รายการอ้างอิง

Aycardi, L. E., Mander, J. B., and Reinhorn, A. M. 1994. Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed Only for Gravity Loads: Experimental performance of subassemblages. **ACI Structural Journal** vol.91 No.5: 552-563.

Beres, A., White, R.N. and Gergely, P. 1992. Seismic Behavior of Reinforced Concrete Frame Structures with Nonductile Details: Part I – Summary of Experimental Findings of Full Scale Beam-Column Joint. **Technical Report NCEER-92-0024**. State University of New York at Buffalo.

Bracci, J. M., Reinhorn, A. M. and Mander, J. B. 1995. Seismic resistance of reinforced concrete frame structures designed for gravity loads: Performance of structural system. **ACI Structural Journal** vol.92 No.5: 597-609.

Chopra, A. K. 1995. **Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering**. New Jersey: Prentice-Hall.

Chung, Y. S., Meyer, C, and Shinozuka, M. 1989 Modeling of Concrete Damage. **ACI Structural Journal** vol.86 No.3: 259-271.

Den Hartog, 1947. **Mechanical Vibrations**. McGraw-Hill, NY.

El-Attar, A. G., White, R. N., and Gergely, P. 1997. Behavior of Gravity Load Designed Reinforced Concrete Buildings Subjected to Earthquakes. **ACI Structural Journal** vol.94 No.2: 133-145.

El-Attar, A. G., White, R. N., Gergely, P., and Conley, C. 1990. Shake Table Test of a 1/6 Scale 2-Story Lightly Reinforced Concrete Building. **Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering** vol.2: 767-776.

Ghobarah, A., Aziz, T. S., and Biddah, A. 1997. Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Steel Jacketing. **ACI Structural Journal** vol.4 No.3: 283-294.

Gupta, B., Kunnath, S. and Islam, S. 1997. Application of Nonlinear Analysis in Seismic Evaluation of an Existing Nonductile Concrete Building. In L. Kempner, Jr and C.B. Brown(eds.). **Building to Last: Proceedings of Structures Congress XV, ASCE** vol 2: 1022-1026.

Housner G.W., at el. 1997. Structural Control: Past, Present and Future. **Journal of Engineering Mechanics** vol.123 No.9.

Jara, J.M. and Aguiniga F. 1996. Parametric study of a two degree of freedom system with resonant masses. **Eleventh World Conference on Earthquake Engineering.** Paper No. 1340.

Jong-Cheng Wu, Jann N. Yang. 2000. LQG control of Leteral-Torsional motion of Nanjing TV transmission tower. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** vol 4 : 1111-1130.

Kunnath, S. K., Hoffmann, G., Reinhorn, A. M., and Mander, J. B. 1995. Gravity–Load-Designed Reinforced Concrete Buildings Part I: Seismic Evaluation of Existing Construction. **ACI Structural Journal** vol.92 No.3: 343-354.

Kunnath, S. K., Hoffmann, G., Reinhorn, A. M., and Mander, J. B. 1995. Gravity–Load-Designed Reinforced Concrete Buildings Part II: Evaluation of Detailing Enhancements. **ACI Structural Journal** vol.92 No.4: 470-478.

Kwon W. Young, Bang Hyochoong. 1996. **The Finite Element Method using MATLAB.** CRC Press.

Leonard M. 1990. **Dynamics and Control of Structures**. John Wiley&Son.

Lin, C.C., Hu , C.M., Wang, JF., Hu, R.Y., 1994. Vibration control effectiveness of passive tuned mass dampers. **J. the Chinese Institute of Engineers** 17(3) : 367-376.

Lynn, A. C., Moehle, J. P., Mahin, S. A., and Holmes, W. T. 1996. Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building Columns. **Earthquake Spectra** vol.12 No.4: 715-739.

Ozcebe, G., and Saatcioglu, M. 1987. July-August. Confinement of Concrete Columns for Seismic Loading. **ACI Structural Journal.** 308-315.

P. Lukkunaprasit and A. Wanikorkul. 2001. Inelastic buildings with tuned mass dampers under moderate ground motions from distant earthquakes. **Earthquake engineering and structural dynamics** 30: 537-551.

Park, R., and Paulay, T. 1975. **Reinforced Concrete Structures.** New York: J. Wiley & Sons.

Pessiki, S. P., Conley, C., White, R. N., and Gergely, P. 1990. Seismic Behavior of the Beam-Column Connection Region in Lightly-Reinforced Concrete Frame Structures. **Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering** vol.2: 707-716.

Singh, M.P., Matheu, E.E., 1997. Active and semi-active control of structures under seismic excitation. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** 26: 193-213.

Sladek, J.R., Klingner, R.E. 1983. Effect of Tuned-mass dampers on seismic response. **Journal of Structural Engineering** vol.109 No.8 : 2004-2009.

Soong, T.T. 1990. **Active Structural Control : Theory and Practice**. Longman Scientific & Technical.

Soong, T.T., Dargush, G.F. 1997. **Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering**. John Wiley&Sons.

Soto-brito, R., Ruiz, S.E. 1999. Influence of ground motion intensity on the effectiveness of tuned mass dampers. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 1255-1271.

Villaverde, R., 1994. Seismic control of structures with damped resonant appendages. Proc.,**First World Conf. On Struct. Control** vol.1 : WP4-113-WP4-122.

Villaverde, R., Koyama, L.A. 1993. Damped resonant appendages to increase in herent damping in buildings. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** vol.22 : 491-507.

Wu, S. 1995. Seismic analysis and retrofit of non-ductile reinforced concrete frame building. **Doctoral dissertation**. Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University.

Xu, K., Igusa, T. 1992. Dynamic characteristics of multiple substructures with closely spaced frequencies. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** 21: 1059-1070.

Yamaguchi, H., Harnpornchai, N. 1993. Fundamental characteristics of multiple tuned mass dampers for suppressing harmonically forced oscillations. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** 22: 51-62.

พงษ์ธร จาฎุพจน์, ทศพล ปิ่นแก้ว. การควบคุมการสั่นไหวของโครงสร้างอิลาสโตพลาสติกภายใต้การเคลื่อนที่ของฐานรองรับโดยใช้มวลหน่วงปรับค่า. **วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่** 6. STR–61 - STR–66.

พิสิฐ ยิ่งมโนกิจ, ทศพล ปิ่นแก้ว. การออกแบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟเพื่อการควบคุมการสั่นไหวของอาคาร. **วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่** 6. STR-162 – STR-167.

ภัทรายุส ไวจรรยา, ทศพล ปิ่นแก้ว. การป้องกันความเสียหายของอาคารสูงเมื่อรับแรงแผ่นดินไหวด้วยมวลหน่วงปรับค่า. **วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่** 6. STR-168 – STR-173.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเปรียบเทียบค่าดัชนีความเสียหาย

ค่าดัชนีความเสียหายเป็นค่าที่ใช้ในการประเมินความเสียหายของโครงสร้าง ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว โดยมีผู้เสนอวิธีการคำนวณค่าดัชนีความเสียหายไว้หลายรูปแบบ โปรแกรม IDARC v. 5.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมหนึ่งที่สามารถคำนวณค่าความเสียหายของโครงสร้างได้ โดยค่าความเสียหายดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากค่าดัชนีความเสียหายที่เสนอโดย Park และ Ang (1983) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ ก1.

$$DI_{IDARC} = \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_u - \theta_r} + \frac{\beta}{M_y \theta_u} E_h \qquad \text{(ก1)}$$

โดยที่

θ_m เป็นมุมหมุนที่เกิดขึ้นมากที่สุดของชิ้นส่วน

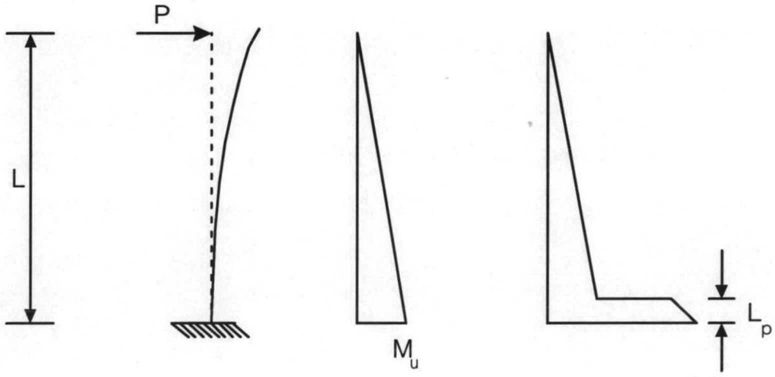
θ_r เป็นมุมหมุนที่เหลืออยู่ขณะไม่มีน้ำหนักกระทำ (Unloading)

θ_u เป็นมุมหมุนที่สภาวะวิบัติของชิ้นส่วน

M_y เป็นโมเมนต์ครากของหน้าตัด

E_h เป็นพลังงานที่ถูกสลายไปที่หน้าตัด

ค่า θ_u คำนวณได้จากการสมมุติให้ชิ้นส่วนมีการกระจายโมเมนต์เป็นเส้นตรง และมีการกระจายของความโค้งของชิ้นส่วนดังรูปที่ ก1.



จากรูปที่ ก1. สามารถประมาณค่า θ_u ได้ดังสมการ ก2.

$$\theta_u = \phi_y \frac{L}{2} + +(\phi_u - \phi_y) L_p \qquad (ก2)$$

โดยที่ L_p คือความยาวของจุดหมุนพลาสติกพลาสติกมีค่าเท่ากับ 0.09L

แต่จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าดัชนีความเสียหายดังกล่าว บางครั้งให้ค่าความเสียหายไม่สอดคล้องกับความเสียหายที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงได้พิจารณาค่าดัชนีความเสียหายซึ่งอยู่ในรูปของความโค้งที่ผิวหน้าของชิ้นส่วน ดังสมการที่ ก3.

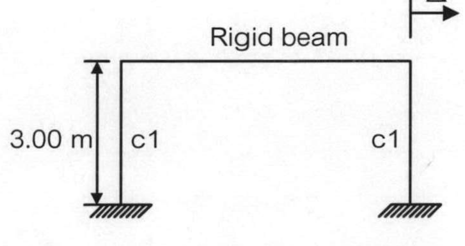
$$DI_\phi = \frac{\phi_m - \phi_y}{\phi_u - \phi_y} + \frac{\beta}{M_y \phi_u} E_h \qquad (ก3)$$

ϕ_m เป็นความโค้งที่เกิดขึ้นและมีค่ามากที่สุดของหน้าตัด

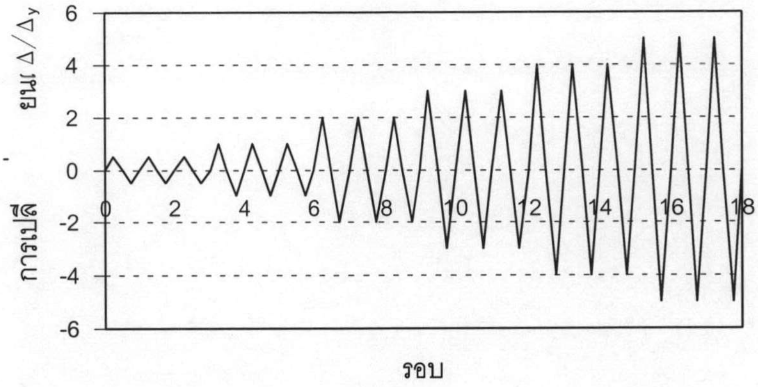
ϕ_u เป็นความโค้งวิบัติของหน้าตัด

ϕ_y เป็นความโค้งครากของหน้าตัด

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสียหายของโปรแกรม IDARC และค่าดัชนีความเสียหายซึ่งอยู่ในรูปของความโค้ง อาศัยการจำลองโครงสร้างอย่างง่ายเป็นโครงข้อแข็งพอร์ทอล (Portal frame) ซึ่งมีคานแข็งเกร็ง (Rigid beam) ดังรูปที่ ก2. โดยคุณสมบัติของชิ้นส่วนแสดงดังตารางที่ ก1. และให้แรงกระทำที่ชั้นที่ 1 โดยควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 1 ดังรูปที่ ก3. โดยที่จากการวิเคราะห์ พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่เริ่มทำให้เกิดการครากในเสา (Δ_y) เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเสียแสดงดังตารางที่ ก2



รูปที่ ก2. ลักษณะของโครงสร้างตัวอย่าง



รูปที่ ก3. รูปแบบการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 1

ตารางที่ ก1. คุณสมบัติของหน้าตัดเสาของโครงสร้างตัวอย่าง

คุณสมบัติของหน้าตัด	เสา C1
EI (kN.mm^2)	4.13x10^{10}
GA (kN)	1.05x10^6
EA/L (kN/mm)	1.33x10^3
M_{cr} (kN.mm)	6.79x10^4
M_y (kN.mm)	2.51x10^5
ϕ_y (rad/mm)	1.13x10^{-5}
ϕ_u (rad/mm)	2.28x10^{-4}
$EI3$ (kN.mm^2)	2.05x10^8

หมายเหตุ: EI คือความแข็งเกร็งต่อการดัดเริ่มต้น, GA คือความแข็งเกร็งต่อการเฉือน, EA/L คือความแข็งเกร็งในแนวแกน, M_{cr} คือโมเมนต์ที่จุดแตกร้าวของหน้าตัด, , $EI3$ คือความแข็งเกร็งต่อการดัดหลังจากเลยจุดครากของความสัมพันธ์โมเมนต์และความโค้ง

ตารางที่ ก2. ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเสียหาย

	ค่าดัชนีความเสียหาย					
รอบ	3	6	9	12	15	18
DI_{IDARC}	0.042	0.076	0.143	0.214	0.285	0.355
DI_{ϕ}	0.001	0.008	0.088	0.208	0.389	0.524

ภาคผนวก ข
เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่ง

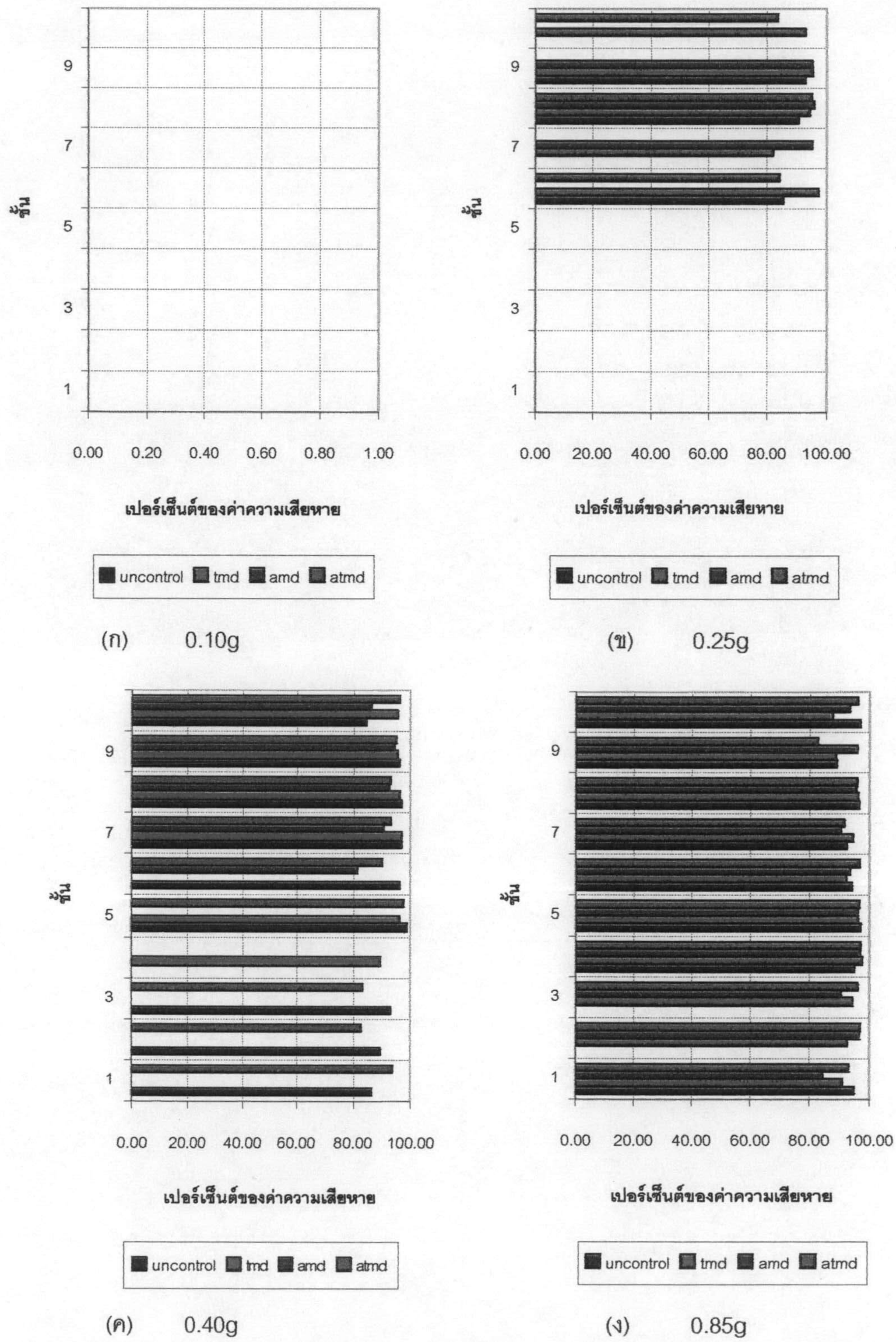
เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งหาได้จากการนำค่าความเสียหายที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งหารด้วยค่าความเสียหายทั้งหมด โดยสมการของค่าความเสียหายคือ

$$DI_{\phi} = \frac{\phi_m - \phi_y}{\phi_u - \phi_y} + \frac{\beta}{M_y \phi_u} E_h$$

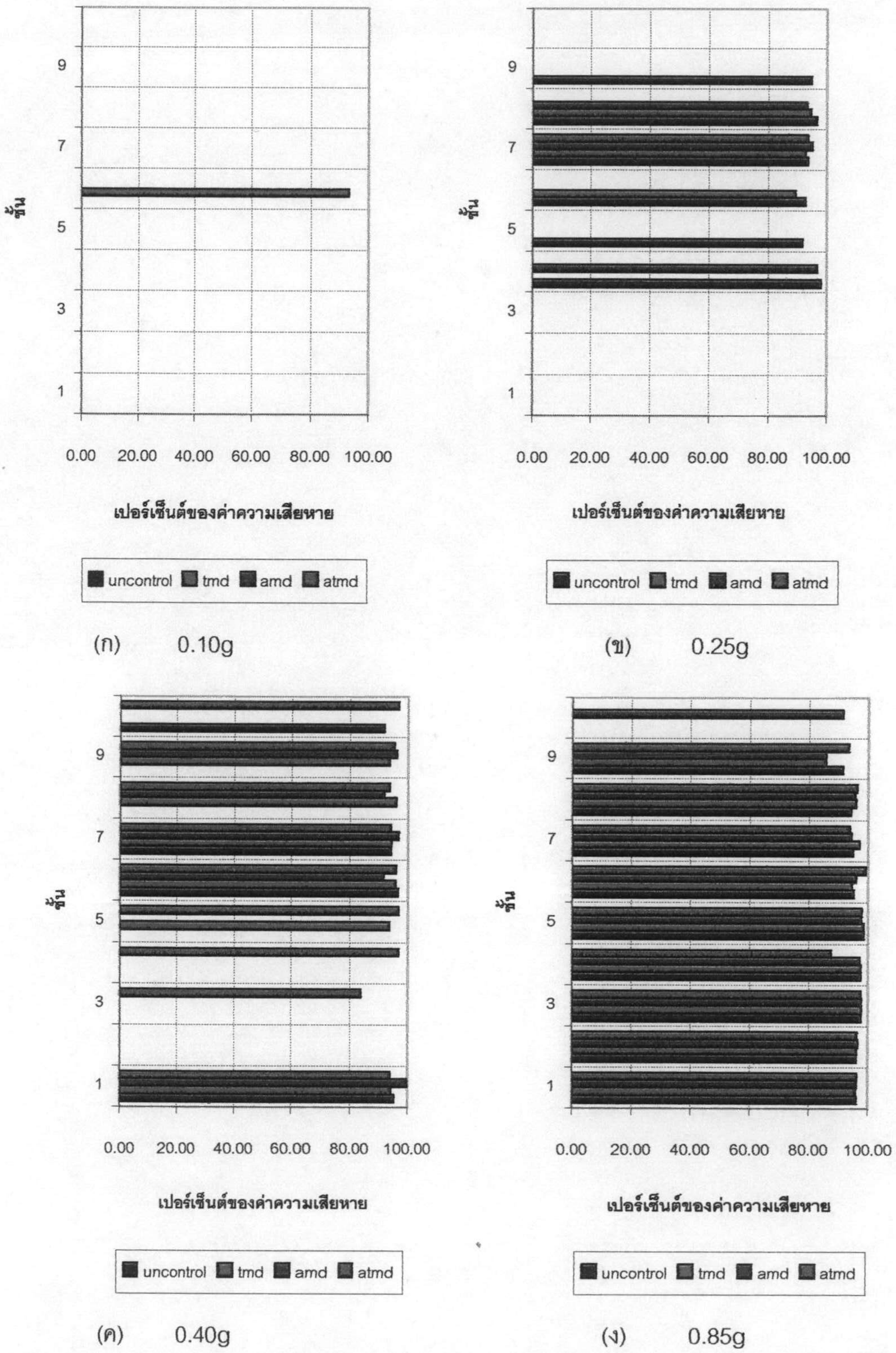
Displacement Base $= \dfrac{\phi_m - \phi_y}{\phi_u - \phi_y}$

Energy Base(DI) $= \dfrac{\beta}{M_y \phi_u} E_h$

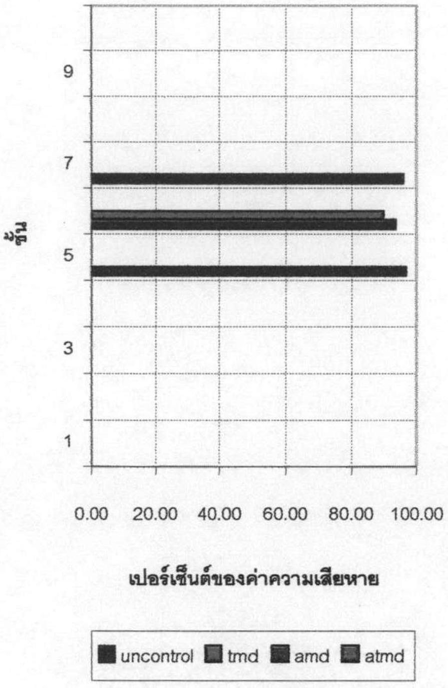
เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหาย = $\dfrac{\text{Displacement Base}}{\text{DI}} x100$



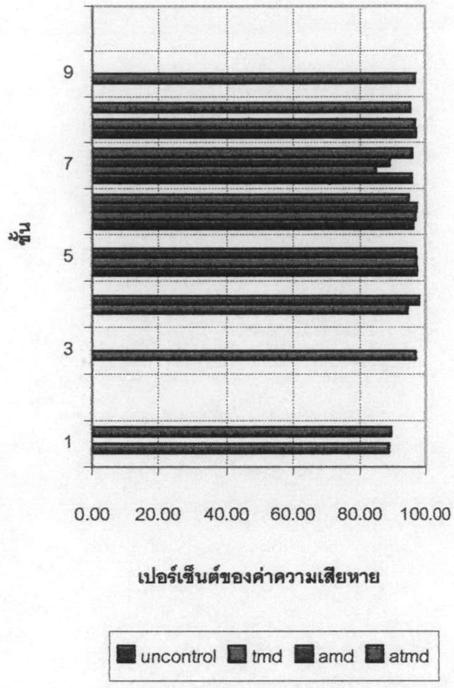
รูปที่ ข.1 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหายเนื่องมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของเสาแนว A ของอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro



