힌 운동이 있다. 닫힌 운동의 원천인 특별한 내력이 외부 마찰이나 외력보다 클 때 닫힌 운동이 있고 갇힌 운동이 있게 된다. 만일 특별한 내력이 외부마찰의 총합 또는 외부 힘의 총합과 같으면 폐쇄된 계는 겉보기 정지하여 외부에서 받은 마찰력 또는 외력만큼 시간 적분된 운동량이 갇힌 운동으로 발생 한다. 폐쇄된 계의 선형 운동에서 열린 운동, 닫힌 운동, 갇힌 운동이 있듯이 폐쇄된 계의 회전운동에서도 열린 운동, 닫힌 운동, 갇힌 운동이 있음을 액체 실험 장치를 통하여 정량적으로 측정하고 이론적인 수식 모델과 일치함을 확인 한다. 또한 폐쇄된 계가 닫힌 운동 시 외력이 있을시 갇힌 운동이 생기므로 실제 이동하는 폐쇄된 계는 특히 마찰을 고려하여 설계되어야 한다. 따라서 폐쇄된 계의 이동물체는 그 구조를 외부 마찰을 이용하는 쪽이나 이용 하지 않는 쪽 이나 로 해석되어 구조 되어야 한다. 폐쇄된 계의 컴퓨

터 프로그램에 응용 시 상상적 운동(허구적 운동)의 가상이 아닌 물리적 실제적 운동의 가상 컴퓨터 시뮬레이션, 게임 프로그램 등에는 닫힌 운동의 원인이 되는 특별한 내력에 대한 운동론을 적용 하여야 한다.

### 2. 폐쇄된 계의 선형 닫힌 운동 구조와 갇힌 운동

폐쇄된 계의 내부에서 발생 된 일차원 운동 중 [그림1]과 같이 질량  $M$  과  $m$ 이 서로 작용 한다면 얼마시간 후  $M$ 은  $S$ 에서  $S'$ 로  $m$ 은  $E'$ 로 도착 하여 정지하는 이계는 보존 계[2]이다. 그러나 외부에서 마찰력  $F_f$  가 있다면  $M$ 은  $S''$ 로  $S'$ 보다 조금 적게 이동 하게 되고  $m$ 은  $M$ 이 마찰을 받아서 소모된 만큼  $M$ 보다 운동량이 크다.



[그림1] 폐쇄된 계는 내부에서 선형 닫힌 운동과 갇힌 운동

[Fig 1.] Linear close motion and confine motion in the closed system

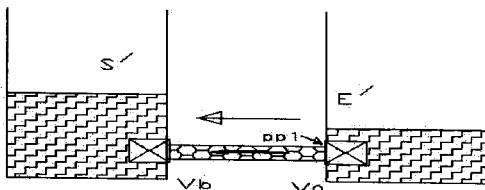
이때 내부에서 그 무엇이 질량  $m$ 을 비 보존적인 방법으로 E' 위치에서 S' 위치로 원위치 이동해 놓으면 외력이 없으면 계속적으로 M이  $\Delta x$  만큼 위치이동 된다. 폐쇄된 계의 거죽 질량 M이 외력보다 큰 힘으로  $m$ 과 작용 시 외부의 힘은 M의 힘보다 작으므로  $\Delta x$ 만큼 S' 위치로 이동 된다. 물론 M과 외부의 힘이 같으면 이동이 없다. 만일 M이 운동하여 정지될 때 까지 즉,  $m$ 이 맞은편 E'에 도달 전까지 M은 운동량을 갖고 있을 경우 M이 외력보다 큰 경우이며 M이 정지하였다면 수식 (1) 과 같이  $F_M$  이  $F_{\mu}$ 의 총합과 같을 때 이다.

$$\sum F_{\mu} = F_M \quad (1)$$

이때 외력을 받은 만큼을 M이 정지하기 까지 시간동안 적분된 닫힌 운동량 ( $n$ )이 있게 된다. 닫힌 운동량  $n$ 은  $m$ 이 E'' 로 도착할 때까지의 시간을  $\Delta t$  시간 이면 수식 (2) 와 같이 된다.

$$\int^{\Delta t} \sum F_{\mu} dt = \int^{\Delta t} F_M dt = \int^{\Delta t} f_m dt = n \quad (2)$$

여기서 그 무엇이라는 것은 폐쇄된 계에서 [그림 2]와 같이 질량이 물과 같은 액체인 경우 관내가 펌프로 비압축성이 되도록 그림2의 E'에서 S'로 이동시키는 장치를 말한다.



