



## รายการอ้างอิง

- Billie F., Spencer B.F. Jr., Yang G., Carlson J.D. and Sain M.K. 1998. Smart damper for seismic protection of structures : a full-scale study. **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference on Structural Control**. Kyoto, Japan. June 29-July 2.
- Carlson J.D., and Spencer Jr. B.F. 1996. Magneto-rheological fluid dampers for semi-active seismic control. **Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Motion and Vibration Control.** Chiba, Japan. Vol. III : 35-40.
- Chang C.C. 1993. Control of buildings using active tuned mass dampers. **Journal of Engineering, Mechanics**. ASCE. 121(3) : 355-366.
- Den Hartog, J.P. 1956. **Mechanical Vibrations**. 4<sup>th</sup> edition. NY : McGraw-Hill.
- Dyke S.J., Spencer B.F. Jr., Sain M.K. and Carlson J.D. 1997. On the efficacy of magnetorheological campers for seismic response reduction. **Design Engineering Technical Conference**. Sept 14-17. Sacramento, California.
- Dyke S.J. 1998. Seismic Protection of a Benchmark Building using magnetorheological Dampers. **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference on Structural Control**. Kyoto, Japan. June 29-July 2.
- Hrovat D., Barak P., and Rabins M. 1983. Semi-active versus passive or active tuned mass dampers for structural control. **Journal of Engineering Mechanics**. ASCE, 109(3) : 691-705.
- Meirovitch L. 1990. **Dynamics and Control of Structures**. (n.p.) : John Wiley&Sons.
- Lin C.C., Hu C.M., Wang J.F., and Hu R.Y. 1994. Vibration control effectiveness of passive tuned mass dampers. **J. the Chinese Institute of Engineers**. 17(3) : 367-376.
- Singh M.P., and Matheu E.E. 1997. Active and semi-active control of structures under seismic excitation. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 26 : 193-213.
- Soong T.T. 1990. **Active Structural Control : Theory and Practice**. Longman Scientific & Technical.
- Soong T.T. and Dargush G.F. 1997. **Passive energy dissipation systems in structural engineering**. UK : John Wiley&Sons.

- Spencer Jr. B.F. 1996. Recent trends in vibration control in the U.S.A. **Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Motion and Vibration Control**. Chiba, Japan. Vol. II, K1-K6.
- Spencer B.F. Jr., Dyke S.J., Sain M.K. and Carlson J.D. 1996. Phenomenological model of a magnetorheological damper. **Journal of Engineering Mechanics**.
- Villaverde R. 1994. Seismic control of structures with damped resonant appendages. **Proc., First World Conf. on Struct. Control**. Vol.1, WP4-113-WP4-122.
- Xu K. and Igusa T. 1992. Dynamic characteristics of multiple substructures with closely spaced frequencies. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 21 : 1059-1070.
- Yamaguchi H. and Harnpornchai N. 1993. Fundamental characteristics of multiple tuned mass dampers for suppressing harmonically forced oscillations. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 22 : 51-62.

ภาคผนวก

1. ตัวอย่างของโปรแกรมภาษา MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นไหวของโครงสร้าง

```
clear
```

```
%***** Main Structure properties *****
```

```
ms=4620e3; ks=38600e3; cs=534e3; ls=7468e3;
```

```
ws=sqrt(ks/ms); xis=cs/(2*ms*ws);
```

```
%***** TMD properties *****
```

```
md=138e3; kd=1091e3; cd=80.8e3;
```

```
%***** Signal data *****
```

```
load sct85_n90w;
```

```
% Load earthquake signal data
```

```
[t,Bx]=Cut(t,Bx,20,100);
```

```
Bx=0.02*9.81*Bx/max(abs(Bx));
```

```
% Adjust the PGA to 0.02 g
```

```
%***** Uncontrolled Case *****
```

```
DOF=1;
```

```
M=ms; C=cs; K=ks; LM=[-ls];
```

```
I=eye(DOF); O=zeros(DOF);
```

```
tempA=[I O; C M]; tempB=[O -I; K O]; tempC=[zeros(DOF,1); LM];
```

```
A=-inv(tempA)*tempB; B=inv(tempA)*tempC;
```

```
x0=zeros(2*(DOF),1);
```

```
% Set Initial Condition to be zero
```

```
F=Bx*B'; %--- = [B*P]';
```

```
X0=Respn(A,t,F,x0);
```

```
% Use subprogram Respn to Solve Equation of motion
```

```

%***** Passive TMD Case *****
DOF=2;
M=[ms 0; md md]; C=[cs -cd; 0 cd]; K=[ks -kd; 0 kd]; LM=[-ls -md]';
I=eye(DOF); O=zeros(DOF);
tempA=[I O; C M]; tempB=[O -I; K O]; tempC=[zeros(DOF,1); LM];
A=-inv(tempA)*tempB; B=inv(tempA)*tempC;
x0=zeros(2*(DOF),1); % Set Initial Condition to be zero
F=Bx*B'; %--- = [B*P]';
X1=Respn(A,t,F,x0); % Use subprogram Respn to Solve Equation of motion

