

บทที่ 4

การทดสอบคุณสมบัติของสนามแรงที่มีอยู่

จากงานวิจัยเกี่ยวกับสนามแรงที่กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา เป็นที่น่าสังเกตว่า สนามแรงรูปแบบต่างๆ ที่ได้มีการนำเสนอมานั้น ผู้นำเสนอเน้นประเด็นความเป็นไปได้ในการทำให้วัตถุเข้าสู่ภาวะสมดุลเท่านั้น แต่ไม่ได้กล่าวถึงคุณสมบัติอื่นๆ ถ้าหากมีการนำสนามแรงไปใช้งาน เช่น ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่เข้าสู่ภาวะสมดุล เป็นต้น ทั้งนี้ เหตุผลส่วนหนึ่งน่าจะเป็นเพราะการที่ยังไม่สามารถสร้างเครื่องมือที่สามารถสร้างสนามแรงได้ตามที่ออกแบบ เพื่อทำการทดสอบการจัดวัตถุจริงๆ ก็เป็นไปได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการจัดวัตถุด้วยสนามแรงรูปแบบต่างๆ ดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่ได้พัฒนาขึ้น (ตามที่ได้อธิบายในรายละเอียดไปแล้วในบทที่ผ่านมา) ทั้งนี้ การทดสอบจะกระทำใน 2 แนวทาง คือ

- การทดสอบในแง่ของ configuration ที่เป็นไปได้ที่ภาวะสมดุล ว่าเป็นไปตามทฤษฎีของแต่ละสนามแรงหรือไม่ประการใด
- การทดสอบในแง่ของเวลาที่แต่ละสนามแรงใช้ในการจัดวัตถุจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ว่าใช้เวลามากน้อยเพียงใด

4.1 ข้อมูลวัตถุและภาวะแวดล้อมสำหรับการทดสอบสนามแรง

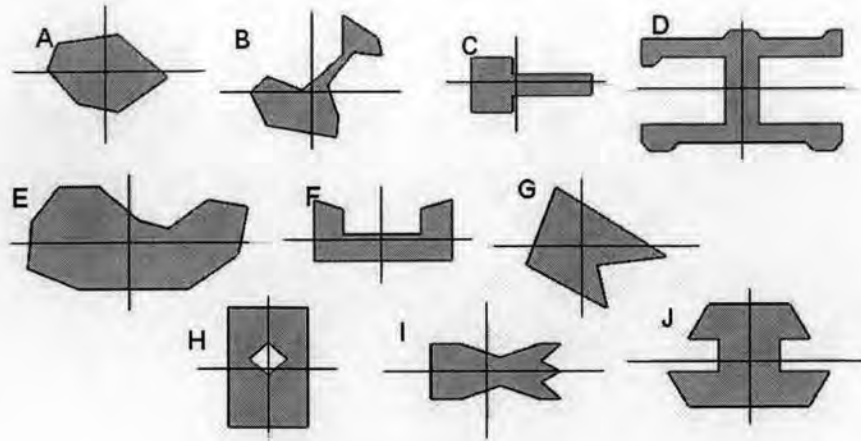
ในการทดสอบ เราได้เลือกเอาสนามแรงที่มีรูปแบบของภาวะสมดุลที่มีเสถียรภาพเป็นจำนวนคงที่ไม่ขึ้นกับวัตถุ ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

- Elliptic Field
- Unit Radial & Constant Field
- Unit Radial, Radial & Constant Field

โดยจะทำการทดสอบกับวัตถุหลายๆ รูปแบบ ดังที่เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งวัตถุแต่ละชิ้นมีขนาดอยู่ในกรอบขนาด 20×20 ตารางหน่วย (ในขณะที่พื้นที่ของระนาบสนามแรง มีขนาด 200×200 ตารางหน่วย)

อนึ่ง ในส่วนของค่าตัวแปรภาวะแวดล้อมต่างๆ นั้น ก็ได้ทำการตั้งค่าภาวะแวดล้อมให้เป็นอย่างเดียวกันตลอดทุกการทดสอบ กล่าวคือ ให้ค่าความหนาแน่นของวัตถุต่อพื้นที่เป็น 0.1 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานใน Viscous Model เป็น 0.05 สำหรับการทดสอบกับทุกสนามแรง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระหว่างแต่ละสนามแรงได้โดยตรง

นอกจากนี้ ในการทดสอบแต่ละครั้งนั้น ค่า configuration เริ่มต้นของวัตถุ จะได้มาจากการสุ่มค่าตำแหน่งและทิศทางภายในระนาบสนามแรง ให้มีค่าต่างๆ กันไปหลายๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ configu-



รูปที่ 4.1: วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสนามแรง

ration เริ่มต้นที่กระจายตัวอยู่ทั่วระนาบสนามแรง แล้วจึงนำผลที่ได้จากการทดสอบเหล่านั้นมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสนามแรง เพื่อให้ผลที่ได้น่าเชื่อถือและเป็นจริงสำหรับกรณีทั่วไป