[그림 2] 폐쇄된 계 내부에서 액체 질량 이동 장치

[Fig 2.] Fluid mass transfer unit in the closed system

물인 경우 정상 유동방정식[1]에서 수식 (3) 과같이

$$\sum F = \frac{dm}{dt} (V_b - V_a) \quad (3)$$

이 되고  $dm/dt = m'$ 는 질량 유동율로서 단위시간당 운동량 변화를 일으키는 질량이다.

$V_b - V_a = \Delta v$  로서 이  $\Delta v$ 는 수식 (4) 와 같이 생각해야 된다.

$$V_b - V_a = \Delta v \approx \Delta v \{u(t - \Delta t) - u(t)\} = \Delta v \overline{u(t)} \quad (4)$$

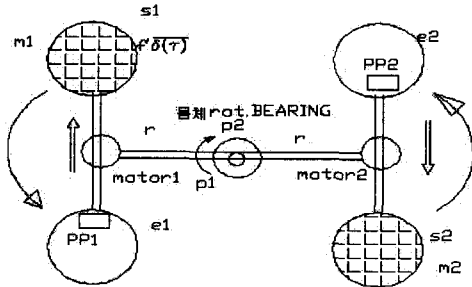
이것은 비압축성 관내에서 시점에서 종점으로 액체를 펌핑 하는 동안 작용 반작용[8]의 결과는 시차가 있는 것으로 뉴턴 3법칙이 이 시차동안 일시 깨져서 시점에서 종점으로 질량이 비 보존적으로 이동하는 결과가 된다. 이것이 곧 폐쇄된 계 내에서 닫힌 운동을 일으키는 원인인 비 보존적 질량 이동이다. 그러나 이 운동은 겉보기는 계가 정지하고 관 내부에서 질량이  $\Delta v$ 속도로 비 관성 이동한다.

### 3. 폐쇄된 계의 회전 닫힌 운동 구조와 회전 닫힌 운동

회전 닫힌 운동구조는 선형 닫힌 운동 구조를 [그림3] 과 같이 배치함으로써 실현 할 수 있다.

질량  $m_1$ 인 물을 펌프로 비압축성 성질로 관을 통하여 e1에서 s1 으로 이동 시키고  $m_2$ 를 e2에서 s2로 이동시킨다. 이때 이 계의 겉보기 회전은 없다. 다음 모터  $mt_1$ 과  $mt_2$ 를 각각 좌회전 시키면 이 계는 모터를 회전[7]하기 전에 이미 질량들이 닫힌 회전[9]되어있고 모터를 회전함으로써 질량의 닫힌 회전이 겉보기로 나타난다. 즉 모터로 회전시키는 것은 보존 회전 운동[10]이 되고 펌프로 이동시키는 것은 비 보존 운동이다. 따라서 펌프로 질량을 비 보존 위치 이동시키고 모터로 보존적 원위치 회

전운동[5]을 시키면 닫힌 회전 운동이 나타난다.



[그림3] 폐쇄된 계 내부에서 회전 닫힌 운동 장치와 갇힌 운동

[Fig 3] The closed rotating system and confine moton in the closed system

이것은 내부 질량의 원인인

$f^i \{ \delta(t - \Delta t) - \delta(t) \} = f^i \overline{\delta(t)}$  에 의해 닫힌 회전 토크  $\tau^i \overline{\delta(t)}$  가 발생한다.

r이 상수인 경우 닫힌 회전토크는 지금까지 회전 토크와 다르게 수식(5)는 수식 (6)와같이 기술 되어야 한다.

$$\tau^i = f^i \times 2r = 0 \quad (5)$$

$$\tau^i \overline{\delta(t)} = f^i \times 2r \overline{\delta(t)} = 0 \quad (6)$$

수식 (5)를 적분하면 0이 되지만 수식 (6)을 적분 하면 계의 닫힌 회전 성분이 있어 수식(7) 과 같이 0이 아니다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \tau^i \overline{\delta(t)} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} f^i 2r \overline{\delta(t)} dt = C \neq 0 \quad (7)$$

이 장치를 단계적으로 연속적으로 반복 작용하면 닫힌 회전 운동이 계속 나타나지만 회전마찰이 있을 경우 단계마다  $\tau^i \overline{\delta(t)} - \tau_\mu = \Delta\tau$  만큼 회전토크가 작아지고 어느 단계의 회전 토크가 회전마찰의 총합과

같을 때 수식 (8)과 같이 이 계는 정지하고 갇힌 회전 운동이 있게 된다.

$$\tau^i = \sum \tau_\mu \quad (8)$$

역시 계의 모터와 펌프작용을 멈추면 회전 마찰을 받은 만큼 마찰의 방향으로 갇힌 회전 운동이 걸보기로 실제 관성 운동[11]과 같이 나타난다.

식 (7)에서 질량 닫힌 회전량은 식 (9),(10)와 같다.