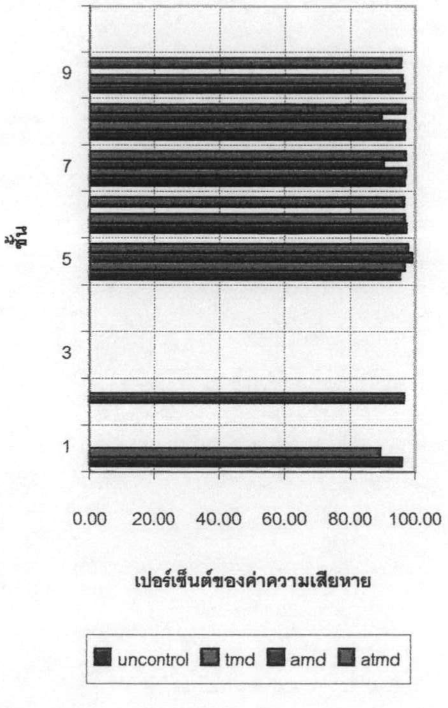
รูปที่ ข.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหายเนื่องมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของเสาแนว A ของอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge



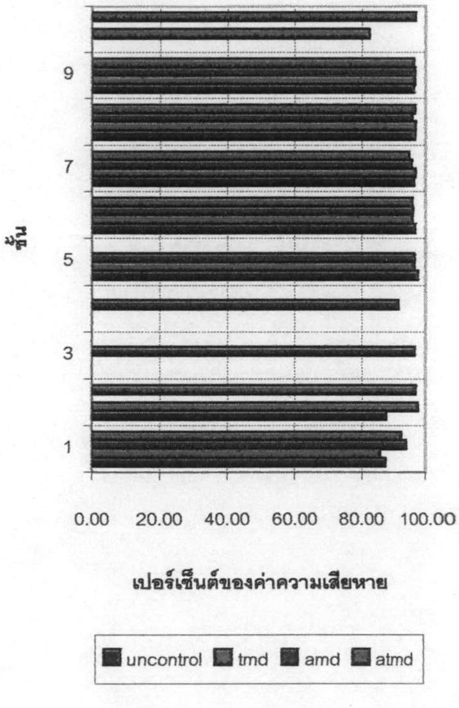
(ก) 0.05g



(ข) 0.08g



(ค) 0.11g



(ง) 0.15g

รูปที่ ข.3 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเสียหายเนื่องมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของเสาแนว A ของอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT

ภาคผนวก ค
งานสะสมของมวลหน่วง

งานสะสมของมวลหน่วงสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมการสั่นไหวได้ โดยถ้างานที่กระทำโดยมวลหน่วงมีค่าเป็นลบแสดงว่าขณะนั้นระบบควบคุมการสั่นไหวกำลังลดพลังงานในโครงสร้างหลักซึ่งทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งลดลง แต่ถ้างานที่กระทำโดยมวลหน่วงมีค่าเป็นบวกแสดงว่าขณะนั้นระบบควบคุมการสั่นไหวกำลังให้พลังงานแก่ระบบซึ่งทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งเพิ่มขึ้น งานของมวลหน่วงที่เวลาใดๆหาได้จาก

$$w = F(t)\,X(t) \qquad (ค.1)$$

โดยที่ $F(t)$ คือ แรงทั้งหมดจากระบบควบคุมการสั่นไหวที่กระทำต่อโครงสร้างหลัก
$X(t)$ คือ การเคลื่อนที่ที่ชั้นที่ 10 ของอาคารตัวอย่าง

งานสะสมของมวลหน่วงหาได้โดยการอินทีเกรทสมการ ค.1 จะได้

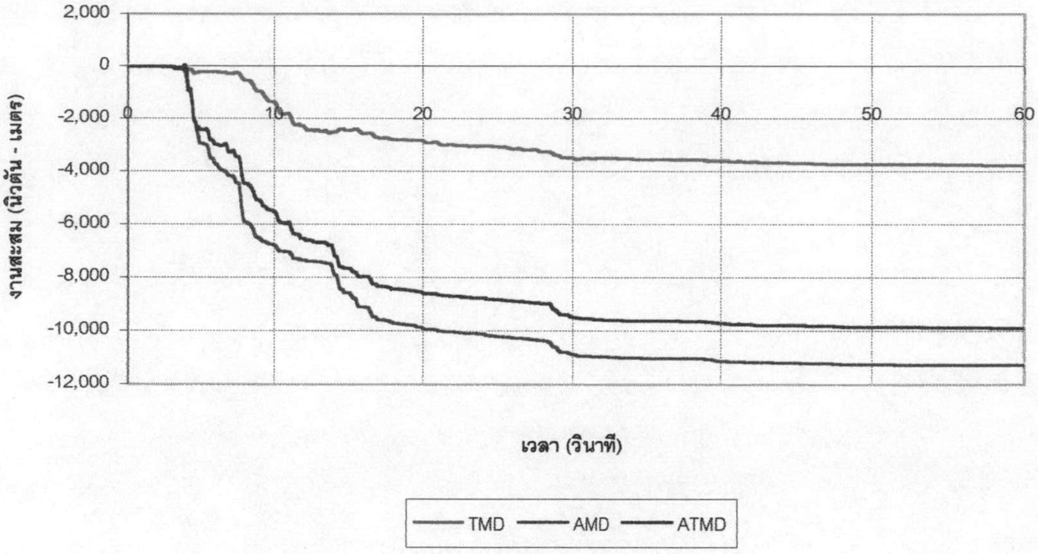
$$W = \int_0^{tf} F(t)\, dX(t) \qquad (ค.2)$$

เนื่องจากแรงและการเคลื่อนที่อยู่ในเทอมของเวลา จัดสมการใหม่จะได้

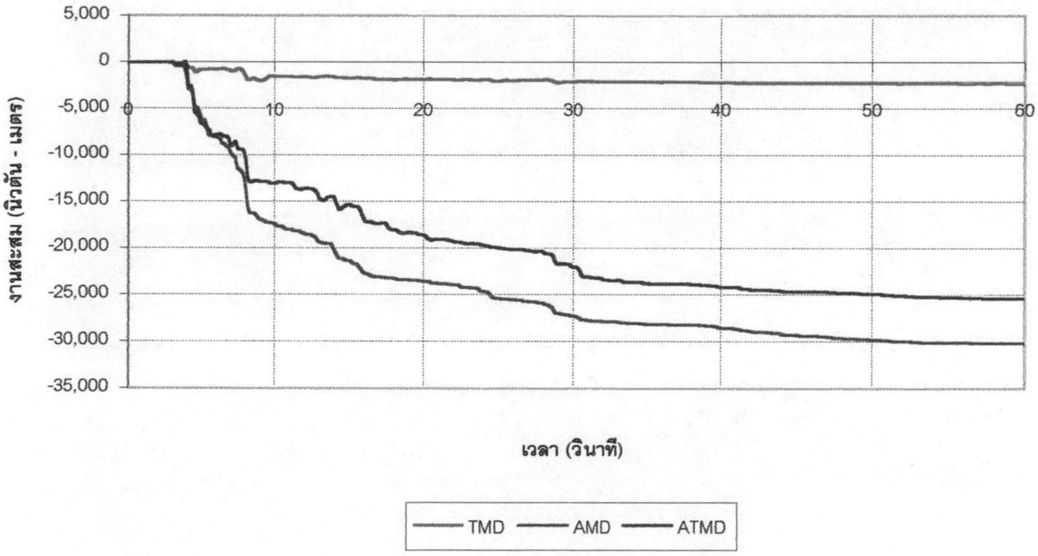
$$W = \int_0^{tf} F(t)\, \frac{dX(t)}{dt}\, dt \qquad (ค.3)$$

$$W = \int_0^{tf} F(t)\, V(t)\, dt \qquad (ค.4)$$

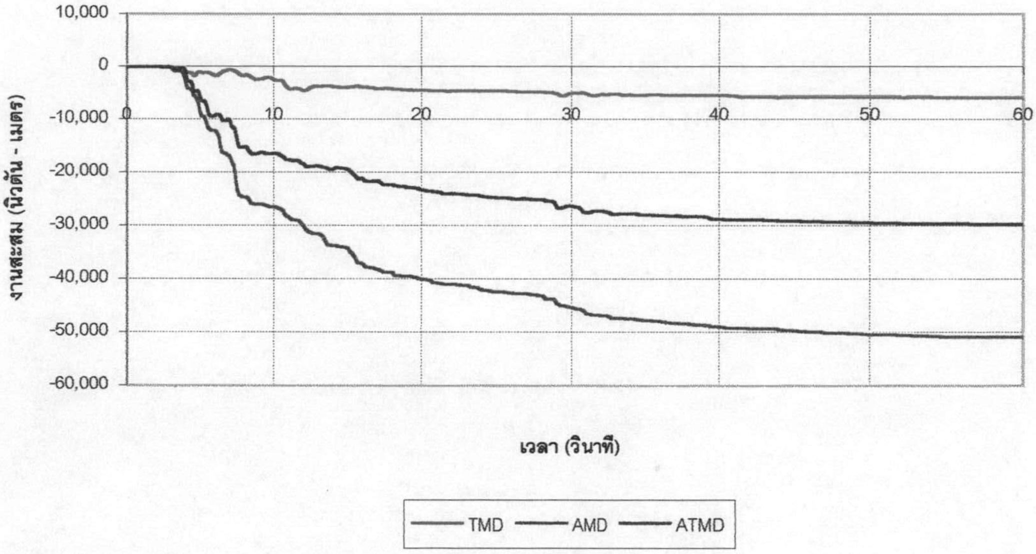
โดยที่ $V(t)$ คือ ความเร็วที่ชั้นที่ 10 ของอาคารตัวอย่าง


2,000
0
-2,000
-4,000
-6,000
-8,000
-10,000
-12,000
0
10
20
30
40
50
60
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

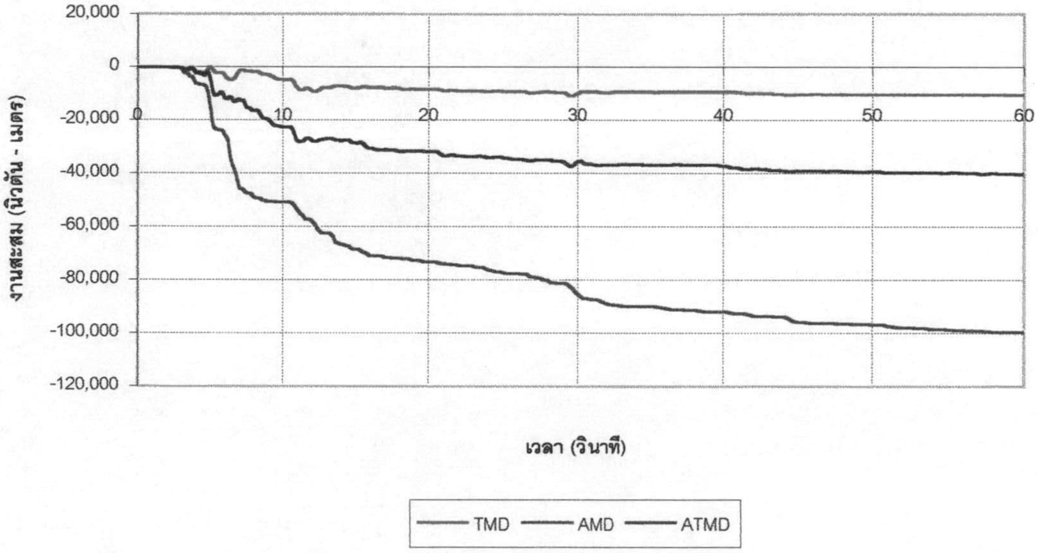
(ก) 0.10g


5,000
0
-5,000
-10,000
-15,000
-20,000
-25,000
-30,000
-35,000
0
10
20
30
40
50
60
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

(ข) 0.25g

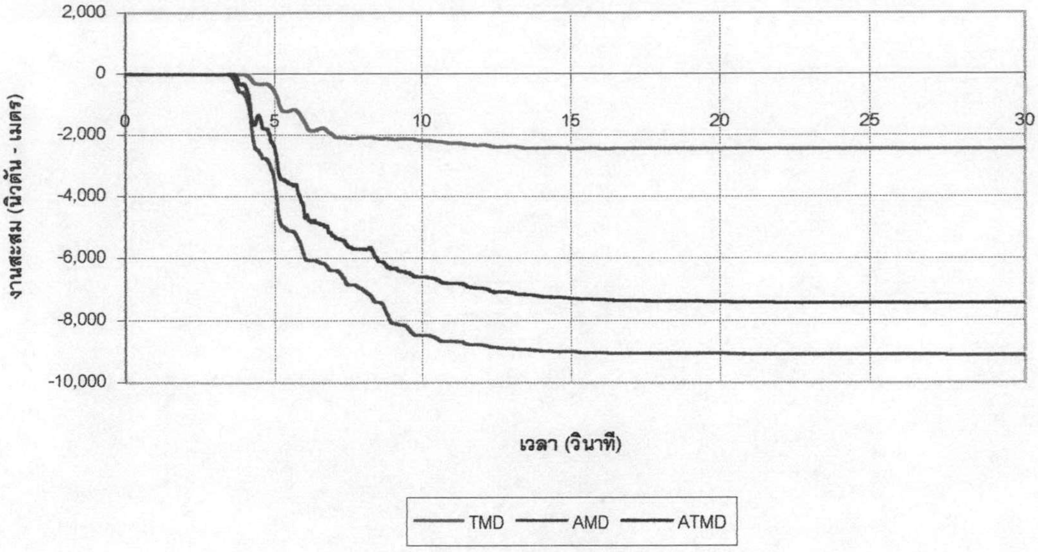


(ค) 0.40g

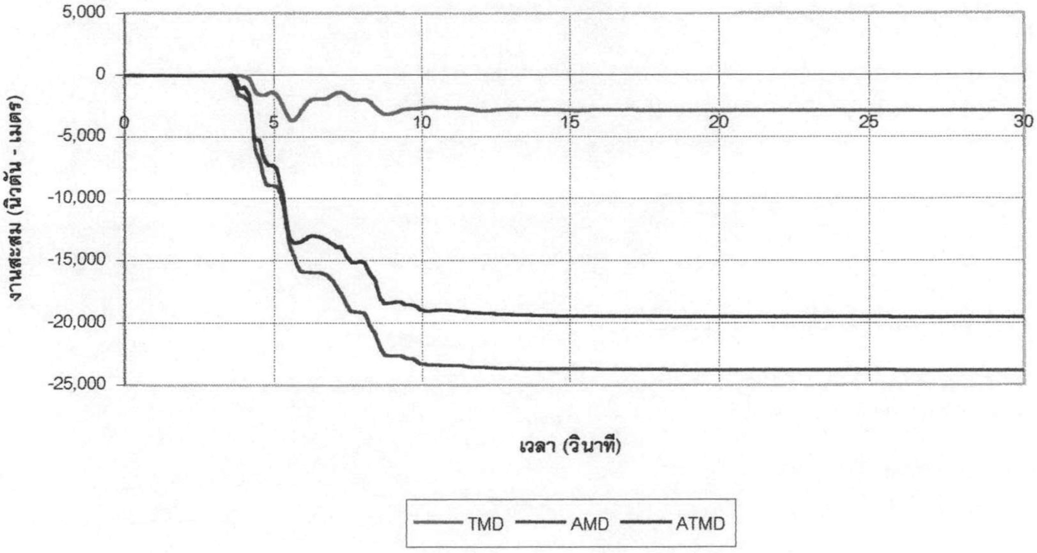


(ง) 0.85g

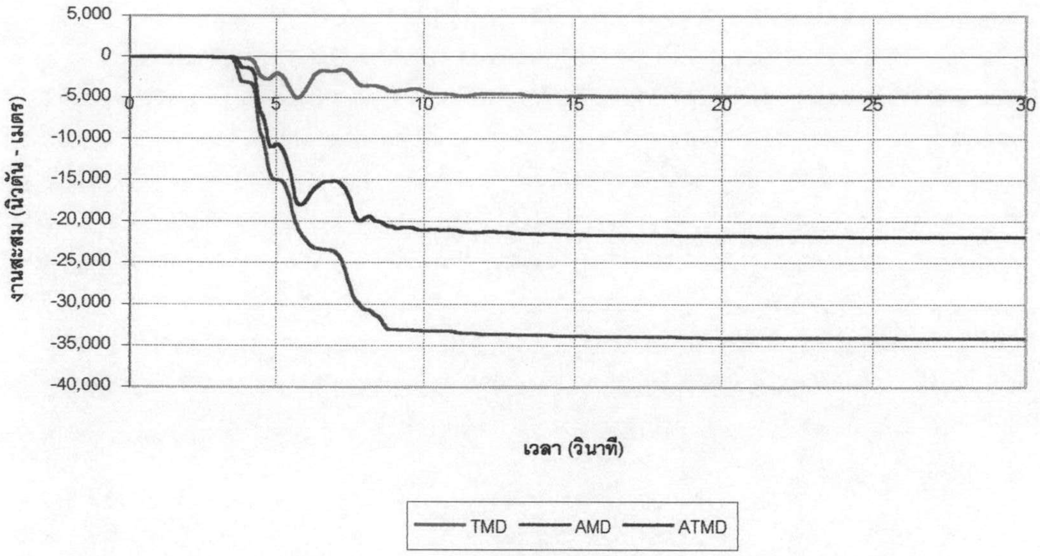
รูปที่ ค.1 งานสะสมที่กระทำโดยมวลหน่วงภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro


2,000
0
-2,000
-4,000
-6,000
-8,000
-10,000
0
5
10
15
20
25
30
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

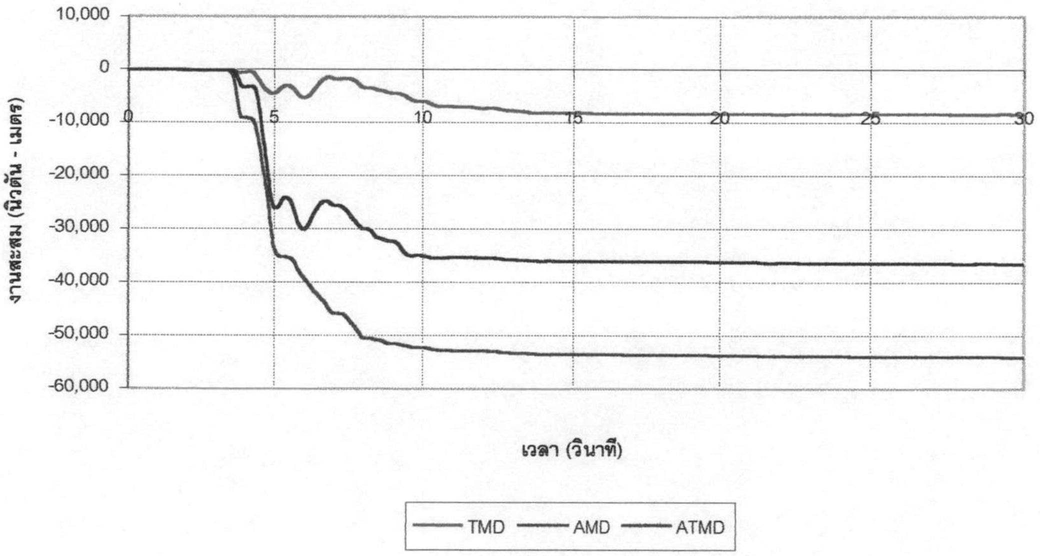
(ก) 0.10g


5,000
0
-5,000
-10,000
-15,000
-20,000
-25,000
0
5
10
15
20
25
30
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

(ข) 0.25g

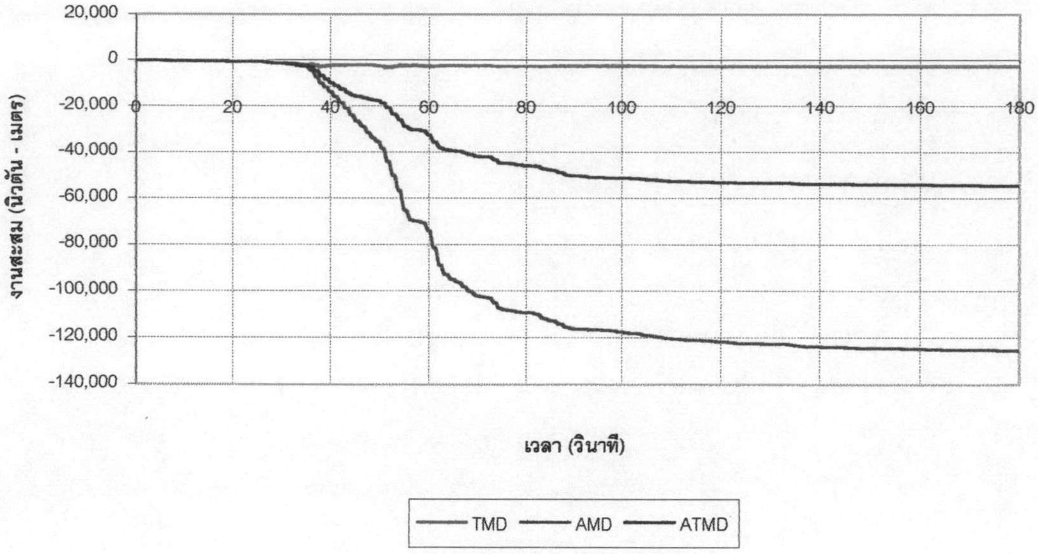


(ค) 0.40g

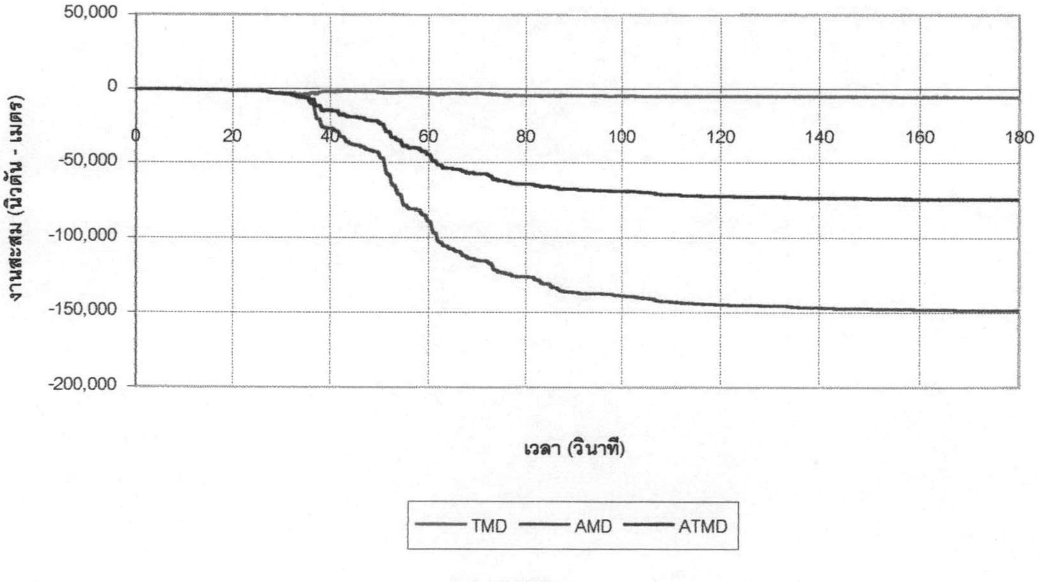


(ง) 0.85g

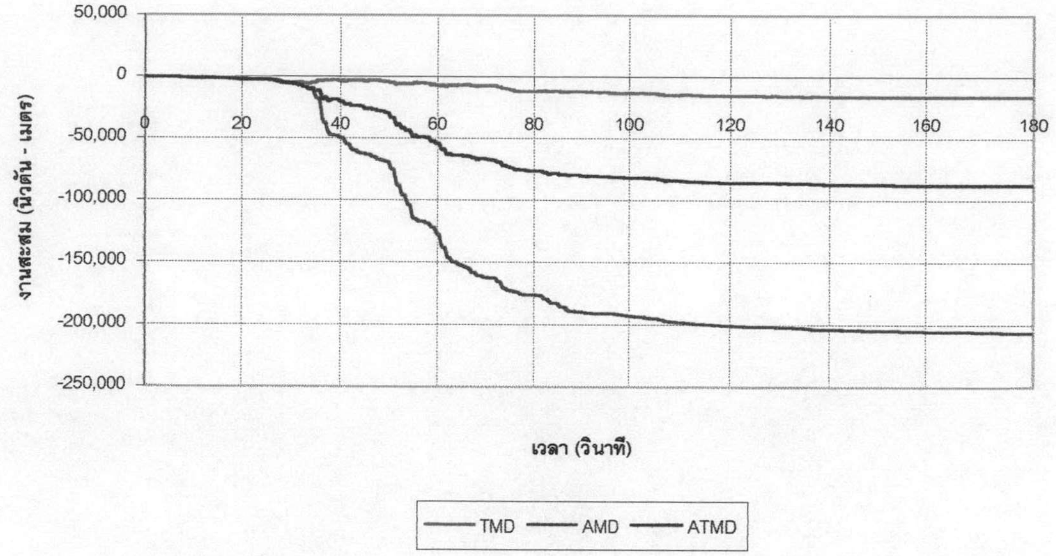
รูปที่ ค.2 งานสะสมที่กระทำโดยมวลหน่วงภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge


20,000
0
-20,000
-40,000
-60,000
-80,000
-100,000
-120,000
-140,000
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

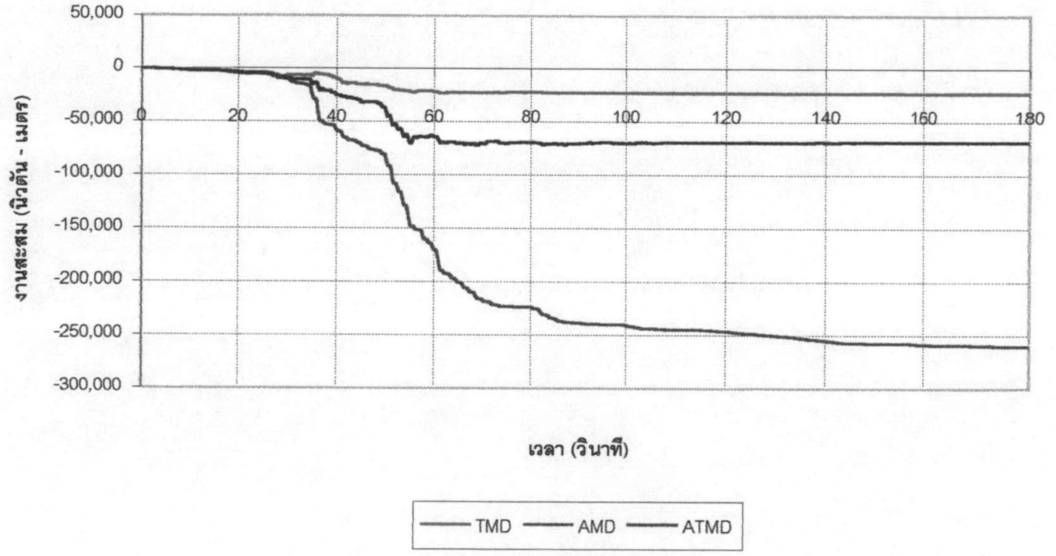
(ก) 0.05g


50,000
0
-50,000
-100,000
-150,000
-200,000
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
งานสะสม (นิวตัน - เมตร)
เวลา (วินาที)
TMD
AMD
ATMD

(ข) 0.08g



(ค) 0.11g

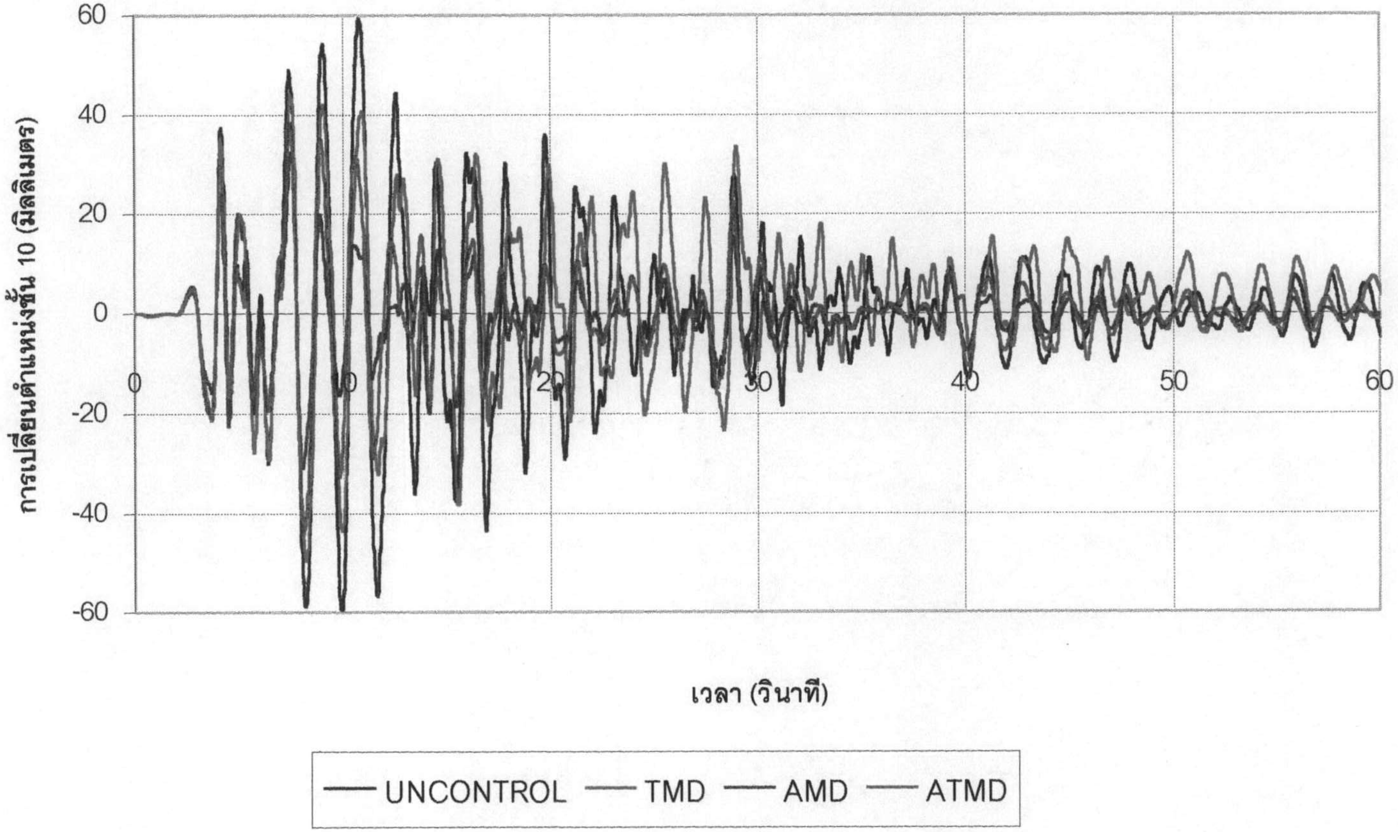


(ง) 0.15g

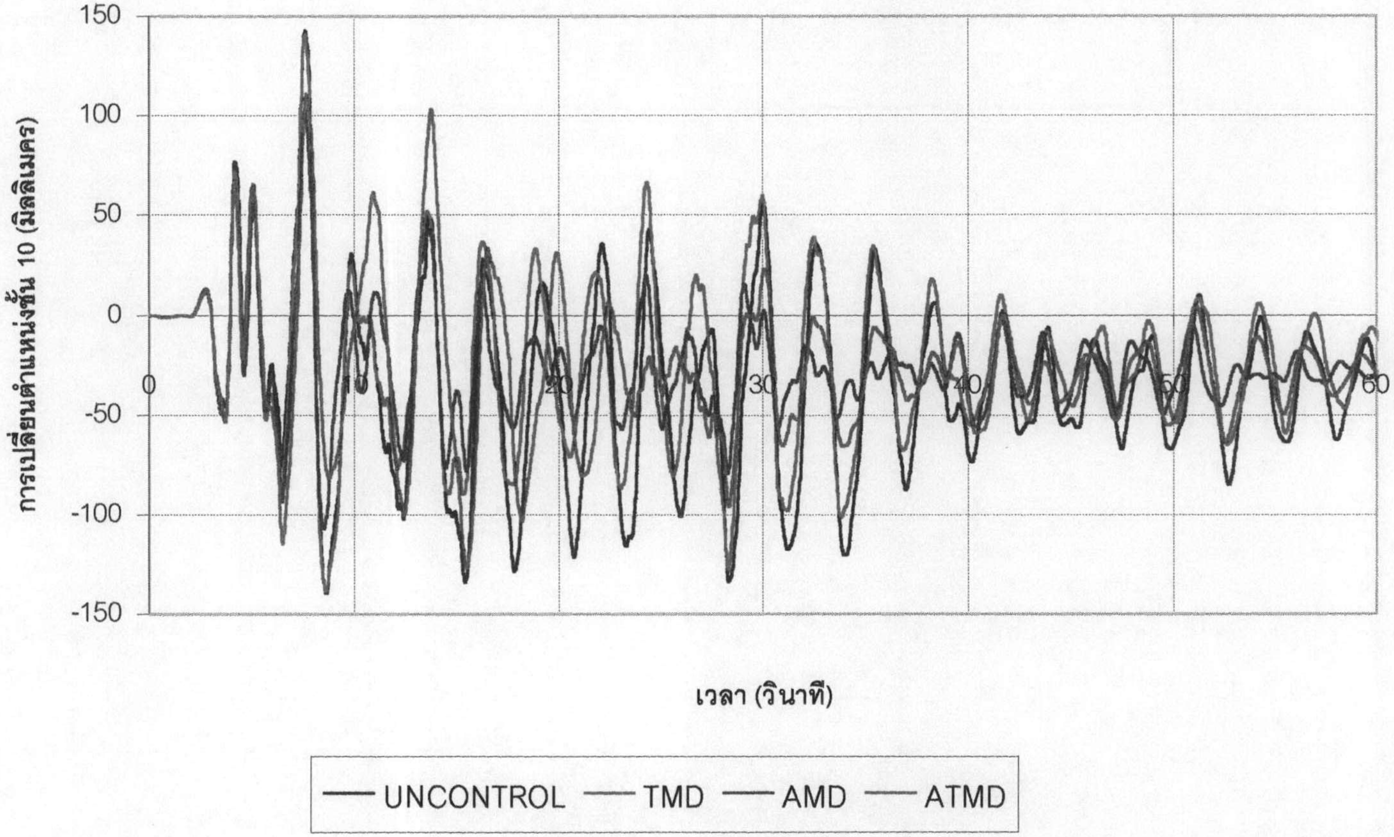
รูปที่ ค.3 งานสะสมที่กระทำโดยมวลหน่วงภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT

ภาคผนวก ง
รูปการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว

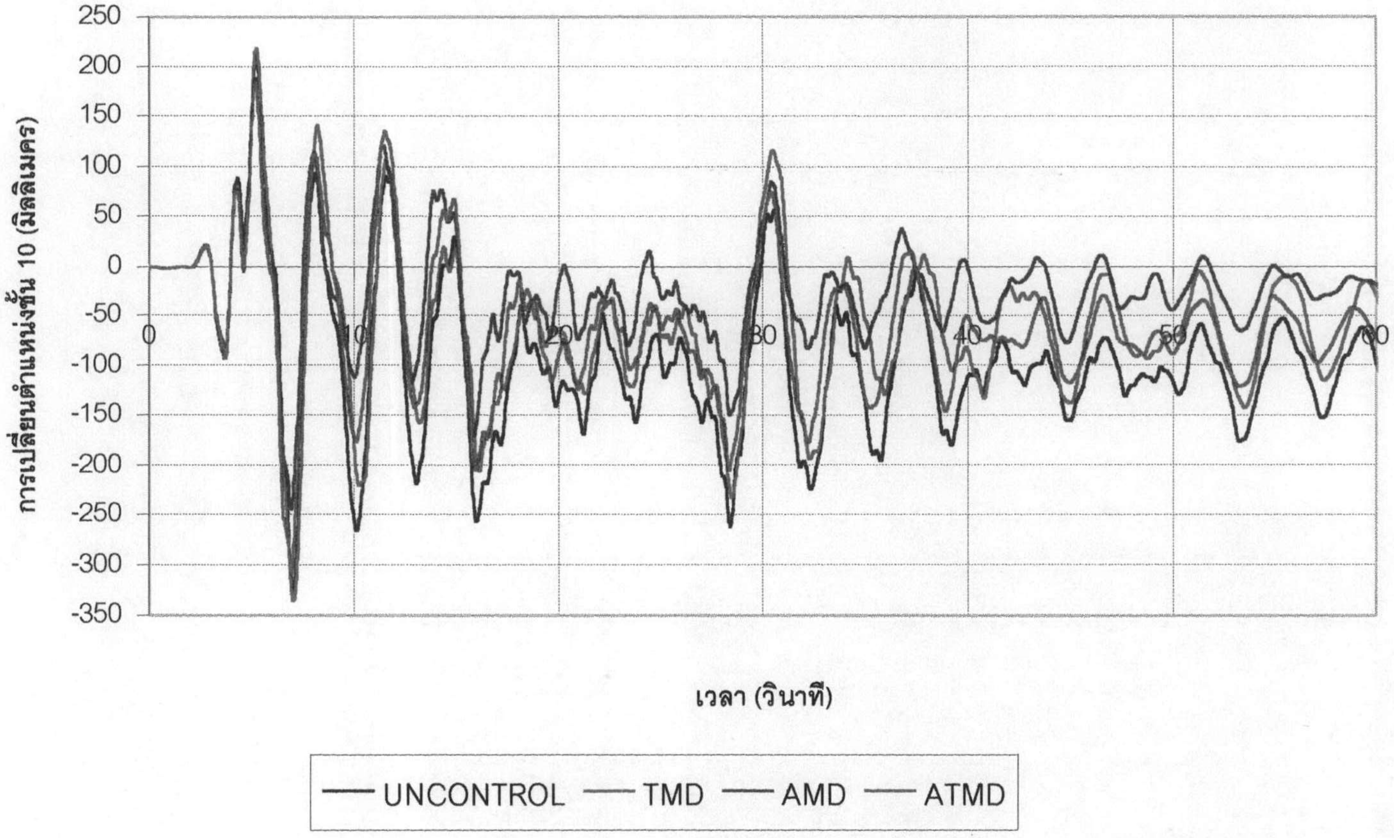
ในภาคผนวก ง. นี้จะแสดงรูปการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 10 ของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย โดยที่คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และ Northridge จะแสดงตั้งแต่วินาทีแรกของคลื่นแผ่นดินไหวจนถึงวินาทีสุดท้ายของคลื่นแผ่นดินไหว ส่วนคลื่น SCT จะแสดงตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 120 เนื่องจากนอกเหนือเวลาดังกล่าวนี้คลื่นแผ่นดินไหวมีค่าน้อยทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าน้อย และถ้าแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ทุกวินาทีจะทำให้การหาค่าจากรูปทำได้ลำบาก



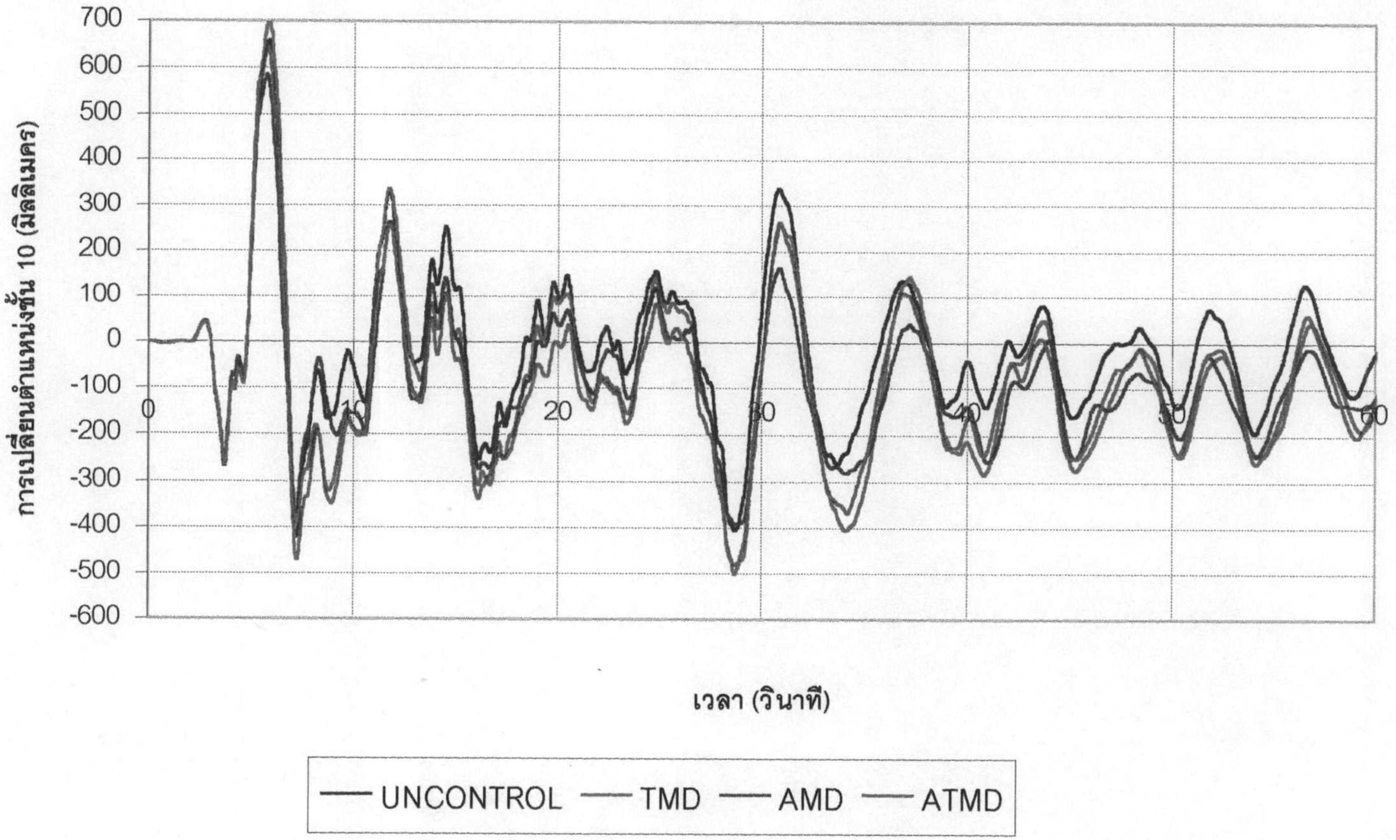
รูปที่ ง.1 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



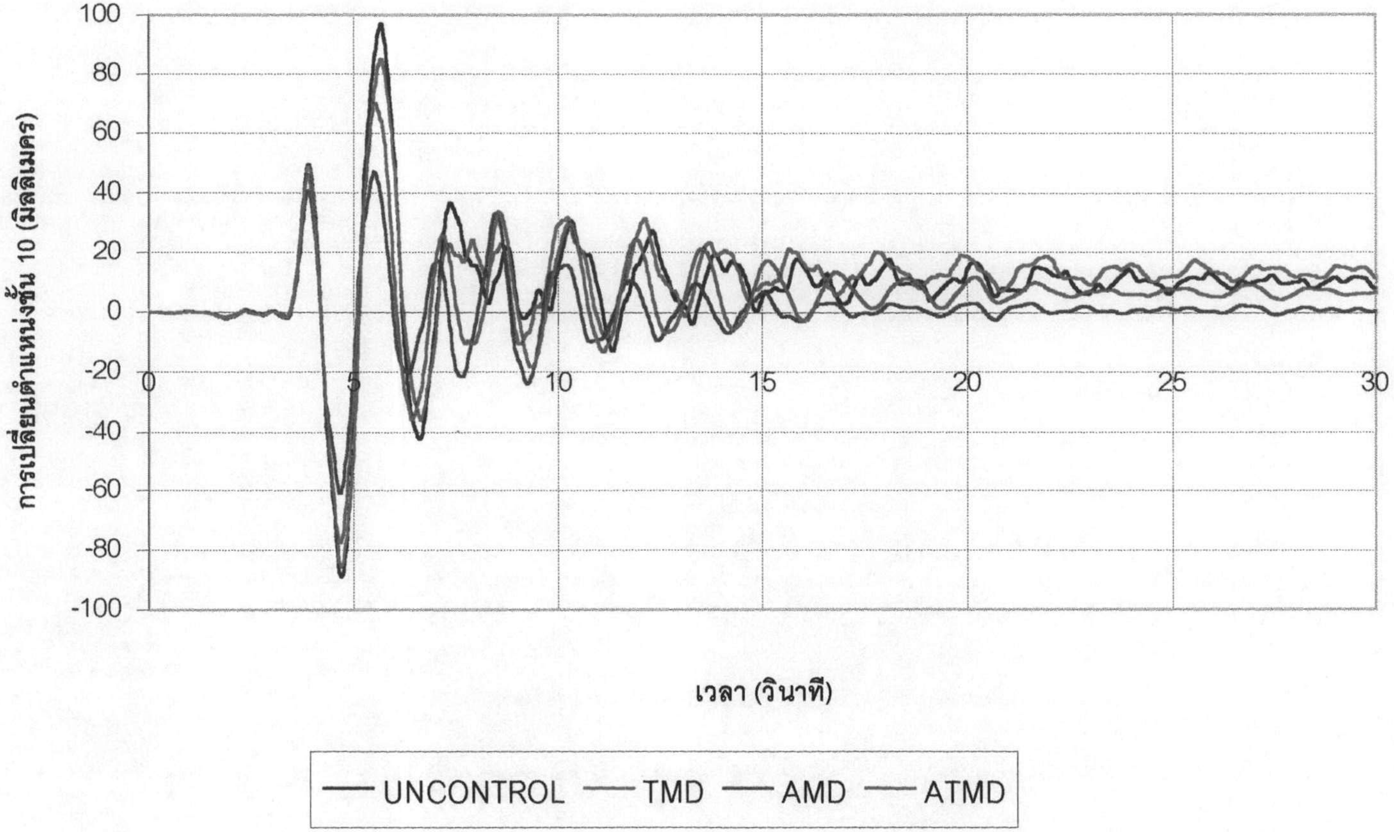
รูปที่ ง.2 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