```

```

%***** Mutiple TMD Case *****
mue=0.03; % Set mass ratio = 3%
NoTMD=5; % Set number of TMDs = 5
Frange=0.15; % Set Frequency range = 0.15
mTMD=mue*ms/NoTMD;
%***** Freq of TMDs *****
g0=0.957; % Set central TMD frequency ratio = 0.957
if NoTMD~=1
    DeltagTMD=Frange/(NoTMD-1);
else DeltagTMD=1;
end
gTMD=[g0-(NoTMD-1)/2*DeltagTMD:DeltagTMD:g0+(NoTMD-1)/2*DeltagTMD];
wTMD=gTMD*ws;
kTMD=wTMD.^2*mTMD;
xiTMD=0.0668; % Set damping coefficient = 6.68%
cTMD=2*mTMD.*xiTMD.*wTMD;
DOF=NoTMD+1;
M=zeros(DOF); C=zeros(DOF); K=zeros(DOF); LM=zeros(DOF,1);
M(1,1)=ms; C(1,1)=cs; K(1,1)=ks; LM(1)=-ls;
for i=2:DOF
    M(i,1)=mTMD; M(i,i)=mTMD;
    C(1,i)=-cTMD(i-1); C(i,i)=cTMD(i-1);
    K(1,i)=-kTMD(i-1); K(i,i)=kTMD(i-1);
    LM(i)=-mTMD;
end
I=eye(DOF); O=zeros(DOF);
tempA=[I O; C M]; tempB=[O -I; K O]; tempC=[zeros(DOF,1); LM];
A=-inv(tempA)*tempB; B=inv(tempA)*tempC;
x0=zeros(2*DOF,1); %--- Initial Condition
F=Bx*B'; %--- = [B*P'];
Xm=Respn(A,t,F,x0);

```

```

%***** Semi active TMD Case *****
DOF=2;
%--- Limitation
R=10^-8;
cd_min=0.0e3; cd_max=757e3; % xid_max=1.00;
cd=cd_min;
M=[ms 0; md md]; C=[cs -cd; 0 cd]; K=[ks -kd; 0 kd]; LM=[-ls -md]';
IM=-inv(M);
A=[zeros(DOF) eye(DOF); -inv(M)*K -inv(M)*C];
B=[zeros(DOF,1); inv(M)*LM]; Bu=[zeros(DOF,1); inv(M)*[1 -1]'];
x0=zeros(2*(DOF),1);
Q=[ks 0 0 0; 0 0 0 0; 0 0 ms 0; 0 0 0 0]; %assume Q
G=-LQR(A,Bu,Q,R);
x=[0 0 0 0]'; % define initial condition
X3=[x']; Ureq=[0]; Us=[0]; Cd=[cd];
for i=2:l % For Loop until the end of earthquake signal
    u=G*x;
    Ureq=[Ureq; u]; % Store Required force
    if x(4)~=0
        cd=u/x(4);
    end
    if(cd<cd_min)
        cd=cd_min;
    elseif(cd>cd_max)
        cd=cd_max;
    end
    Us=[Us; cd*x(4)]; % Store Available force
    Cd=[Cd; cd]; % Store Damping Adjustment
    C(1,2)=-cd; C(2,2)=cd;s
    A(3:4,3:4)=IM*C;
    [Ad,Bd]=C2D(A,B,dt); % Convert Continous form to Discrete form

```

```
x=Ad*x+Bd*Bx(i-1);  
X3=[X3;x'];  
end  
X3=[x0'; X3(1:i-1,:)];  
save SCT85_N90W t Bx X0 X1 Xm X3 Cd Ureq Us PGA           % Save Result
```