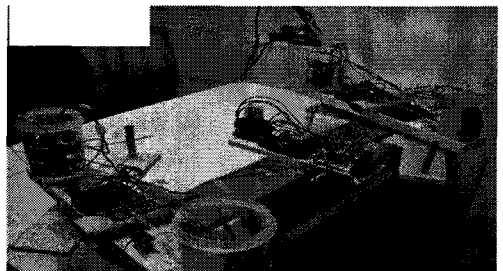
$$\int C dt = \int mw2r \overline{u(t)} dt = m\widehat{\theta} \quad (9)$$

$$(2m + M)\widehat{\Omega} = m\widehat{\theta} \quad (10)$$

식(10)에서 계의 총 닫힌 회전량은  $\widehat{\Omega}$ 이다.

[그림3] 에서 질량을 내부에서 닫힌 이동이 없이 모터로 회전만 시키면 계는 걸보기는 회전되나 보존적인 회전계로서 실제 이계의 회전 총합은 0이다.

이 계의 회전 총합  $\widehat{\Omega}$ 가 비 보존적으로 존재하고 외부 마찰이 있을시 갇힌 회전 운동이 존재한다. 만일 이 계가 마찰이 있는 곳에서 회전 하면서 선형병진 운동[3]시키기 위해서는 2차원 계의 그래픽 구조[6]에서는 원형이 적절하다.



[그림4] 회전 닫힌 운동 액체 실험 장치

[Fig 4] The fluid experimental closed rotating unit

[그림4]의 실험에서  $m_1, m_2$ 를  $e_1, e_2$ 에서  $s_1, s_2$ 로 펌핑 하고 다음  $s_1, s_2$ 에서  $e_1, e_2$ 로 모터로 회전시킬 때  $e_1, e_2$ 에서 솔레노이드로 정지시키고 반동으로 뒤로 튀는 것도 함께 방지하면 닫힌 회전운동을 실현 할 수 있다. 실험 시 외부영향을 받지 않기 위해서 자동회로와 무선으로 모터를 작동시켜야 한다. 무선 채널은 모터를 on, off할 수 있는 채널과 솔레노이드를 on, off 할 수 있는 채널 펌핑채널까지 간섭이 없는 4 채널 필요하다.  $s_1, s_2$ 에서 질량이 차면 정지하는 자동 부유스위치(float switch) 회로는 영구자석과 자기 홀소자를 이용하였다. 펌프는 자동차 윈도우 부라쉬용 12v 물 펌프를 이용할 때 충분한 전류용량을 사용하여야 한다. 각 컵의 물의질량은 350g 한쪽으로 펌핑 하면 약600g 이 물리고 양쪽 2m의 질량은 1.2kg 이며 팔길이 18cm 몸체팔길이 32cm 이고 M의 질량은 4kg 총 질량은 약 5.2kg 이다. 실험의 확인은

첫째  $m_1, m_2$ 를  $e_1, e_2$ 에서  $s_1, s_2$ 로 펌핑 할 때 전체계가 걸보기 이동이 없다면 닫힌 질량이동이 있다.

둘째 모터로  $e_1, e_2$ 로 원위치로 회전 시키고 즉 보존 회전 운동시켜 솔레노이드로 정지시킨다.

셋째 질량  $m_1, m_2$ 가 180도 회전시 몸체장치의 처음 회전 점 p1에서 정지 점 p2까지 각도나 호 길이를 잰다.

넷째 솔레노이드로 정지 시키자마자 닫힌 운동으로 원 위치보다 조금 작은 위치(마찰로 소모됨)로 되돌아오는 것을 확인 한다.

한쪽씩 시험할 때 약9cm 호 길이로 회전했다가 되돌아 왔다. 결과적으로 닫힌 회전량과 닫힌 회전운동이 있다는 것이 고찰되었다.

#### 4. 결론

폐쇄된 계의 선형 운동으로부터 회전 닫힌 운동과 닫힌 운동을 유도 할 수 있고 액체 실험장치를 통하여 확인 결과 근사 일치 하였

다. 따라서 폐쇄된 계의 회전 운동에도 열린 운동, 닫힌 운동과 닫힌 운동이 존재한다. 실제 장치 제작 또는 그래픽 시뮬레이션 시간 운동 까지 생각해야 된다는 결론이다. 이러한 이론이 제대로 적용되지 않으면 폐쇄된 계의 실제 장치는 예측 되지 못하는 운동과 그 자리에서 정지만 할 뿐이고 가상 시뮬레이션은 허구적인 상상 운동이 될 뿐이다.

만일 환경이 마찰이 없는 무중력 진공이라면 폐쇄된 계가 열린 운동과 닫힌 운동 개념만으로 선형 이동 또는 회전하는 시스템을 설계 가능하게 된다. 따라서 폐쇄된 계에 관한 컴퓨터 게임이나 실제적 가상 시뮬레이션 응용시 상기 수식 모델을 적용하여야 하고 외부구조는 그래픽 비행체 설계시 특히 마찰을 고려하여야 한다.