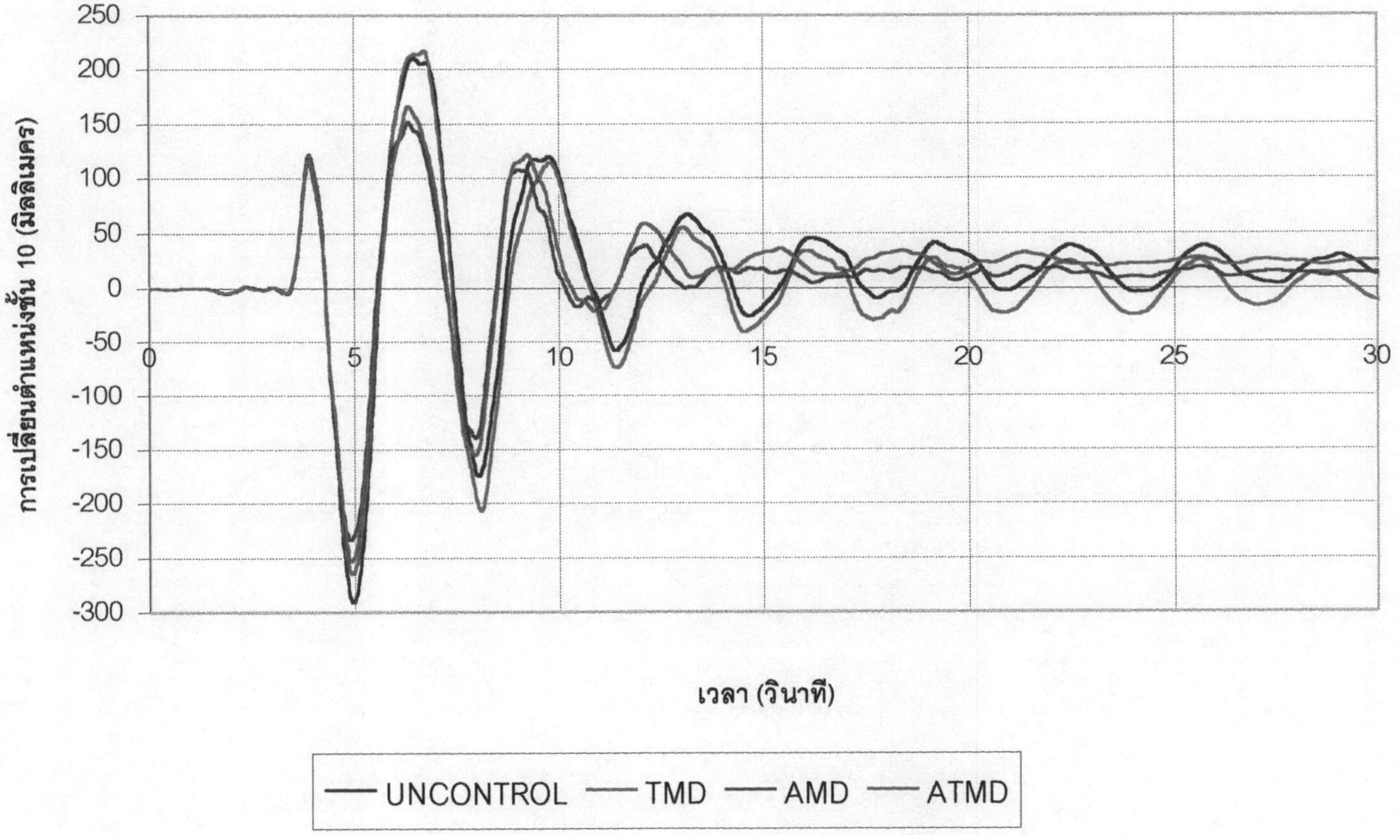
รูปที่ ง.3 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



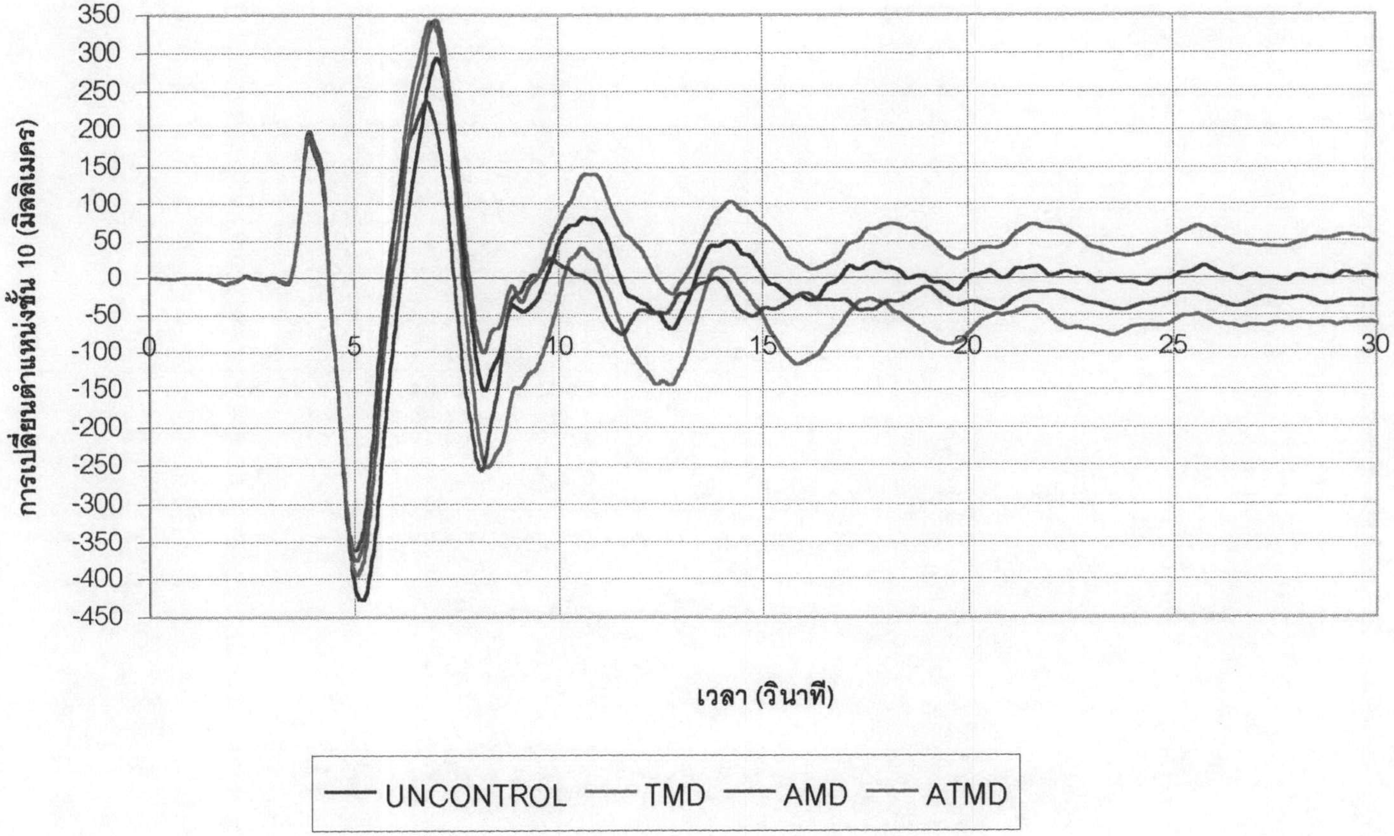
รูปที่ ง.4 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



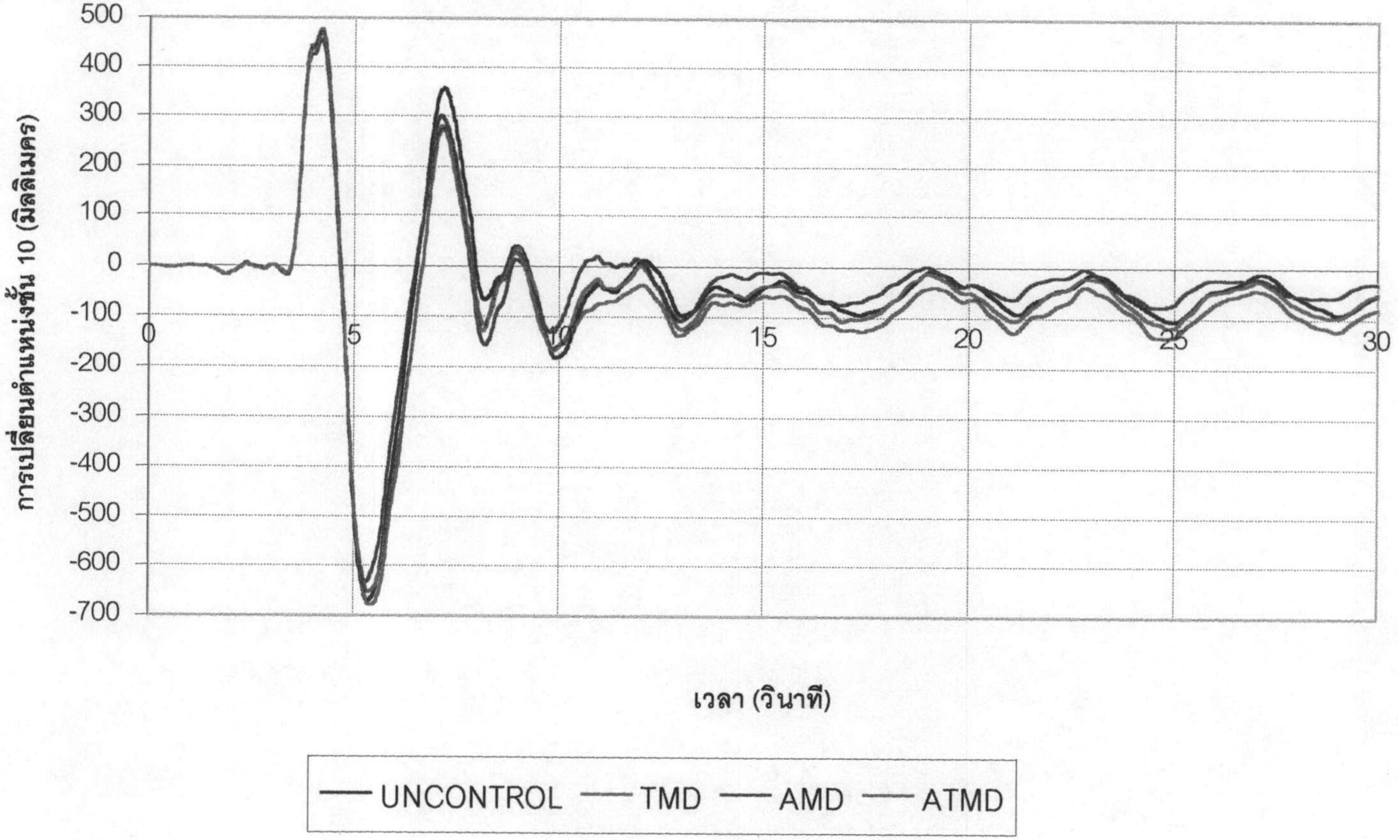
รูปที่ ง.5 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



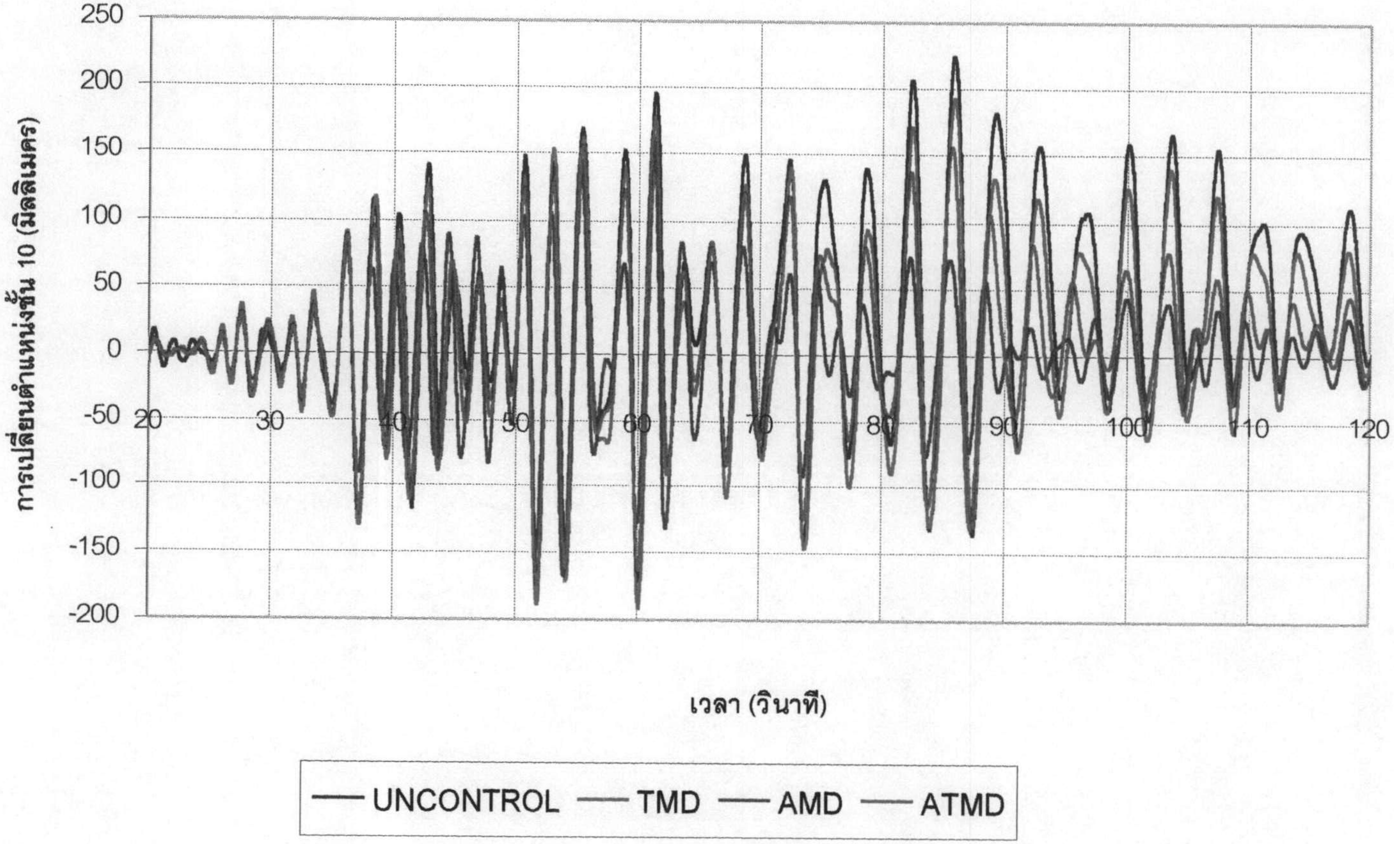
รูปที่ ง.6 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



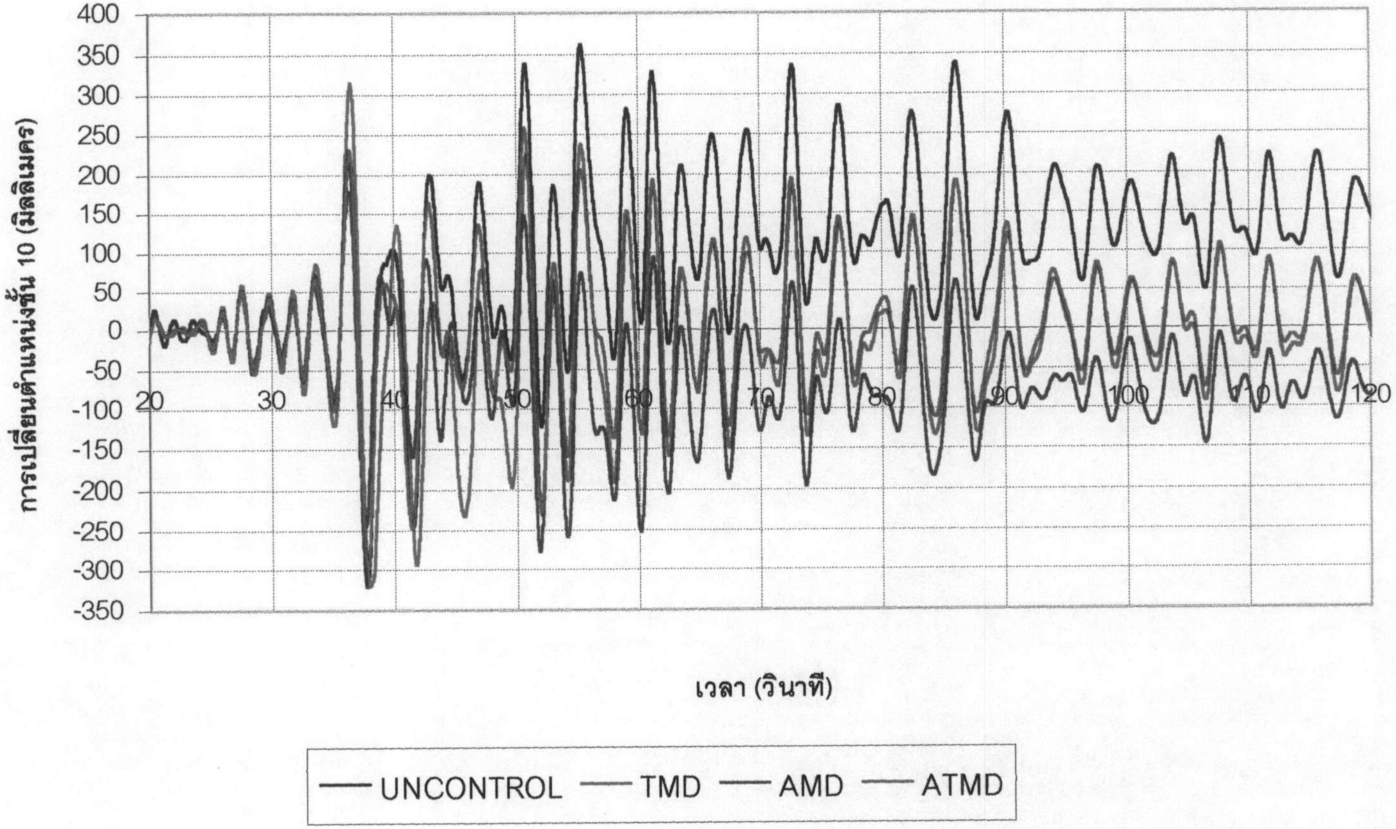
รูปที่ ง.7 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



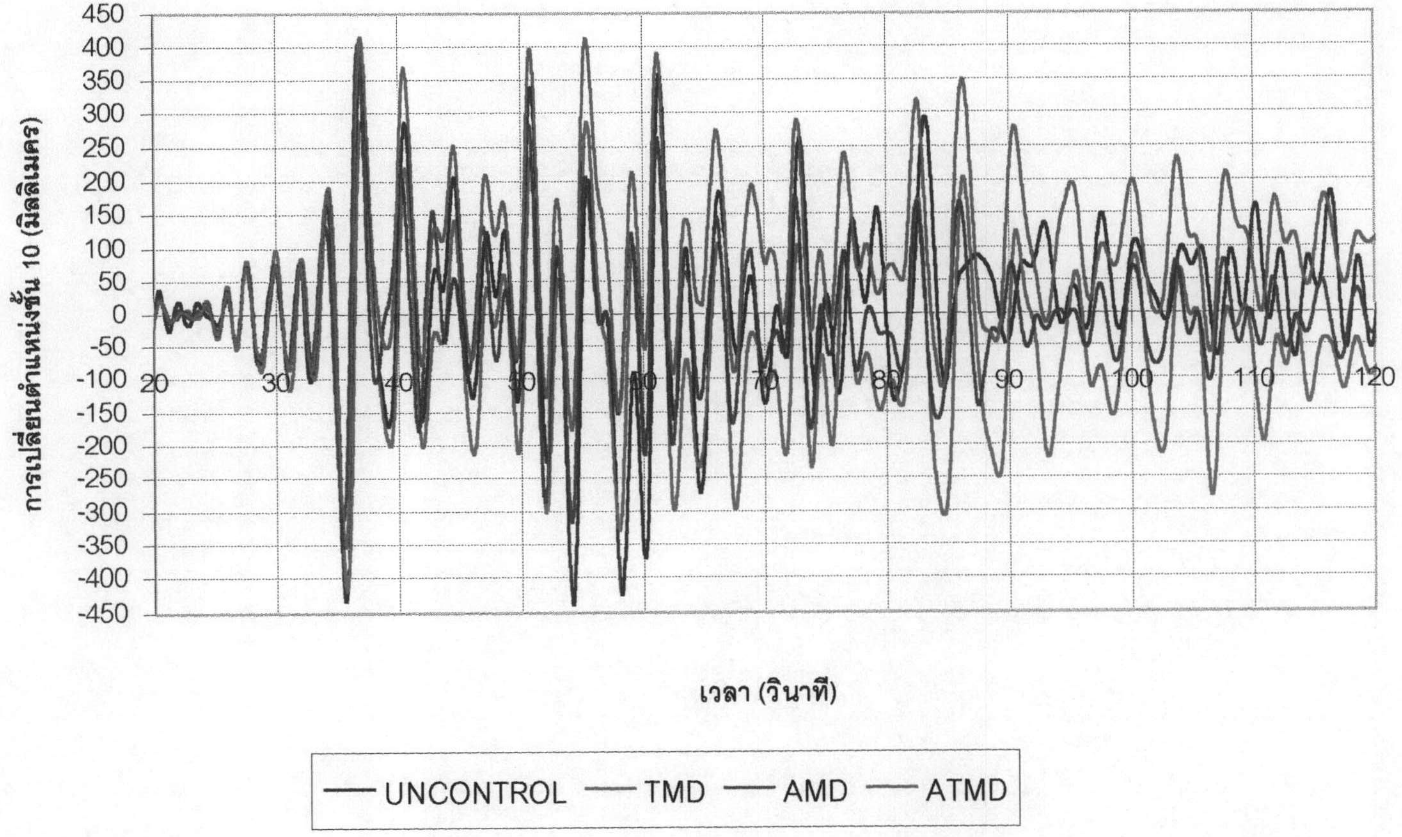
รูปที่ ง.8 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



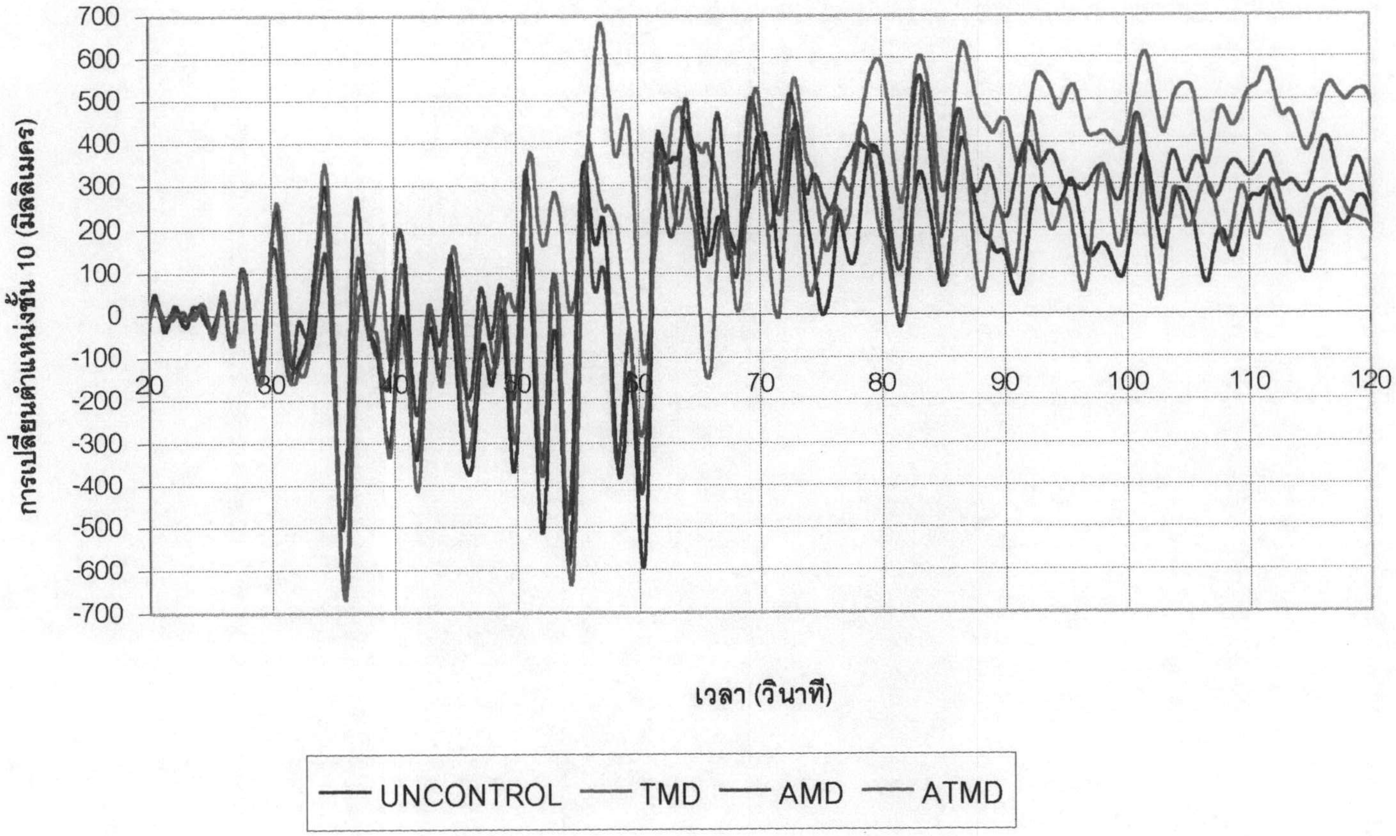
รูปที่ ง.9 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ ง.10 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.08 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