## 2. Subprogram Respn ใช้สำหรับแก้สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยวิธี Diagonalization

```
function U=Respn(A,t,F,x0);
%This function is created for find motion of n dof from the action force F
%
%   command : U=Respn(A,t,F,x0);
%
%   Input : F - force {dimension = length(t)x2n}
%
%                               Version 1.1 --- 14/NOV/1999

n=length(x0);
t=t';F=F';
[P,D]=eig(A);
Pt=inv(P);
for i=1:n
    d(i)=D(i,i);
end

% Find Homogeneous solution
YH=[];
for i=1:n
    YH=[YH; exp(d(i)*t)];
end

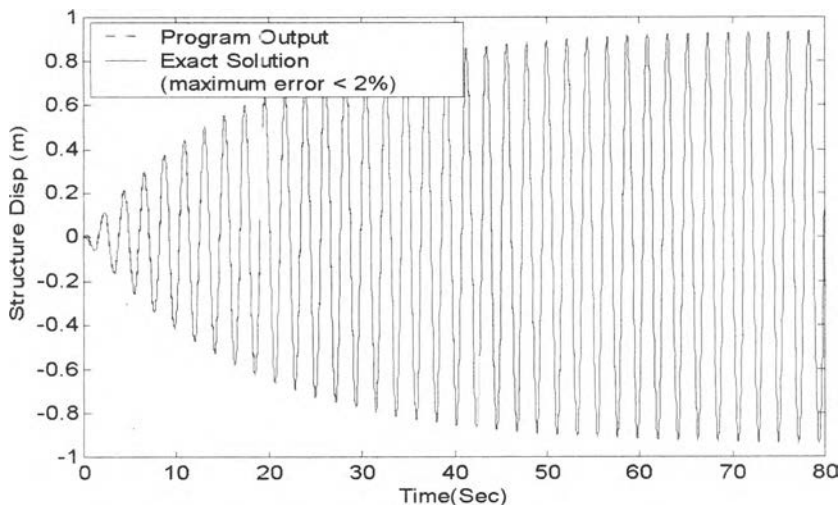
% Find Particular solution
YP=[];
Fdat=Pt*F;
for i=1:n
    yprime=exp(-d(i)*t).*Fdat(i,:);
    yp=exp(d(i)*t).*[Inte(t',yprime)'];
    YP=[YP; yp];
end
```

```
% Find constants coefficients from initial conditions
YP0=YP(:,1);
X0=x0-P*YP0;
tempC=[];
for i=1:n
    tempC(i,i)=YH(i,1);
end
tempC=P*tempC;
C=inv(tempC)*X0;
tempC=[];
for i=1:n
    tempC(i,i)=C(i);
end
X=P*(tempC*YH+YP);

U=real(X'); % Output the results
```

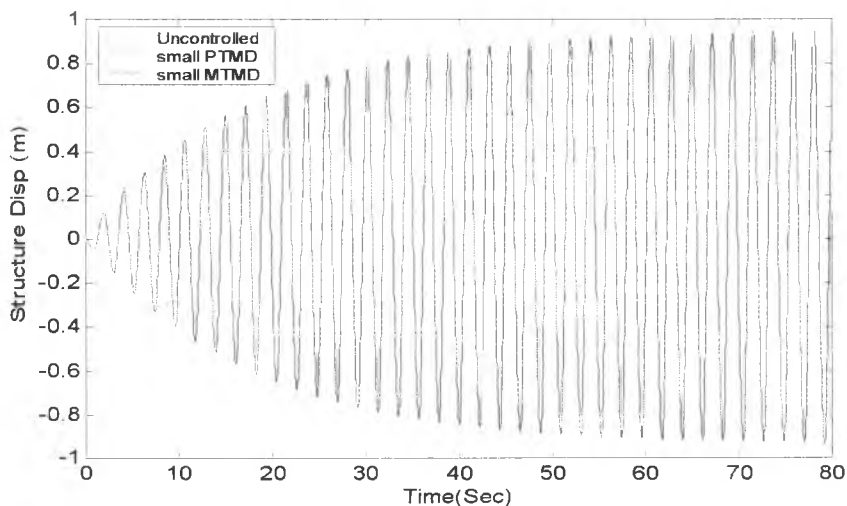
### 3 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

3.1 เปรียบผลการสั่นไหวของโครงสร้างระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ยังไม่มีการควบคุมอาคารเมื่อคลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่เท่ากับความถี่ของอาคาร