#### 참고문헌

- [1] 崔延善, 俞完錫, 安贊祐, 廉英鎮, 洪桐杓 共譯 "R.C. Hibbeler 'Engineering Mechanics' '工業力學 動力學' 普成閣, pp215-219, 1992
- [2] 高在杰 "力學" 請文閣 pp200-300, 1993
- [3] 정병태 "폐쇄된 계에서 선형 및 비선형 닫힌 운동에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델에 관한 연구" 한국 컴퓨터 산업교육학회 논문집 vol 17, June 2006
- [4] 정병태 '우주 공간에서 동역학적으로 완전 폐쇄된 계의 질량 중심의 강제 이동에 대한 새로운 방법' 한국항공우주학회조선대학교 96. 4.26 PP405-408
- [5] B.T. Chung 'A study on the Closed Linear Movement of the Center of Mass in the Rotatory Movement of a Rigid Body', Proceeding of ITC-CSCC 2002, July 16-19, Vol.2, pp 1216-1219, Phuket Arcadia Hotel & Resort Phuket, Thailand
- [6] 정병태 "물체의 충돌시 질량 중심의 위치 이동 효과의 컴퓨터 그래픽 표현" 한국 컴퓨터 산업교육학회 논문집 2001.6.24

[7] Byung-tae chung "The Analysis of the Pulsed Rectilinear Movement by the Angular Acceleration" 2002 Spring Conference of the Korea Society Industrial Information Systems 2002.6.15-16 PP353-355

[8] Keith R. Symon, third edition 'mechanics' ADDISON-WESLEY, 1971, PP320-330

[9] 정병태 "코리올리스 힘을 이용한 폐쇄된 계의 컴퓨터 시뮬레이션에 관한 연구" 한국 컴퓨터 산업교육학회 논문집 vol 5, no.6, June 2004

[10] 정병태 "폐쇄된 계의 장동 힘에 의한 이동 장치의 컴퓨터 시뮬레이션 모델에 관한 연구", 한국 컴퓨터 산업교육학회 논문집 vol 6, no.2, June 2005

[11] 정병태 '로봇의 관성 이동에 관한 연구' 대한전기학회 조선대학교경주캠퍼스 94. 7.21-23, pp7055-7057

[12] Ferdiand P. Beer, E. Russell Johnston "Mechanics for Engineers ,DYNAMICS" pp598-600, 1990

[13] Byung-tae chung "A New method of Enforced CM Movement For A Dynamically Closed System in the Outer Space" Proceedings of the KSAS Spring Annual Meeting 1996.4.27. pp405-408

[14] Richard C. Dorf "The Engineering Handbook Book "1996 by CRC press, Inc. pp 111-115

[15] 최성진 "역학" 북스힐 ,1999,,pp353

[16] 주해호, 김기일 "동력학" pp67, 형설출판, 1994

[17] 박상준, 고신관, 주광태, 신영호, 공 편저 "대학일반물리학" 정훈 출판사, pp91-92, 1995

[18] Li, Z., and Canny, J. "Motion of Two Rigid Bodies with Rolling Constraint" IEE

E Transactions on Robotics and Automation. vol.6, No.1, pp.62-72, 1990.

[19] Koshiyama, A, and Yamafuji, K. "Design and Control of all Direction Steering Type Mobile Robot", International Journal of Robotics Research, vol, 12, No.5, pp.411-419, 1993

[20] Marcelo Alonso, Edward J. Finn, "PHYSICS" ADDISON-WESLEY, pp301, 1992

[21] 대한 기계학회 "2001년도 2월 동역학 및 제어부분 동계워크숍 논문집" 2001.2

[22] Mark's "Standard Handbook for mechanical Engineers McGraw-Hill" 1990, pp12-136

[23] 권숙일의 "고체물리학" 반도출판사. 1993 pp85-92

정 병 태



'68- '75 : 광운대학교 전자공학과(공학학사)

'78-'81 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

'96-'99 : 한양대학교 대학원 전자 통신과 (박사과정 수료)

'74-'76 : 주식회사 흥전사 개발부 계장 (초고주파 필터 개발)

'76- '78 : 남미산업 개발과장 (자동 기계 전자 제어 개발)

'78- '79 : 경남기업 기전부 사원 (바레인 근무)

'82-'85 : 인천전문대학 전자과 전 임

'85- '87 : 인천전문대학 전자계산과 조교수

'87-'88 : 인천전문대학 전자계산 소장

06.8-07.8: 호주 Latrobe 대학 전자공학과 객원교수

-2007 : 현 인천전문대학 컴퓨터 정보과 교수