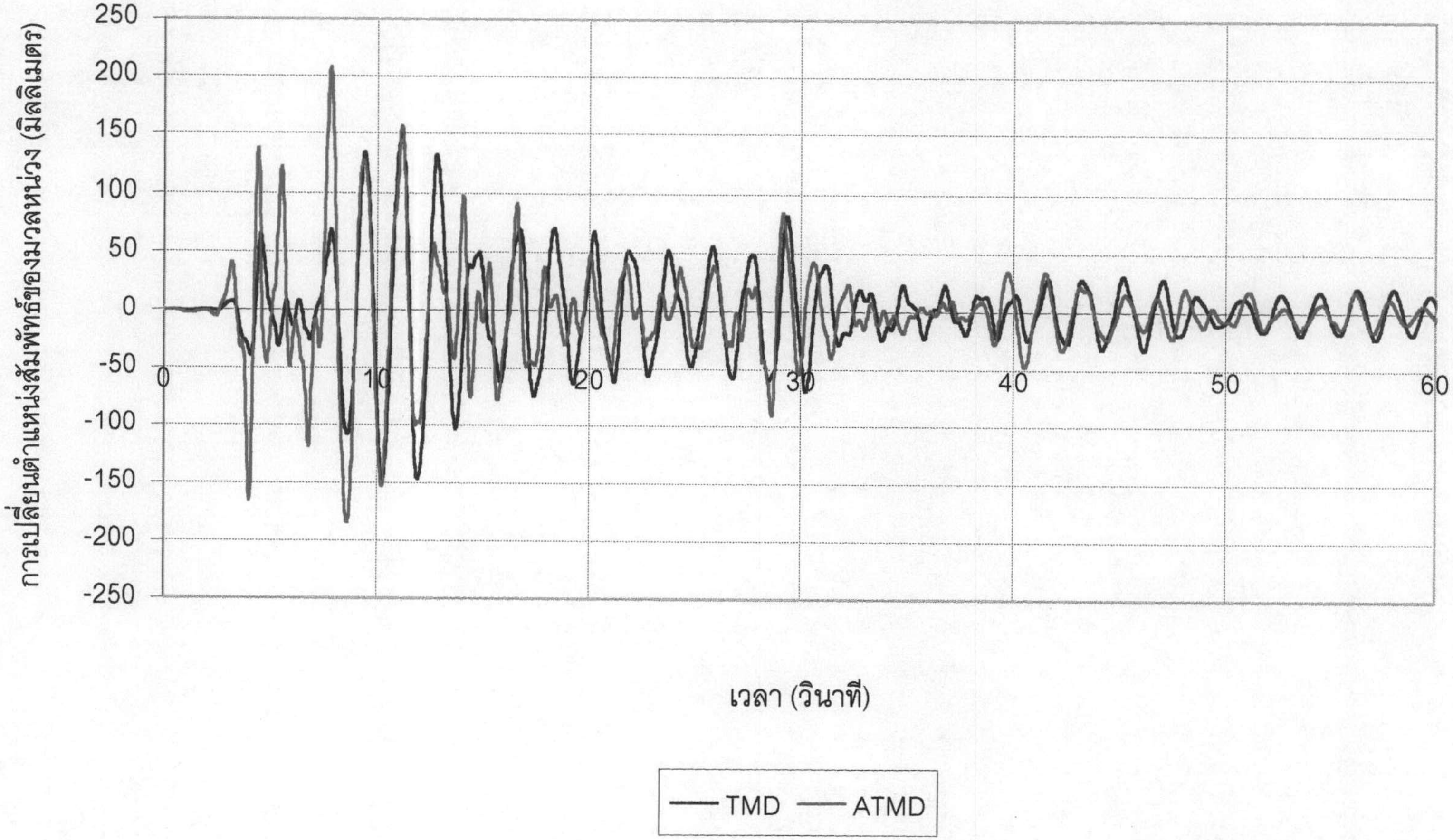
รูปที่ ง.11 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.11 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



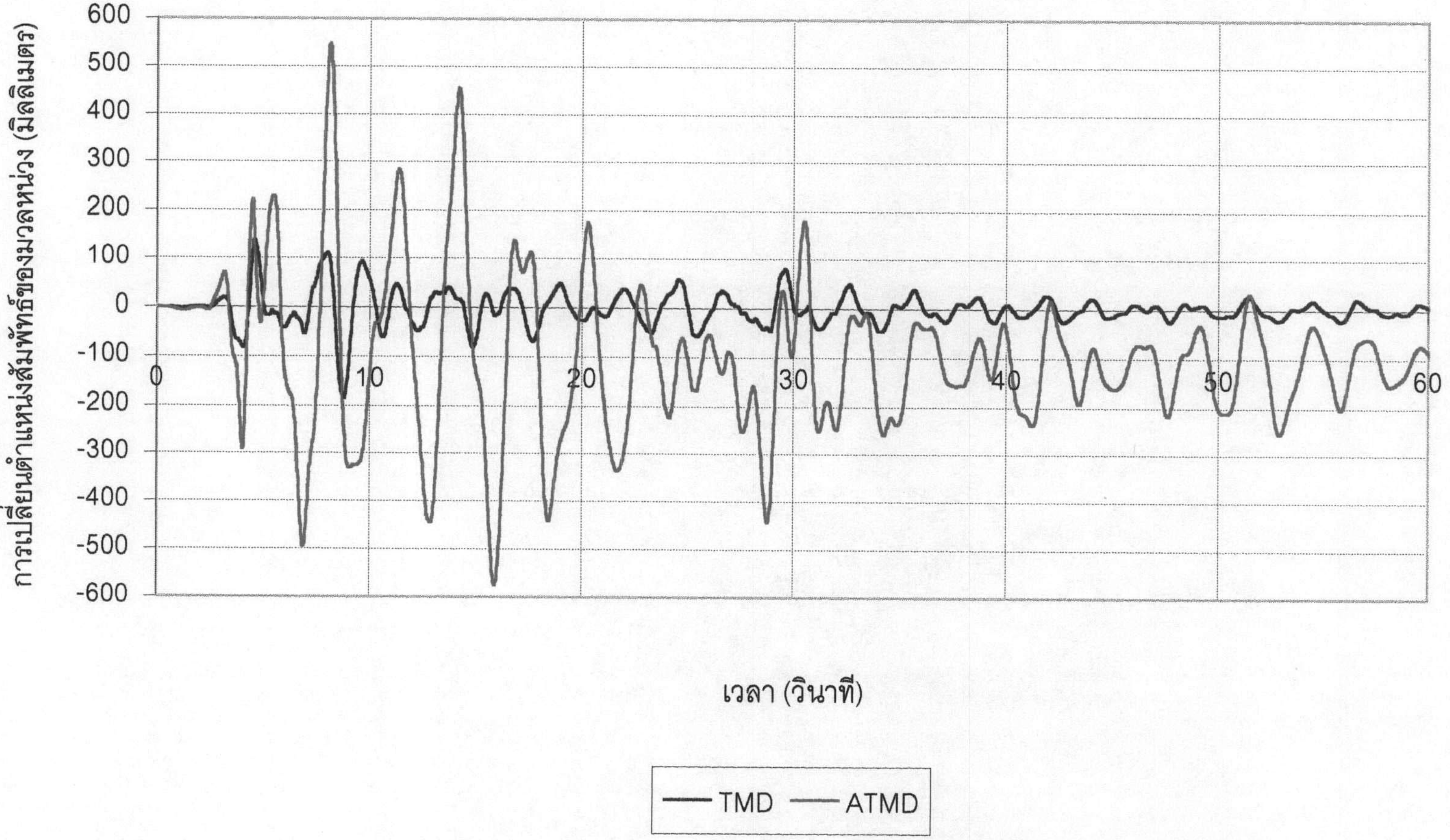
รูปที่ ง.12 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 10 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาคผนวก จ
รูปการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว

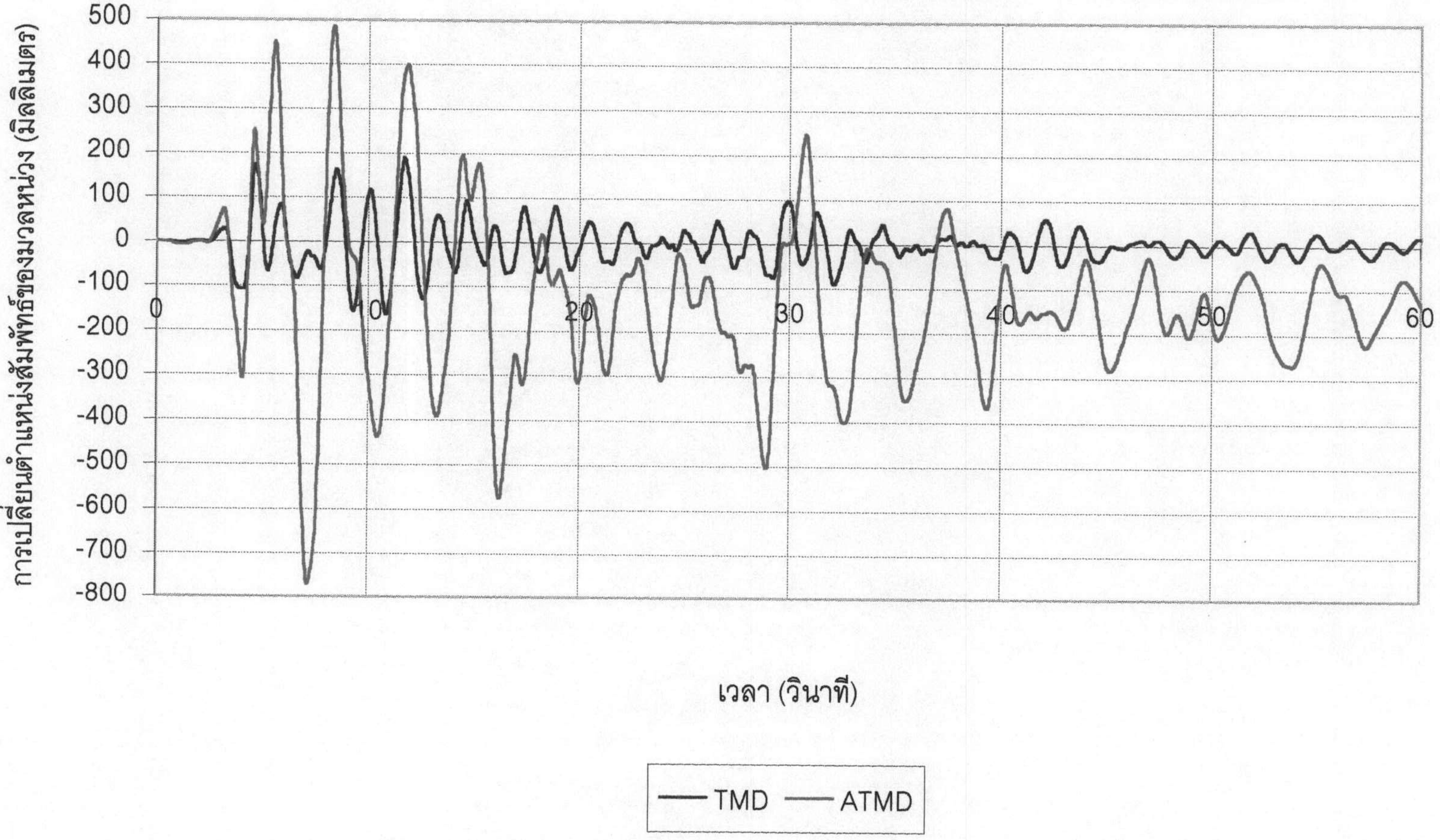
ในภาคผนวก จ. นี้จะแสดงรูปการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย โดยที่คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และ Northridge จะแสดงตั้งแต่วินาทีแรกของคลื่นแผ่นดินไหวจนถึงวินาทีสุดท้ายของคลื่นแผ่นดินไหว ส่วนคลื่น SCT จะแสดงตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 120 เนื่องจากนอกเหนือเวลาดังกล่าวนี้คลื่นแผ่นดินไหวมีค่าน้อยทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วงมีค่าน้อย และถ้าแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วงที่ทุกวินาทีจะทำให้การหาค่าจากรูปทำได้ลำบาก



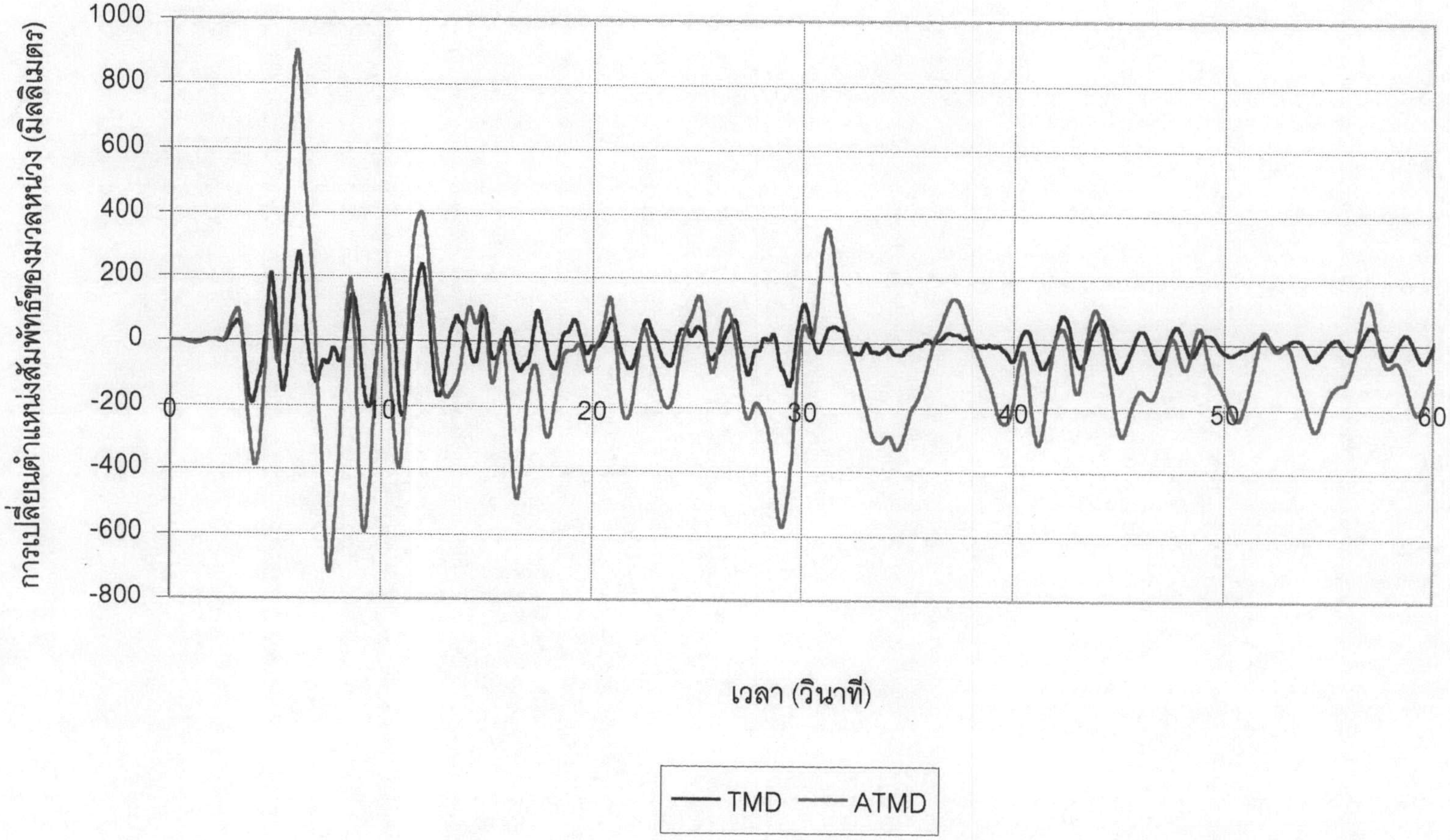
รูปที่ จ.1 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



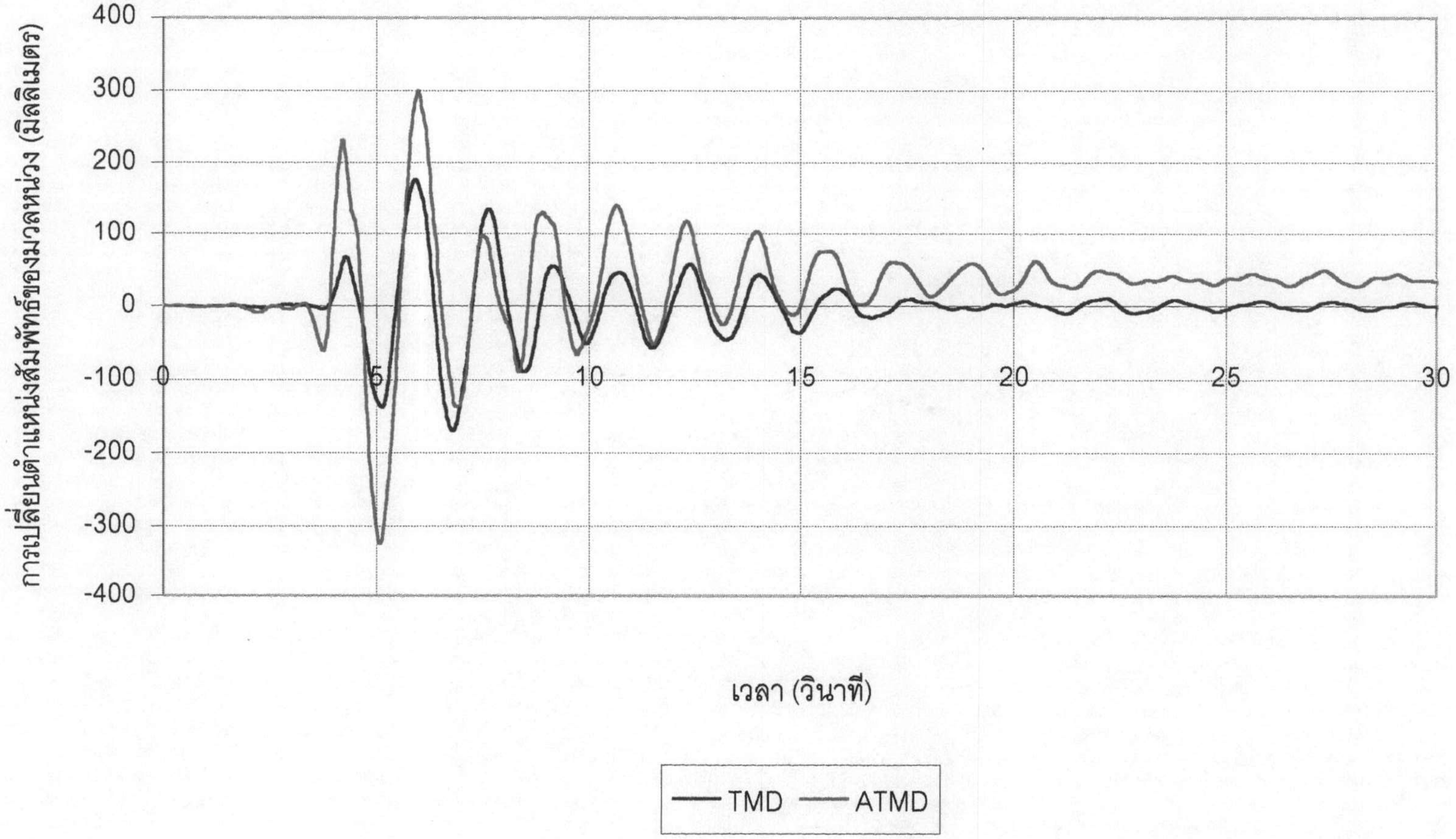
รูปที่ จ.2 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



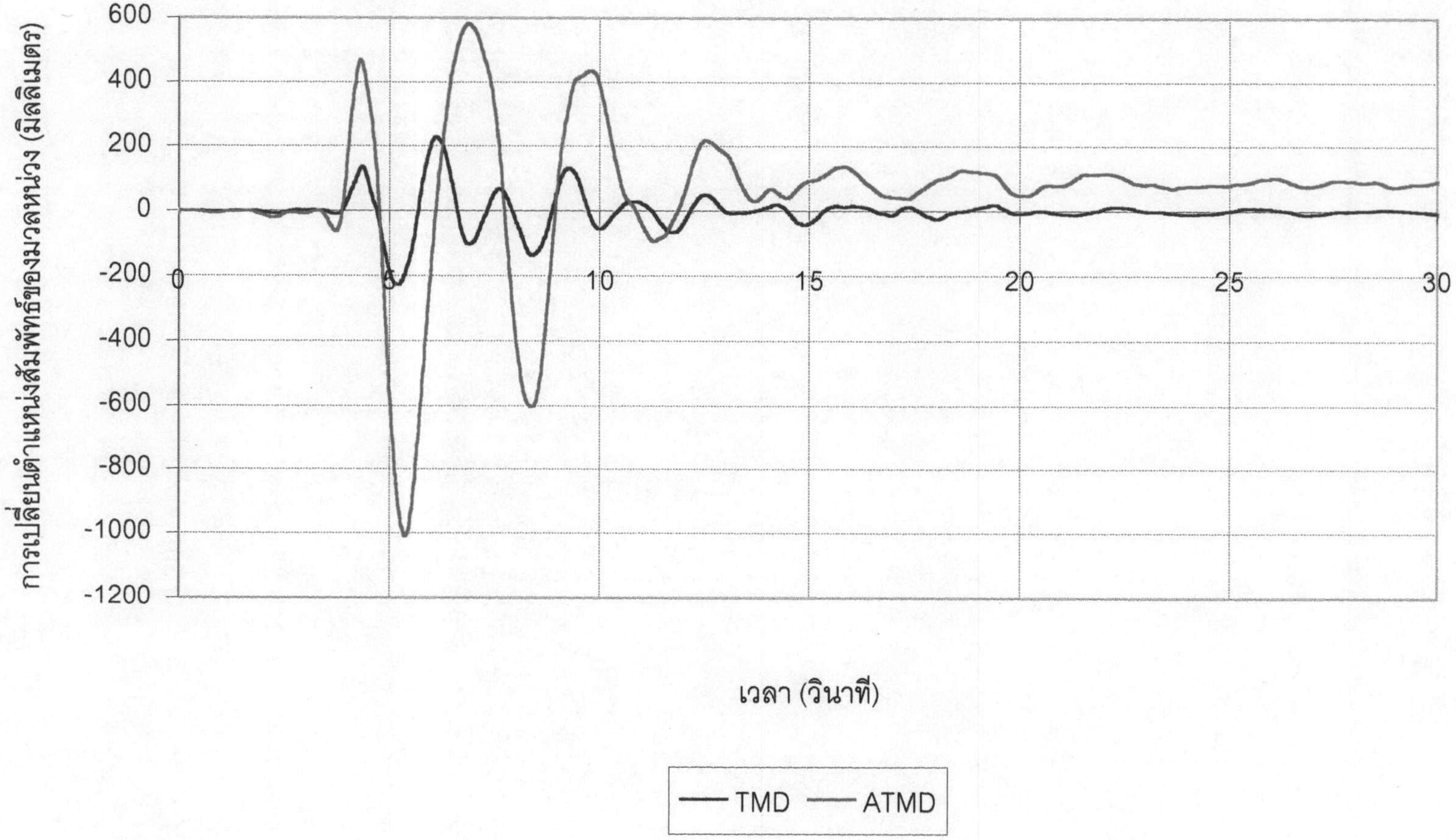
รูปที่ จ.3 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