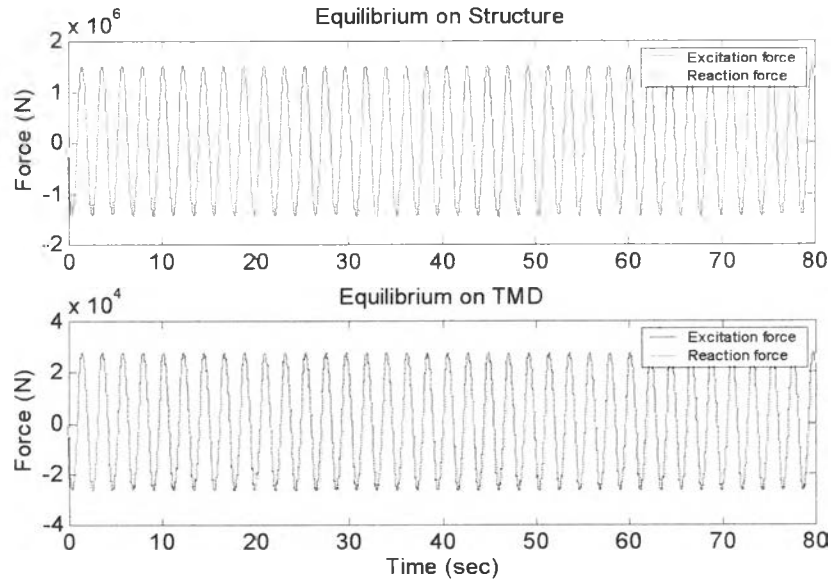
รูป ผ.1 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบแม่นยำตรงกรณีที่ยังไม่มีการควบคุมการสั่นไหวของโครงสร้าง

3.2 เปรียบผลการสั่นไหวของโครงสร้างระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมในกรณีที่ยังไม่มีการควบคุมอาคารและเมื่อควบคุมอาคารด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วยที่ใช้ค่ามวลหน่วงมีค่า 0.0003 เปอร์เซนต์ของมวลอาคาร เมื่อคลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่เท่ากับความถี่ของอาคาร



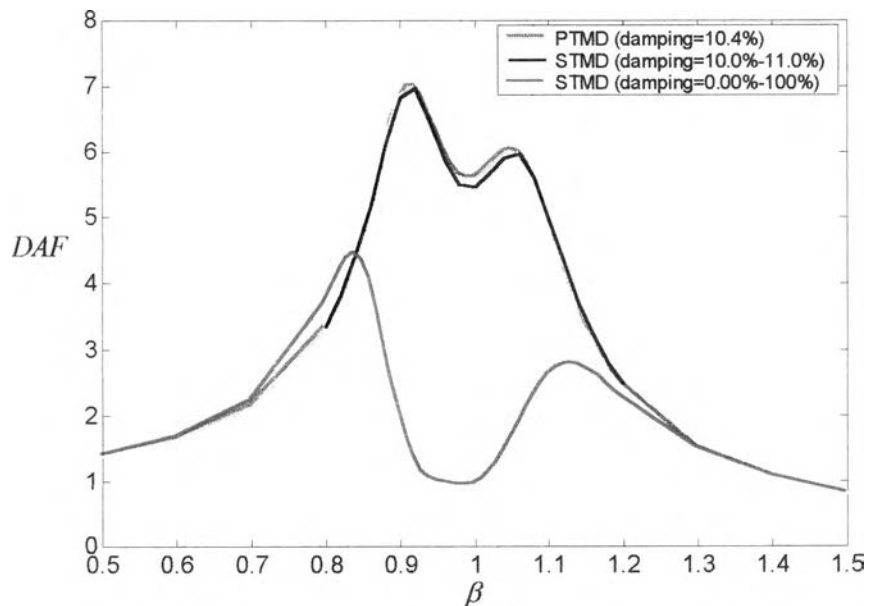
รูป ผ.2 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกรณีที่ยังไม่มีการควบคุมการสั่นไหวของโครงสร้างกับกรณีที่ควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วยที่ใช้มวลหน่วงมีมวลน้อย

3.3 ตรวจสอบความสมดุลของระบบทั้งในส่วนของโครงสร้าง (Structure) และมวลหน่วง (TMD) สามารถแสดงความสมดุลระหว่างแรงภายนอกเนื่องจากการสั่นไหว(Excitation force) และแรงที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงพบว่าแสดงความสมดุลได้ดังในรูปด้านล่าง



รูป ผ.3 แสดงการเปรียบเทียบสมดุลทางพลศาสตร์ของแรงภายนอกและแรงภายใน

3.4 เทียบผลการสั่นไหวของโครงสร้างระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมในกรณีที่ควบคุมอาคารด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วยที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงคงที่ 10.4 เปอร์เซ็นต์กับกรณีที่ใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟที่มีการปรับค่าอัตราส่วนความหน่วงได้ในช่วง 10-11%



รูป ผ.4 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกรณีที่ควบคุมการสั่นไหวของโครงสร้างด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วยและมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟที่มีช่วงการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของกรณีแบบพาสซีฟ



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พิสิฐ ยิ่งมโนกิจ เกิดเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาในระดับชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนอานวยวิทย์ จังหวัดสมุทรปราการ จากนั้นเข้ารับการศึกษต่อในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนฤทธิณรงค์รอนและโรงเรียนทวิธาภิเศก จังหวัดกรุงเทพมหานครตามลำดับ สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541