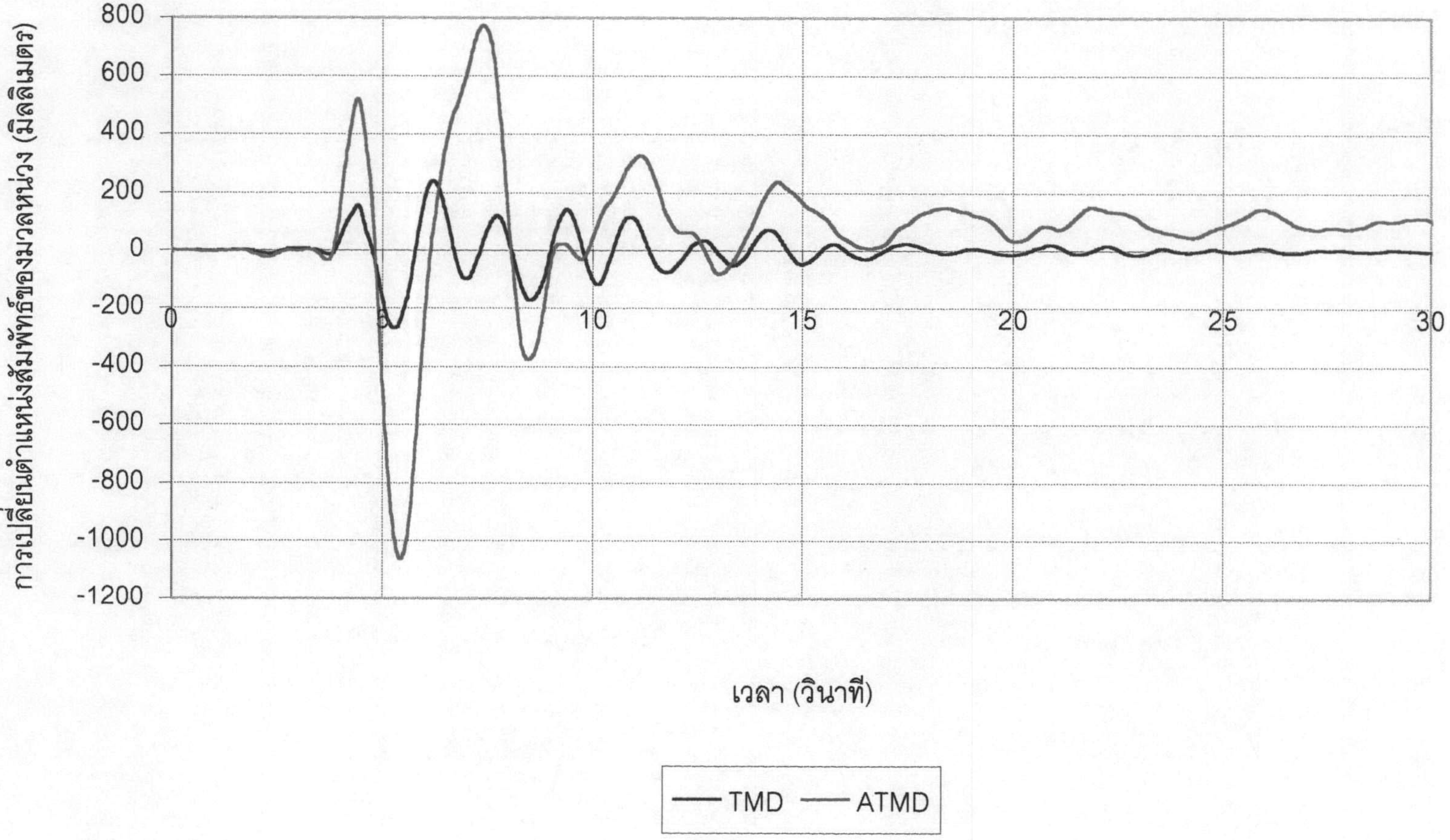
รูปที่ จ.4 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



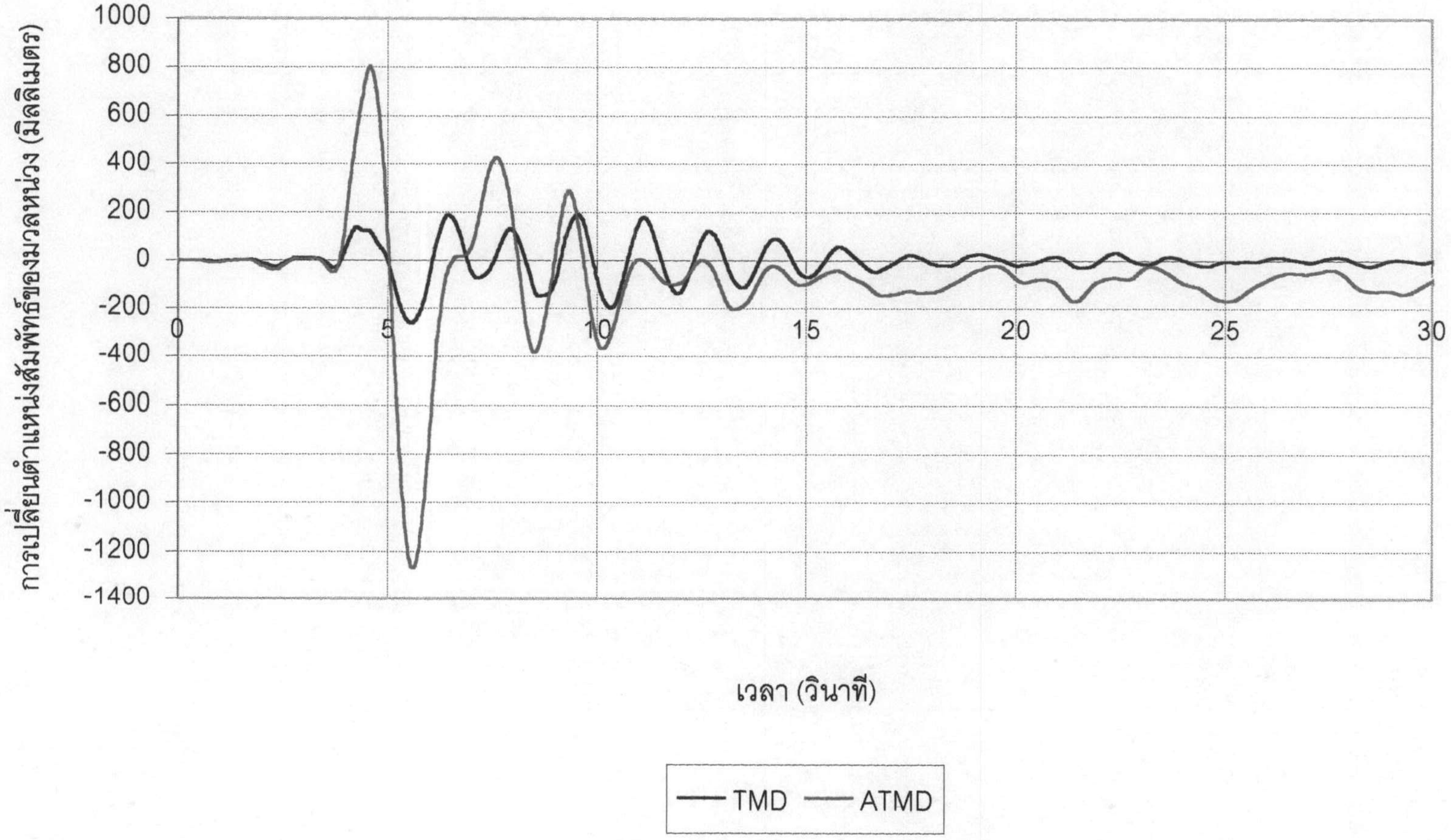
รูปที่ จ.5 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



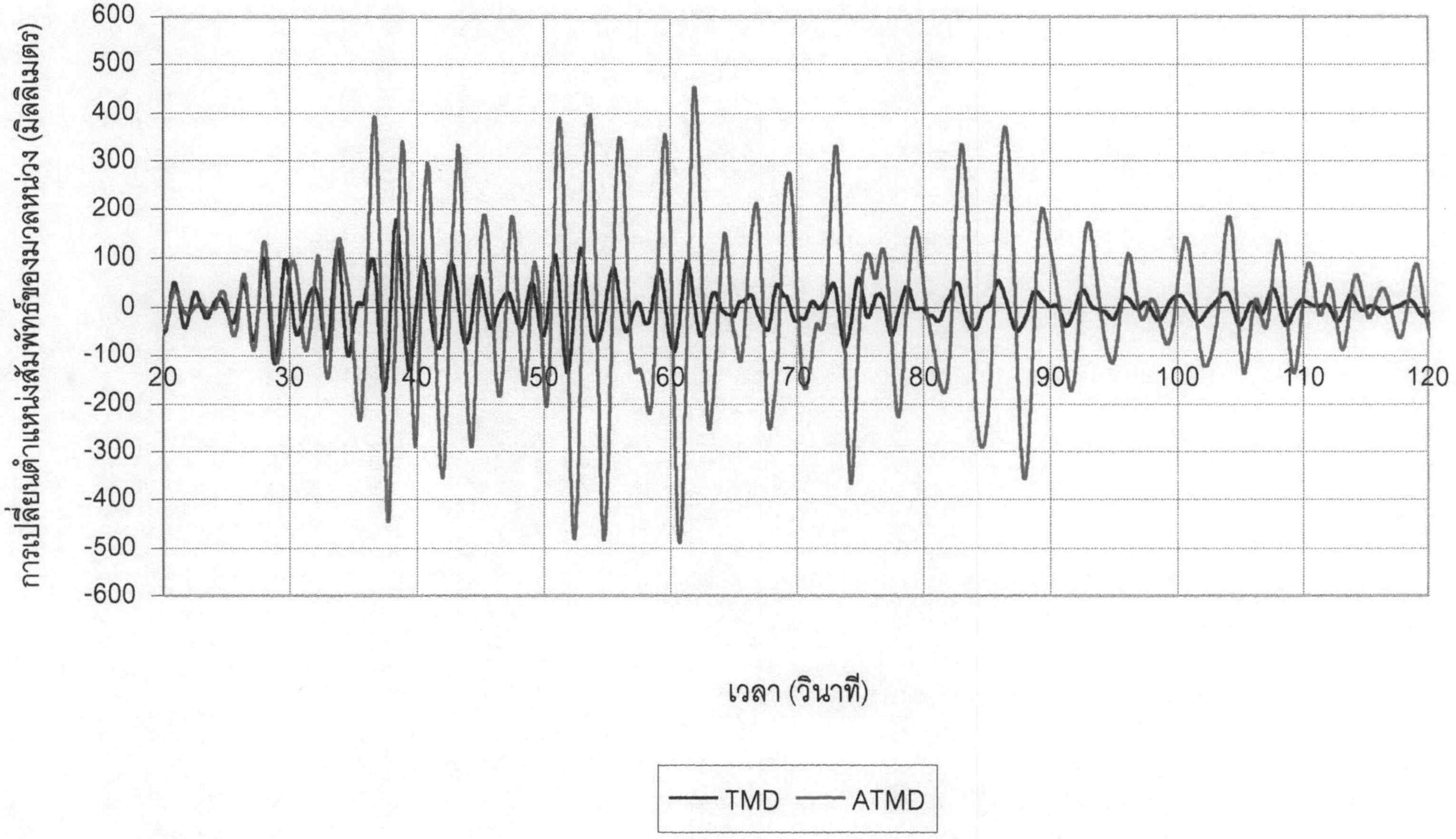
รูปที่ จ.6 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



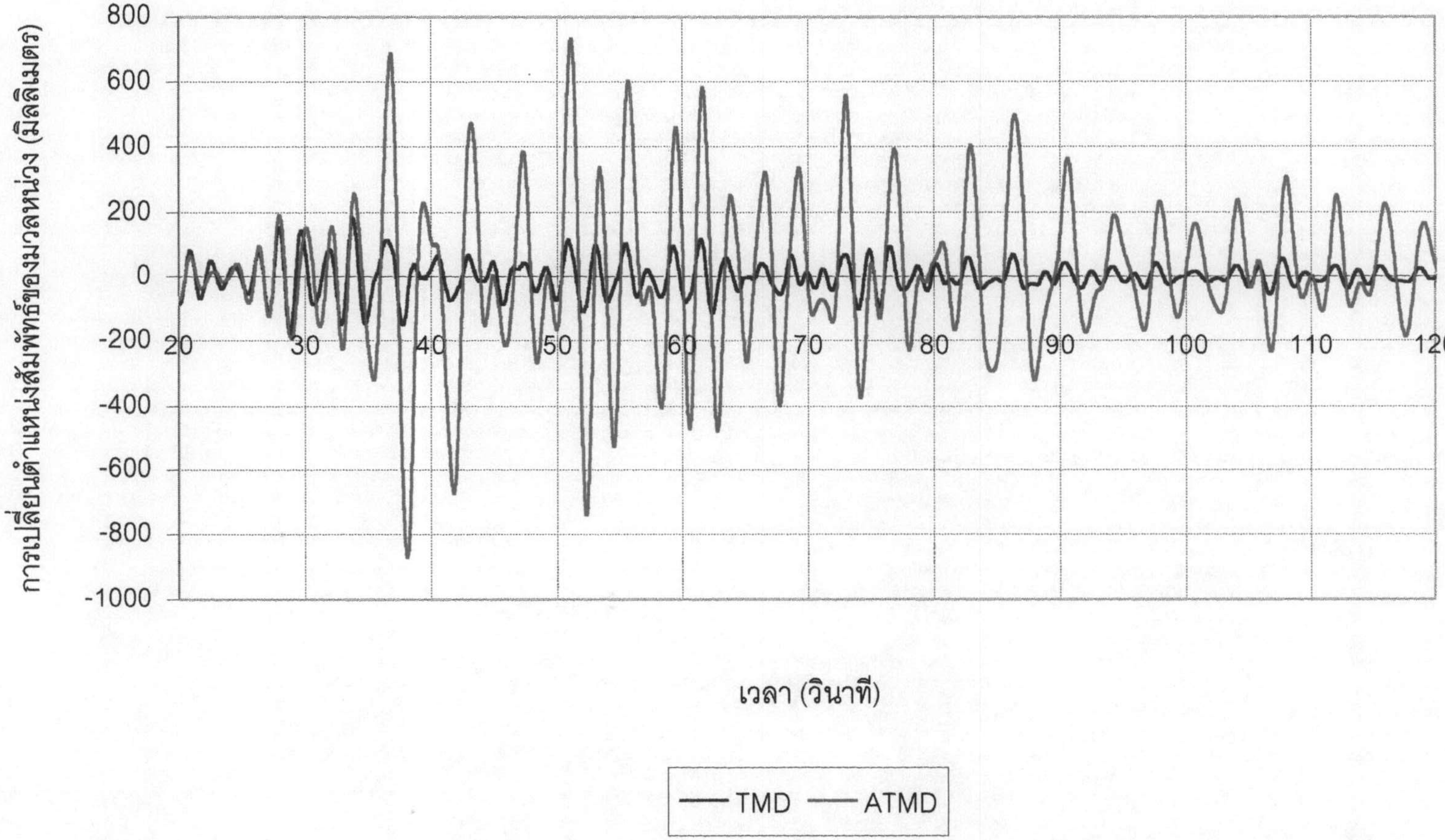
รูปที่ จ.7 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



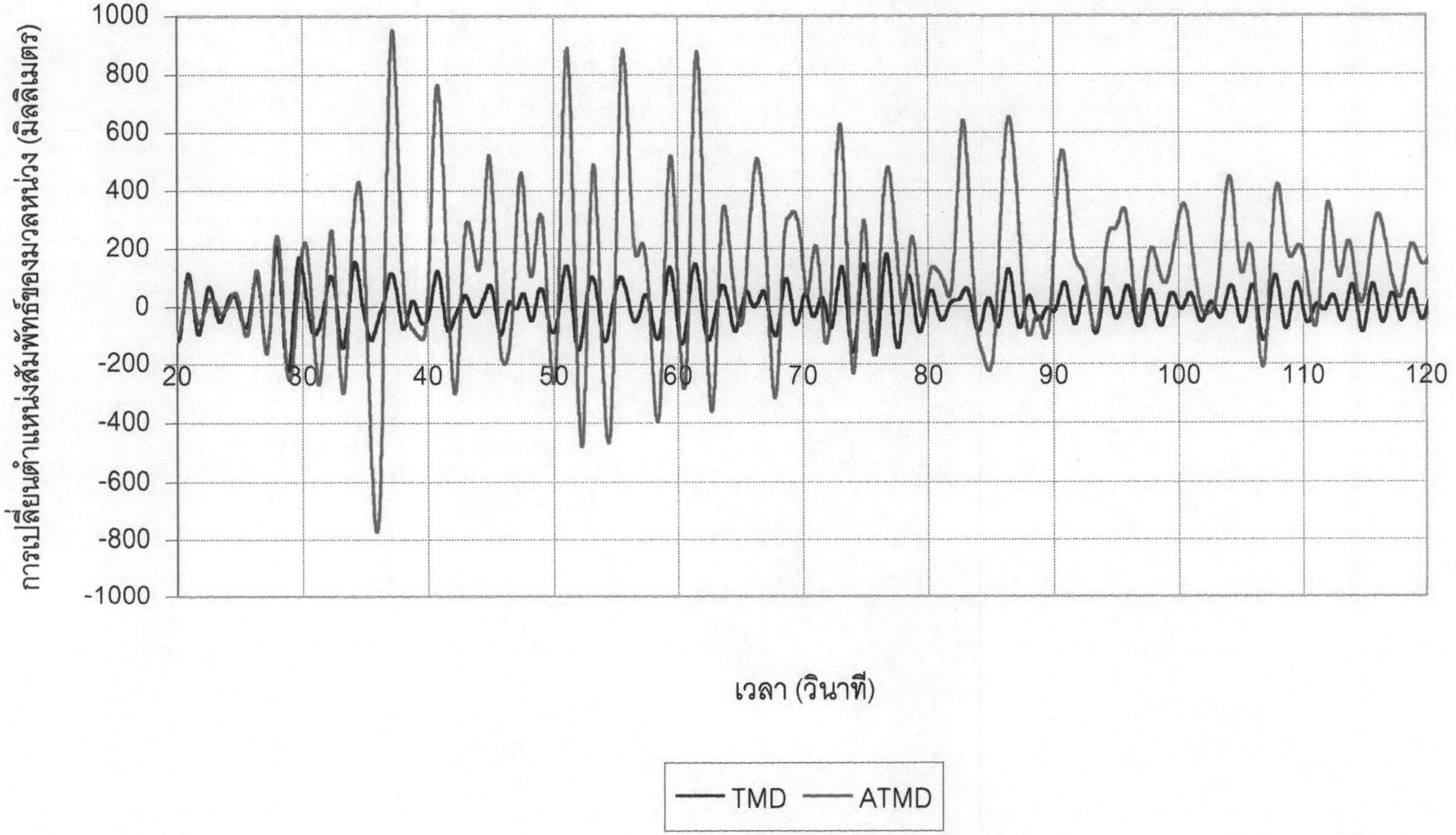
รูปที่ จ.8 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



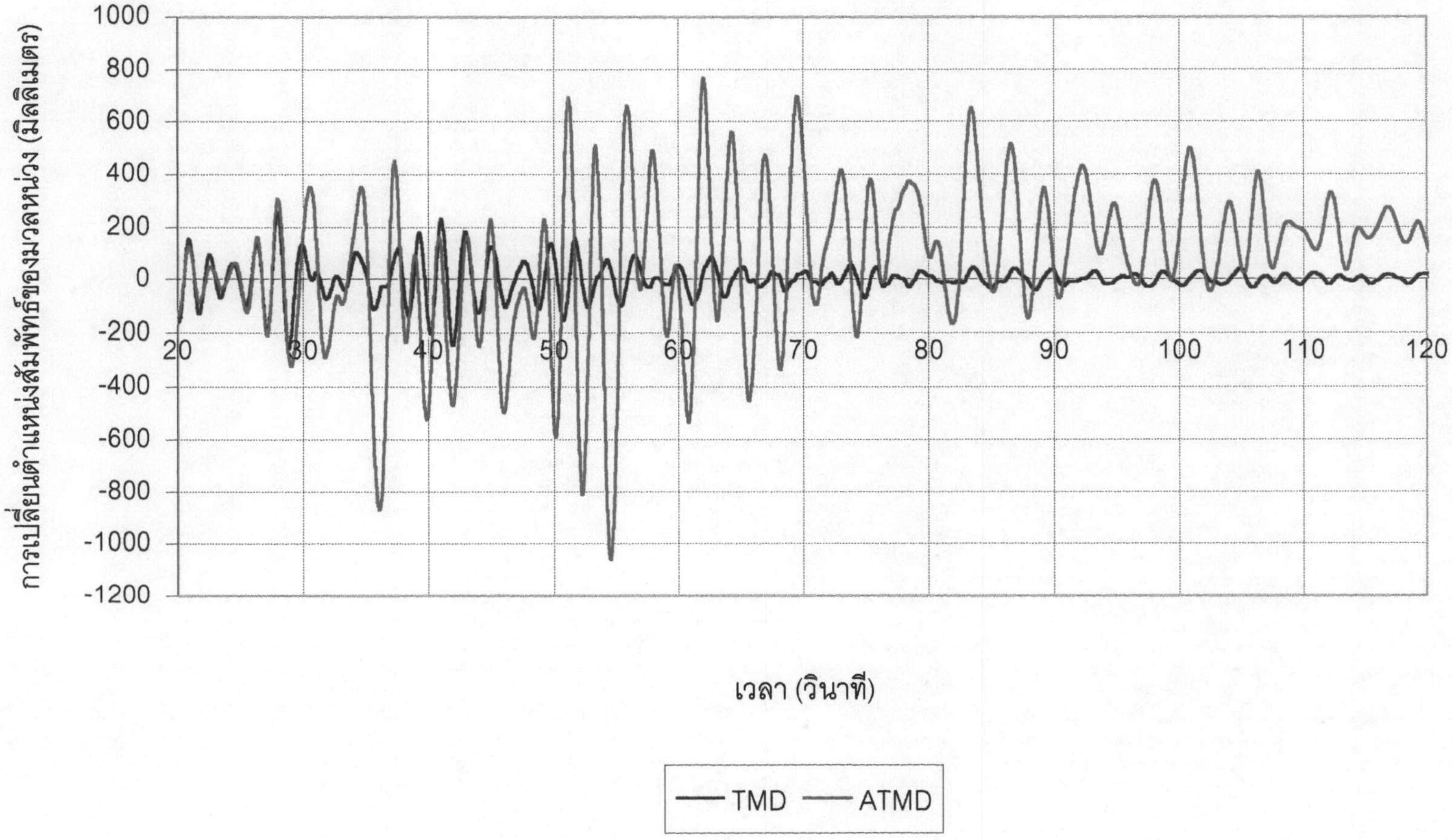
รูปที่ จ.9 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ จ.10 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.08 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



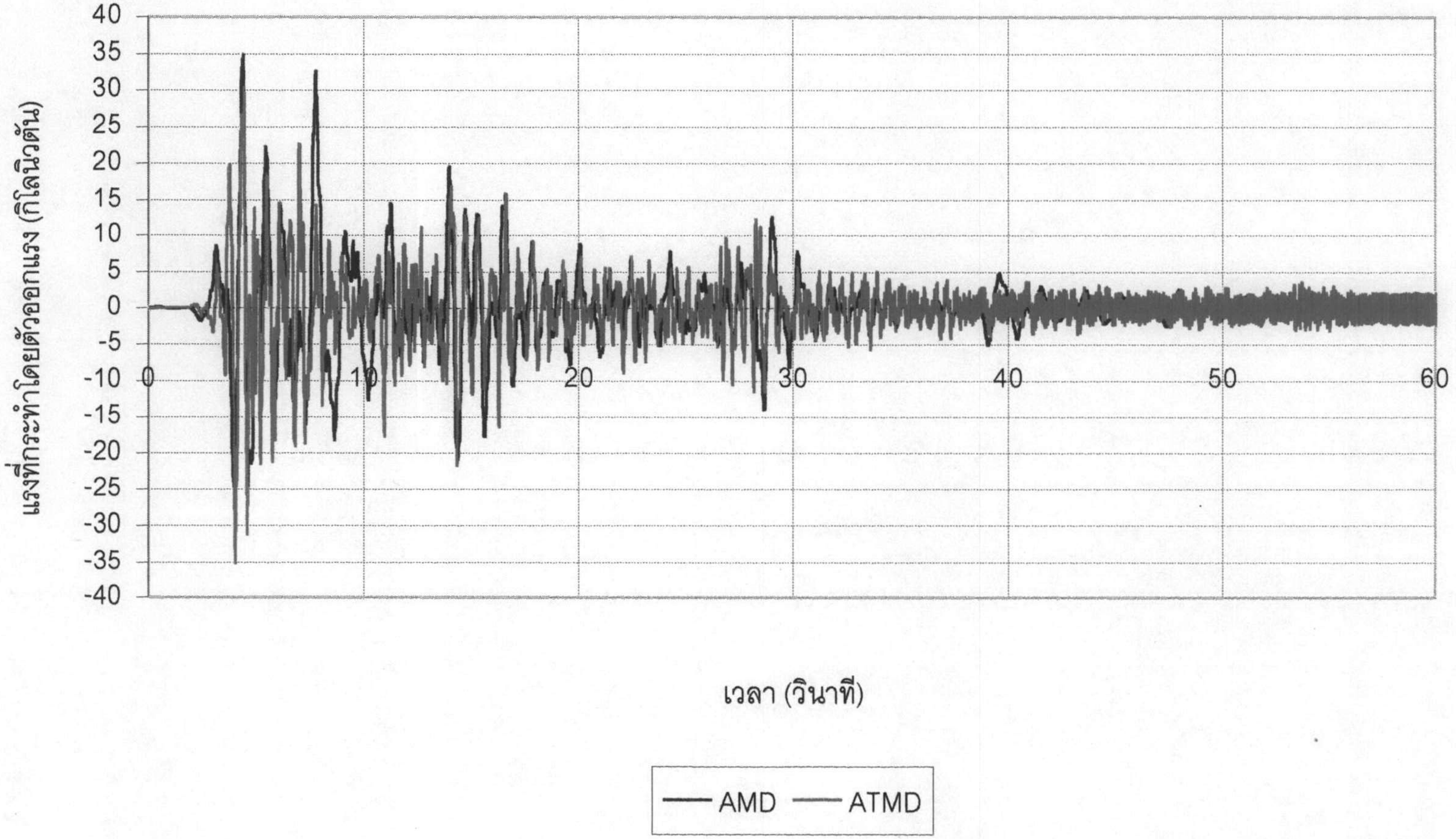
รูปที่ จ.11 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.11 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



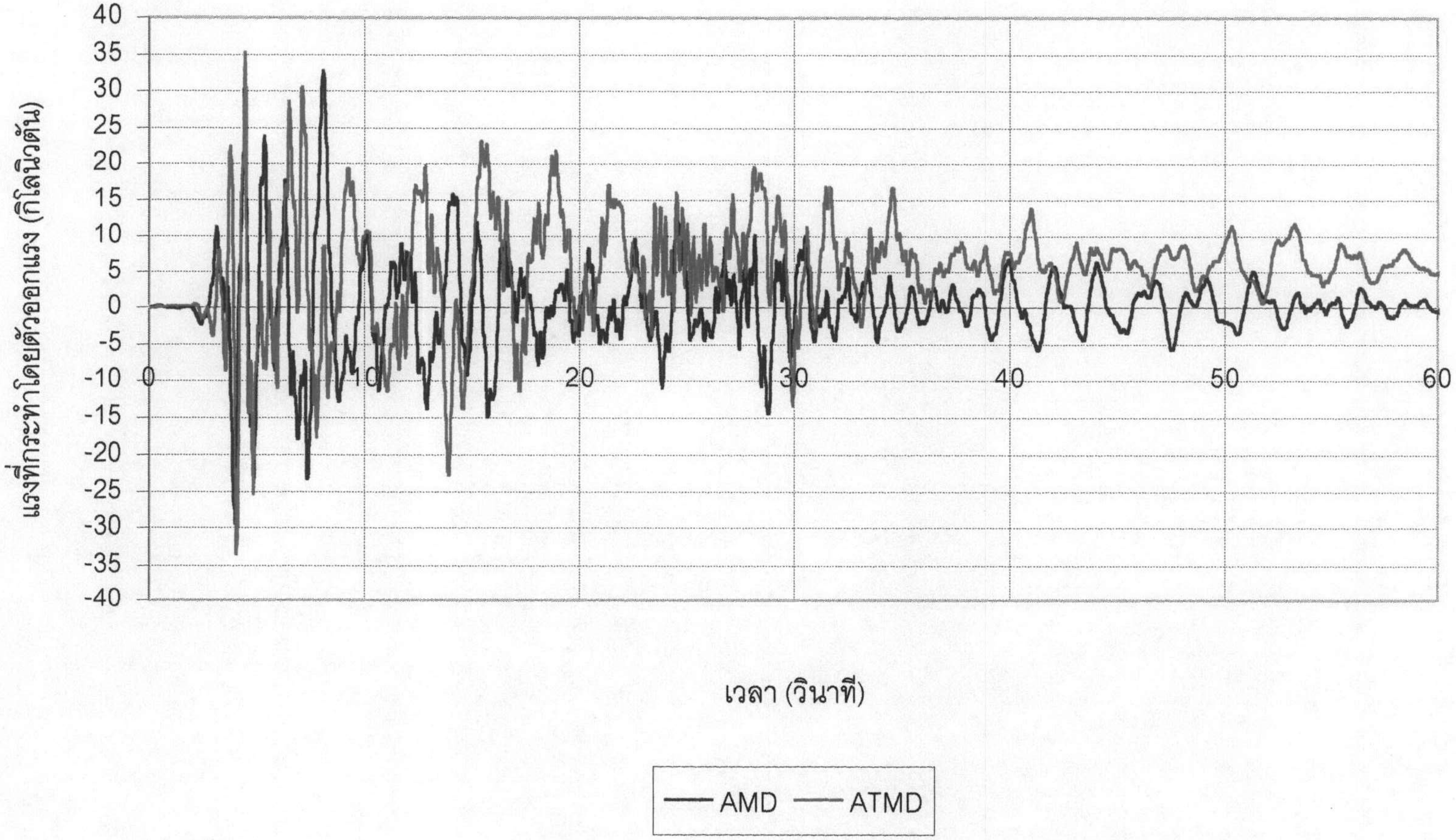
รูปที่ จ.12 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของมวลหน่วง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาคผนวก ฉ
รูปการออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว

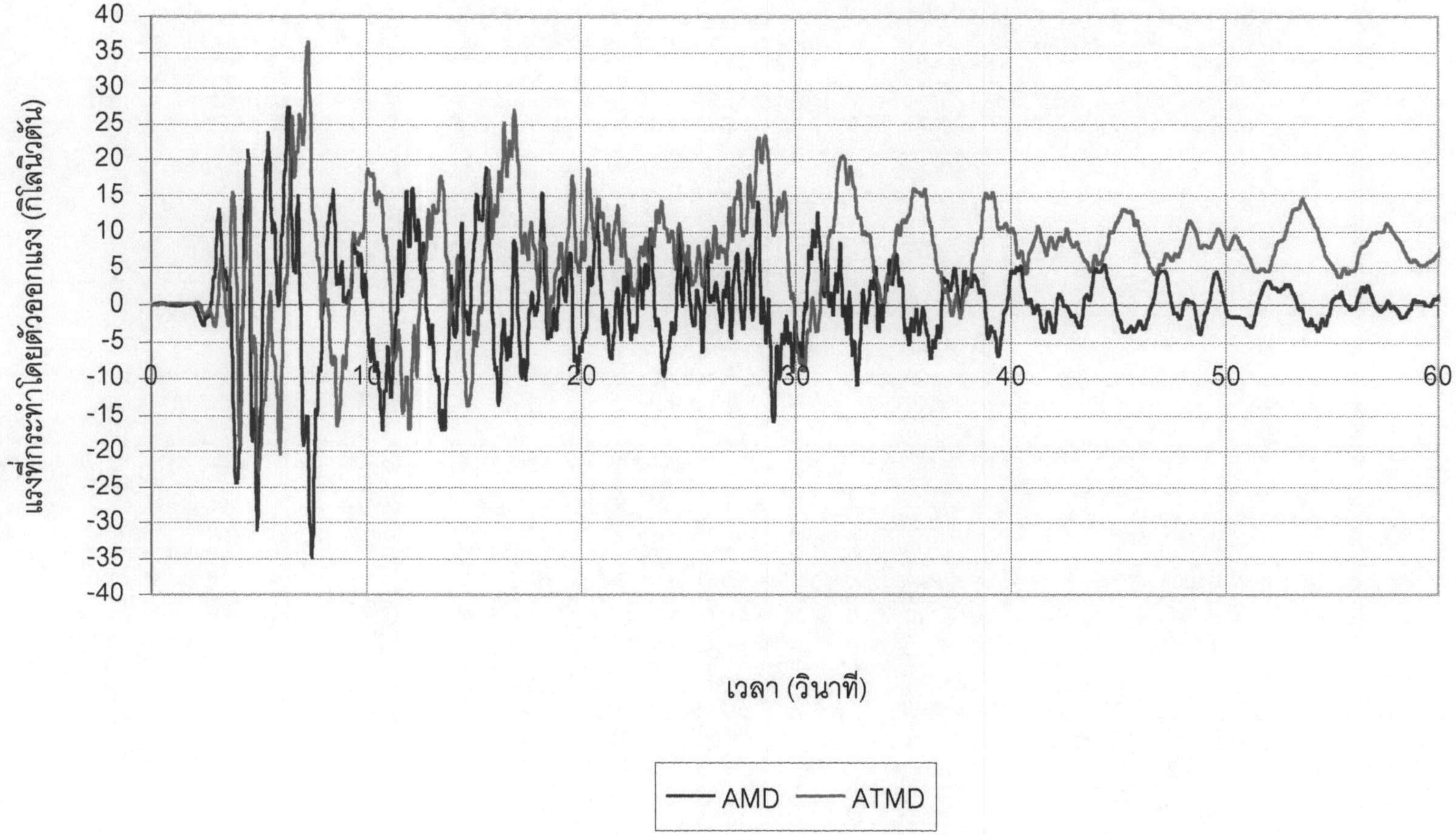
ในภาคผนวก ฉ. นี้จะแสดงรูปการออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย โดยที่คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และ Northridge จะแสดงตั้งแต่วินาทีแรกของคลื่นแผ่นดินไหวจนถึงวินาทีสุดท้ายของคลื่นแผ่นดินไหว ส่วนคลื่น SCT จะแสดงตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 120 เนื่องจากนอกเหนือเวลาดังกล่าวนี้คลื่นแผ่นดินไหวมีค่าน้อยทำให้การออกแรงมีค่าน้อย และถ้าแสดงการออกแรงที่ทุกวินาทีจะทำให้การหาค่าจากรูปทำได้ลำบาก



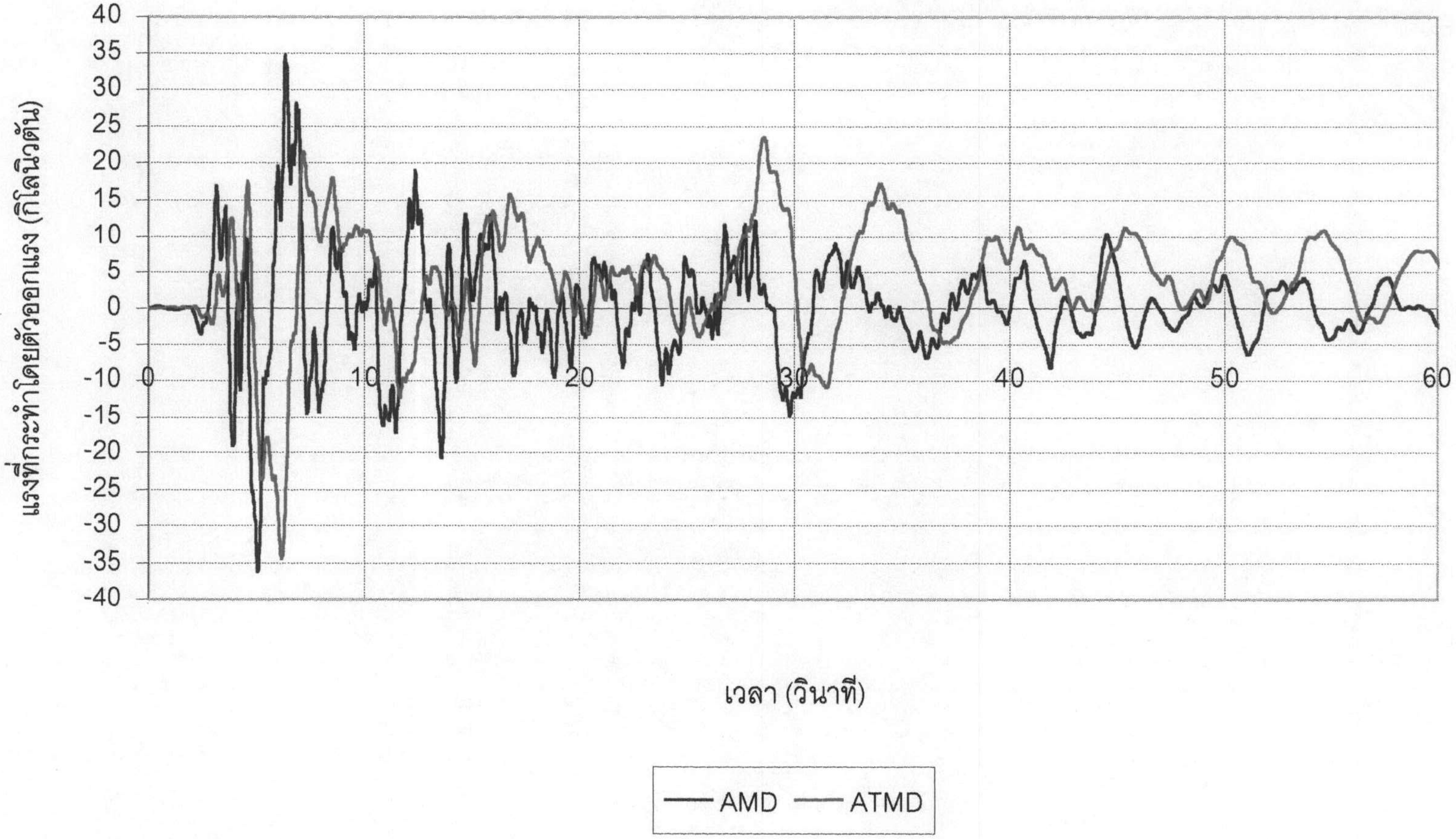
รูปที่ ฉ.1 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



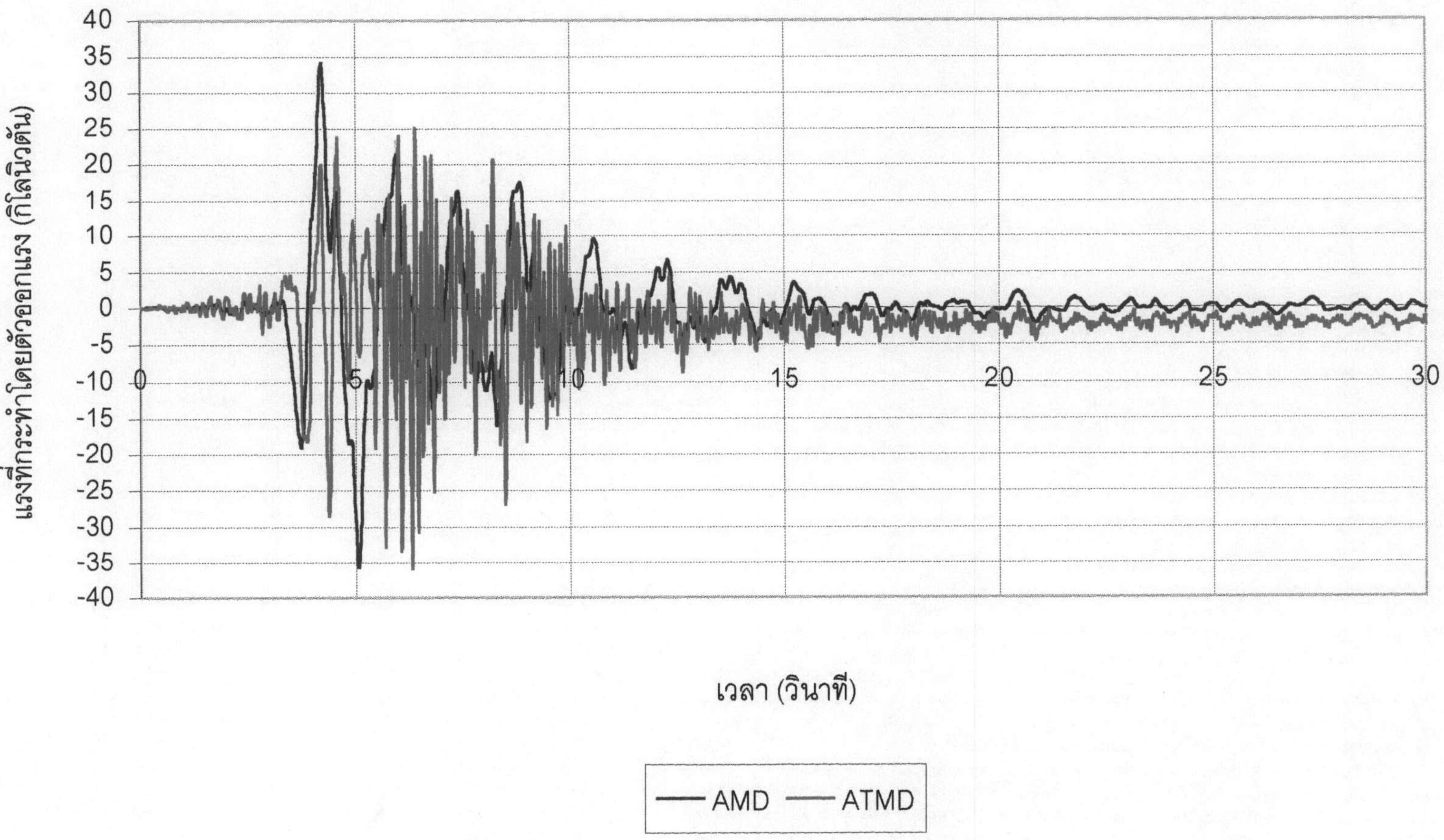
รูปที่ ฉ.2 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



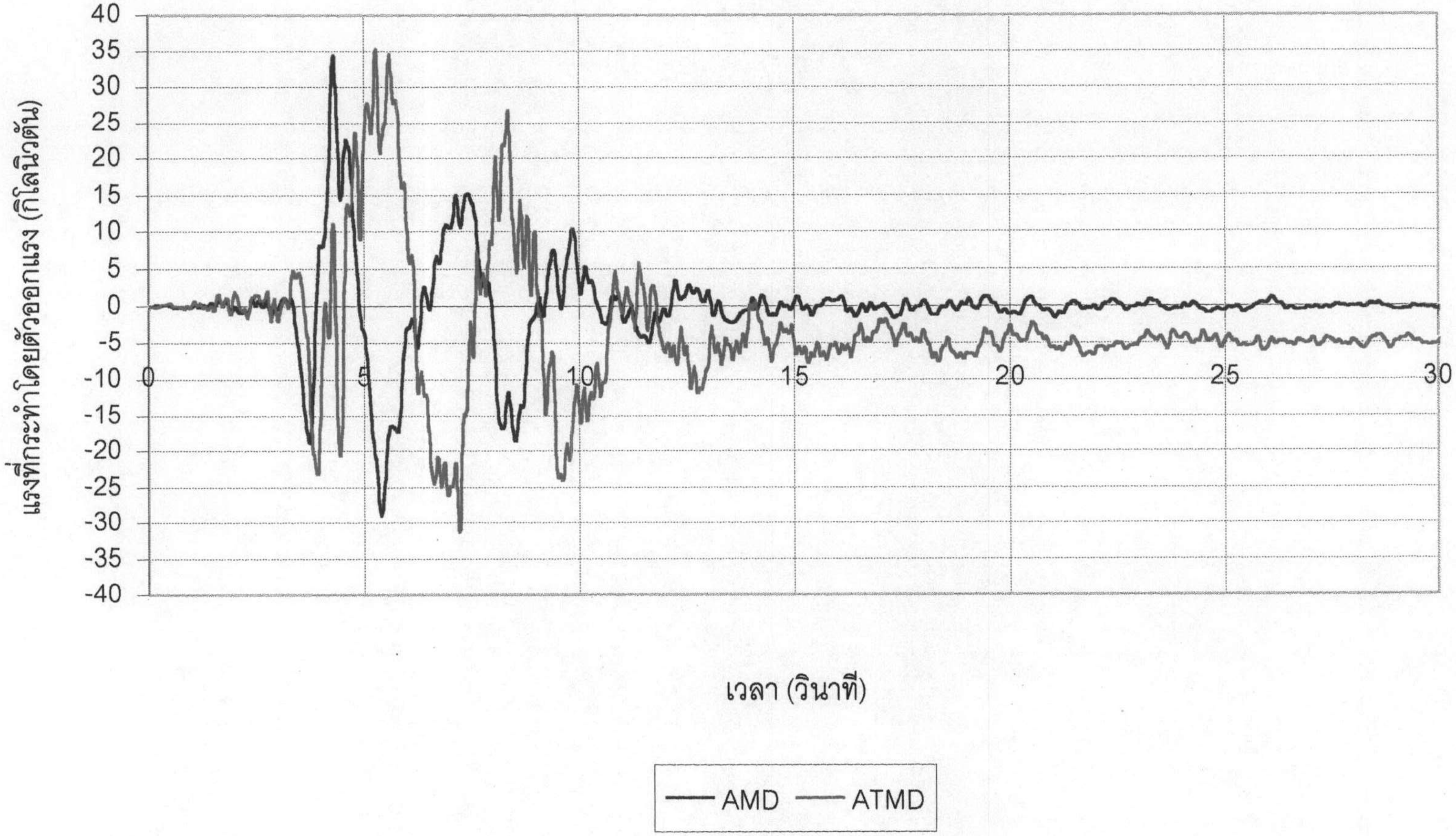
รูปที่ ฉ.3 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



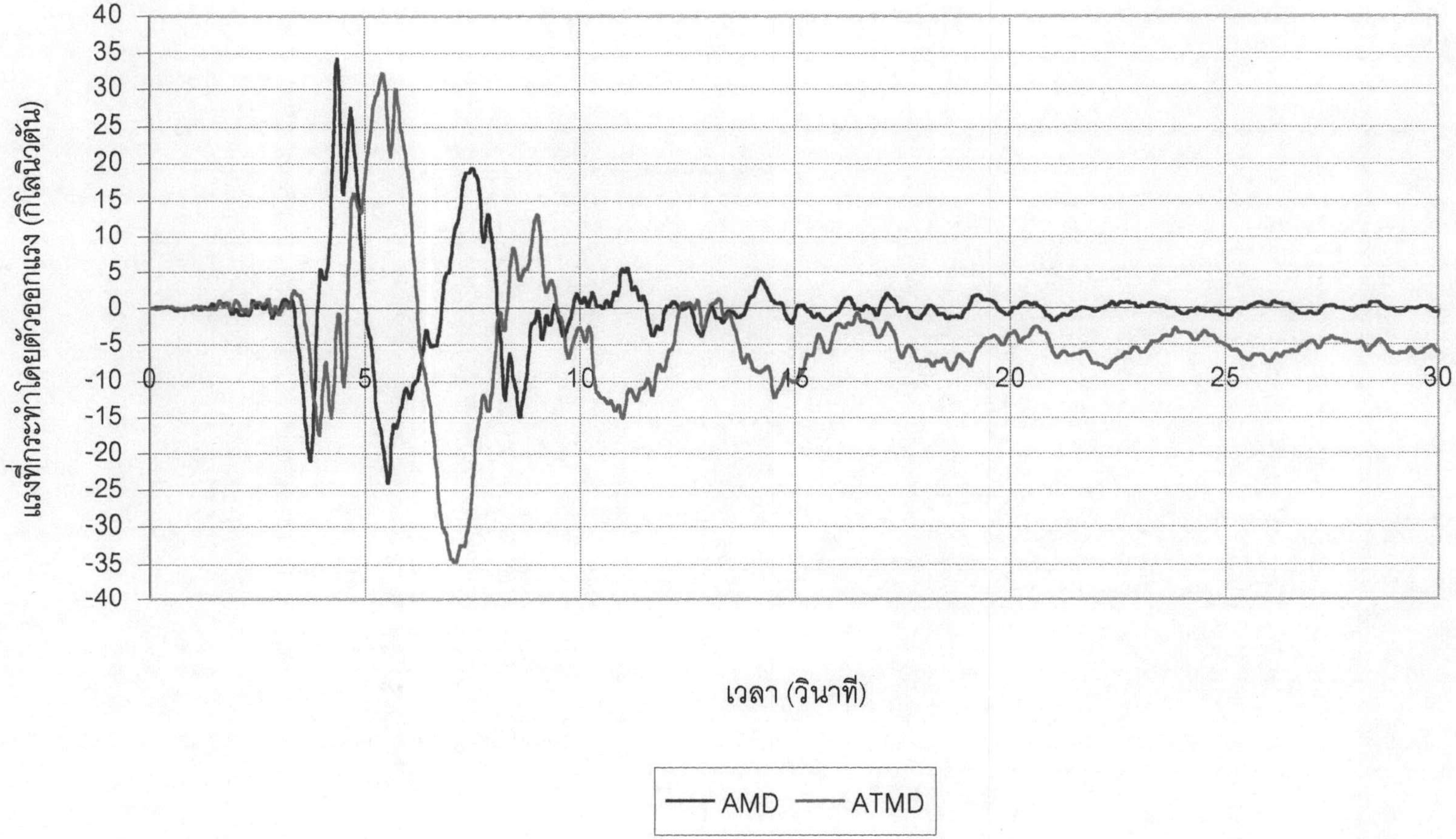
รูปที่ ฉ.4 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



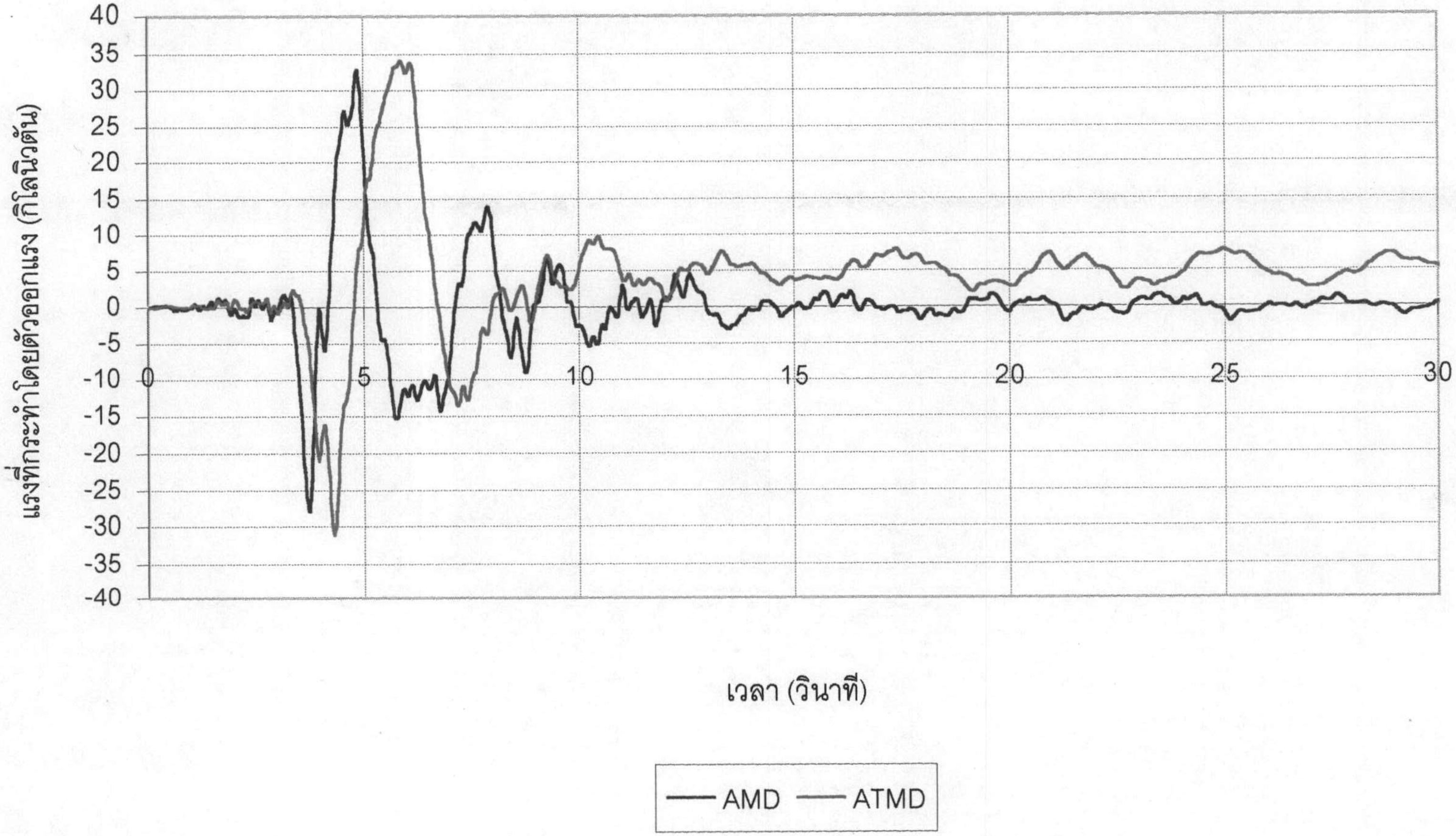
รูปที่ ฉ.5 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



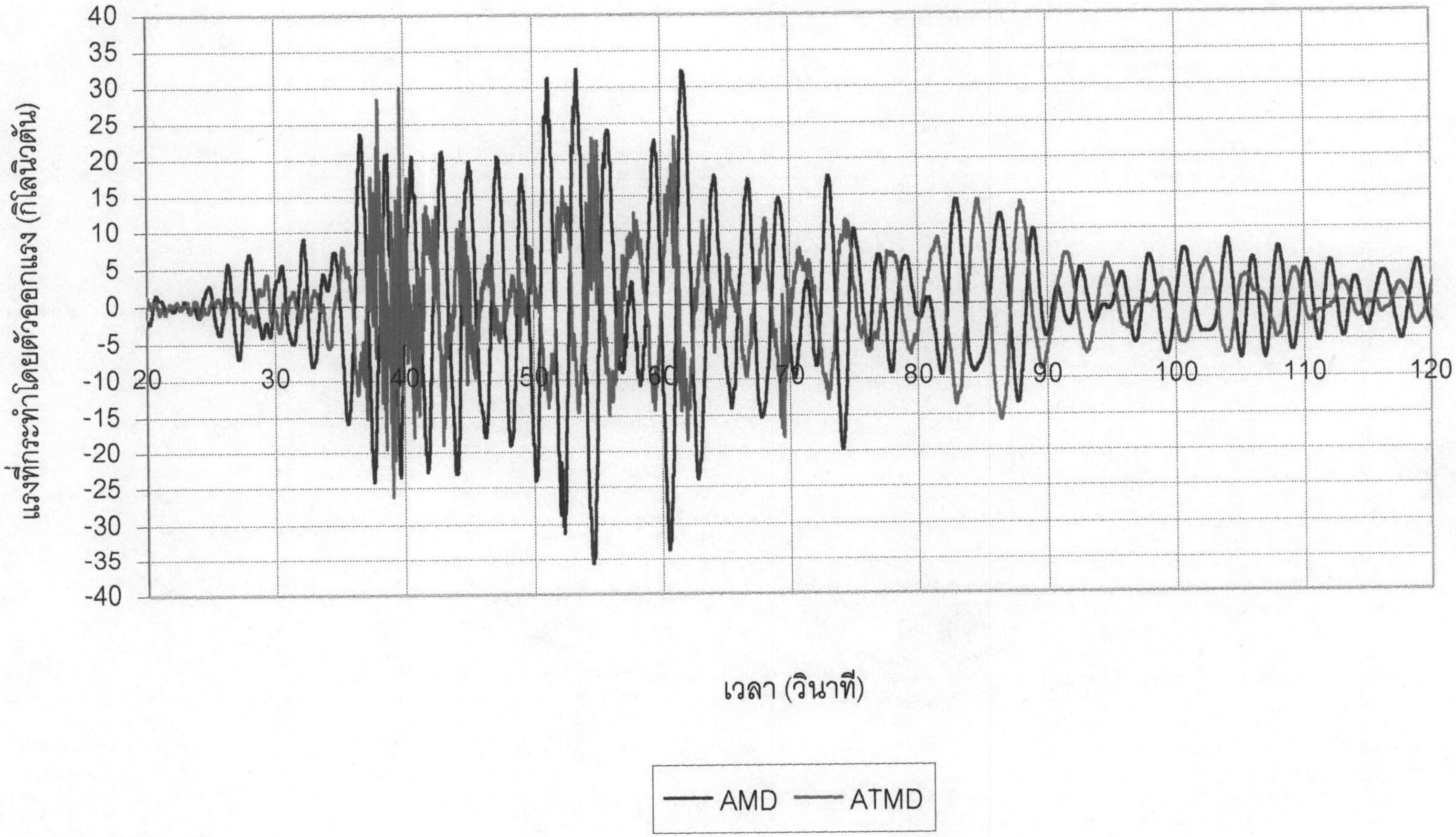
รูปที่ ฉ.6 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



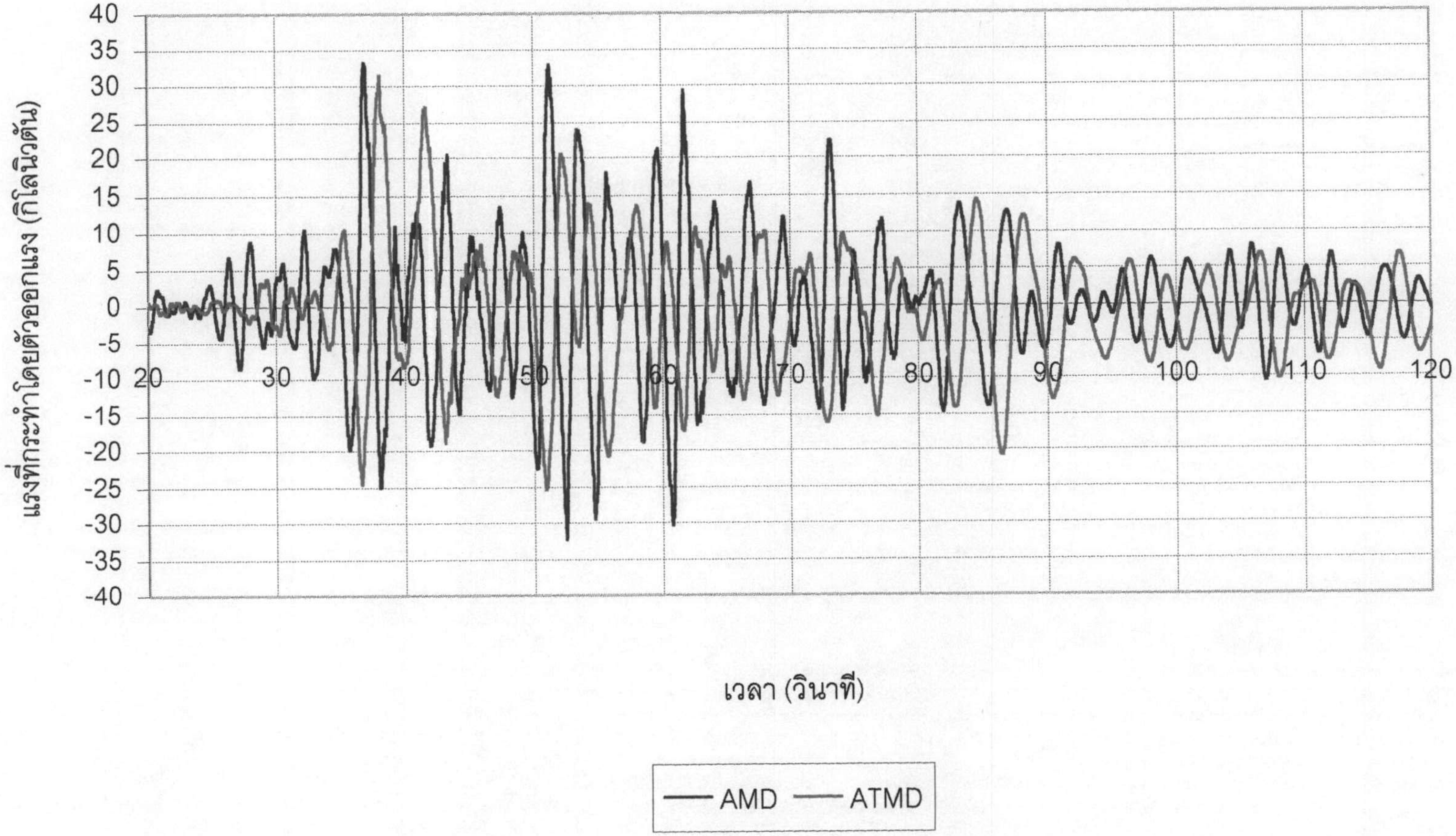
รูปที่ ฉ.7 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



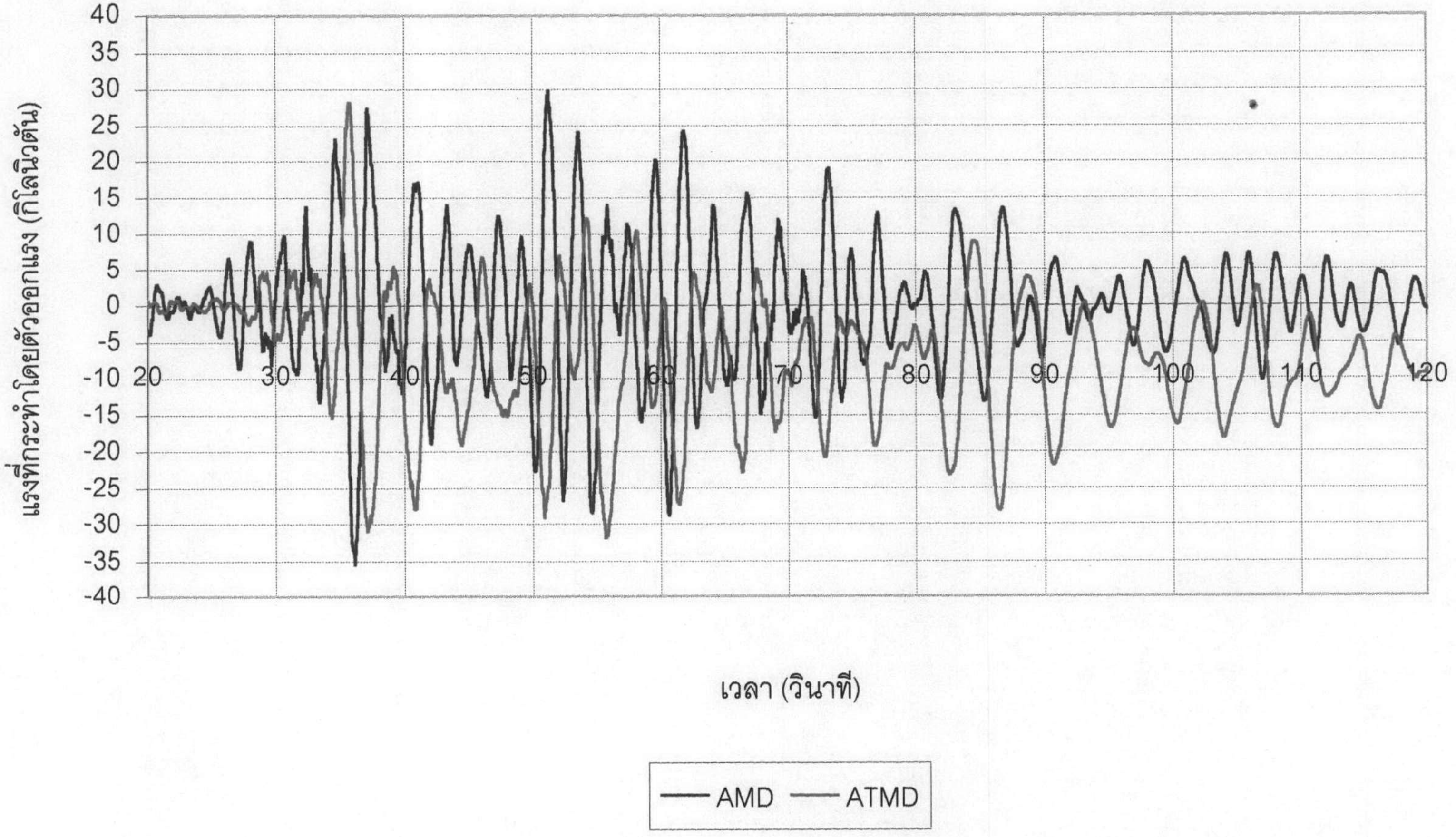
รูปที่ ฉ.8 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Northridge ขนาด 0.85 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



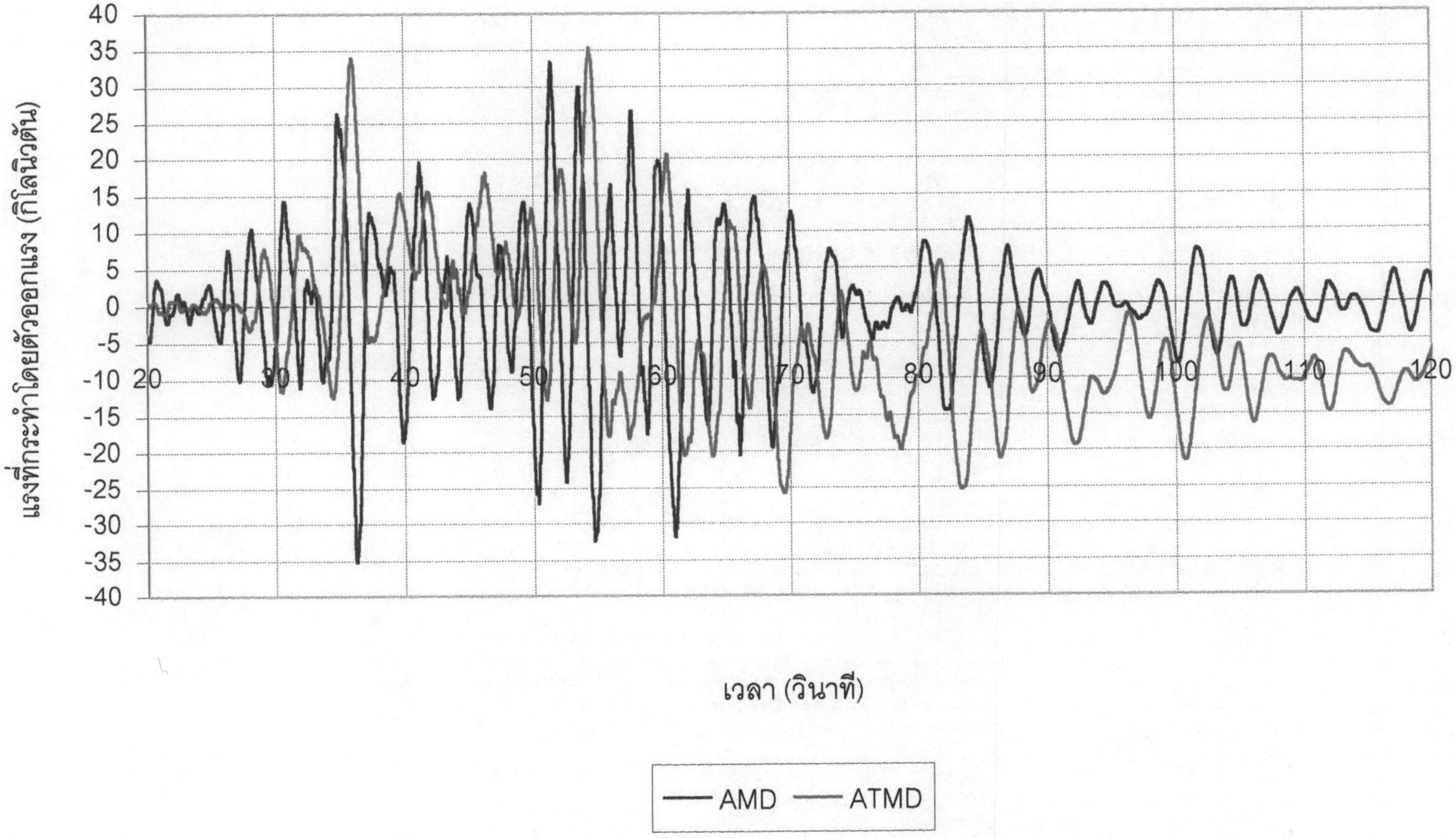
รูปที่ ฉ.9 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ ฉ.10 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.08 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ ฉ.11 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.11 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ ฉ.12 การออกแรงโดยตัวออกแรง ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาด 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพินิต บุญยัง เกิดเมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2521 ที่กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของรองศาสตราจารย์มานัส บุญยัง ซึ่งรับราชการอยู่ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กับอาจารย์พรรชี บุญยัง ซึ่งรับราชการอยู่ที่โรงเรียนเทพลีลา กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้เริ่มเข้ารับการศึกษาในระดับชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลพิบูลเวศม์ เขตพระโขนง กรุงเทพฯ และศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเมื่อปีการศึกษา 2537 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จบการศึกษาเมื่อปีการศึกษา 2541 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทเมื่อปีการศึกษา 2542