4.2 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Elliptic Field

4.2.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้

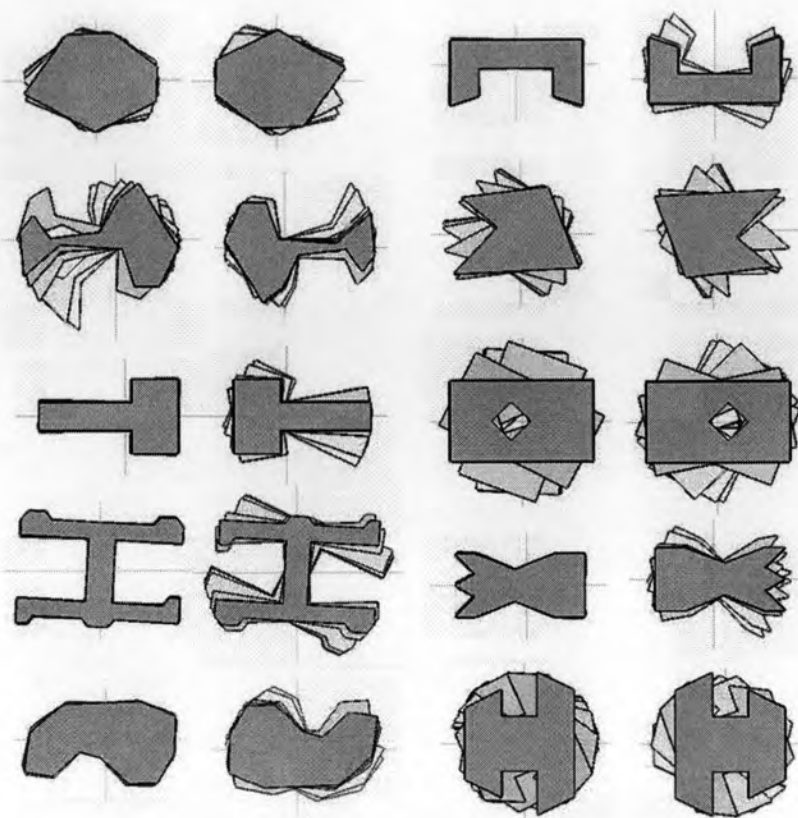
เราได้ทำการทดสอบจำลองสถานการณ์การจัดวัตถุด้วย Elliptic Field โดยในการทดสอบ ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ $\xi = 1$ และ $\eta = 2$

ผลการทดสอบ พบว่า วัตถุสามารถเคลื่อนที่และหมุนเข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุลได้ โดยตำแหน่งศูนย์กลางมวลของวัตถุจะอยู่ที่ศูนย์กลางของสนามแรง ทิศทางของวัตถุ ก็มีอยู่เพียง 2 ทิศทางสำหรับทุก วัตถุ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ จากการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่า ξ, η ไป ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อทิศทางของ configuration ที่เข้าสู่ภาวะสมดุลของวัตถุแต่อย่างใด (ตราบเท่าที่ $\xi < \eta$ สำหรับกรณีนี้) ตรงตามที่ได้มีการนำเสนอไว้ใน [9]

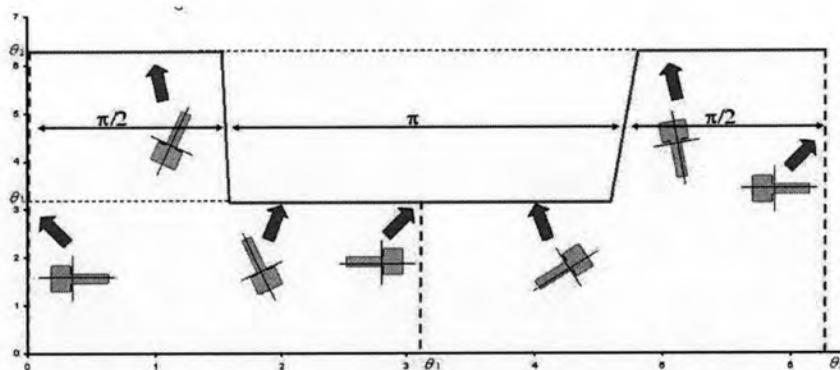
นอกจากนี้ จากการทดสอบยังพบลักษณะที่น่าสนใจอย่างยิ่ง กล่าวคือ ทิศทางที่เป็นไปได้ทั้ง 2 ทิศทางของแต่ละวัตถุ ซึ่งไม่อาจทำนายได้ว่าวัตถุจะเลือกเข้าสู่ภาวะสมดุลแบบใดนั้น มีแนวโน้มว่าจะมีความสัมพันธ์กับทิศทางของ configuration เริ่มต้นของวัตถุ ดังเช่นตัวอย่างในรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของทิศทางของ configuration เริ่มต้น กับทิศทางของ configuration ที่ภาวะสมดุลของวัตถุ ตัวอย่าง C จะเห็นว่า วัตถุจะเลือกเข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุลที่มีทิศทาง "ใกล้เคียง" กับทิศทางตอนเริ่มต้นเสมอ ทั้งนี้ ในกรณีของวัตถุอื่นๆ ก็ให้กราฟในลักษณะเดียวกัน ซึ่งคุณลักษณะนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์และเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบชุดสนามแรงใหม่ในบทความต่อไป

4.2.2 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้

จากการทดสอบโดยการสุ่ม configuration เริ่มต้นสำหรับการจัดวัตถุต่างๆ ทั้ง 10 รูปแบบดังกล่าวข้างต้น เมื่อทำการวัดค่าเวลาที่ใช้ในการจัดวัตถุตั้งแต่เริ่มต้นจนวัตถุหยุดที่ภาวะสมดุลจากการทดสอบใน



รูปที่ 4.2: ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Elliptic Field



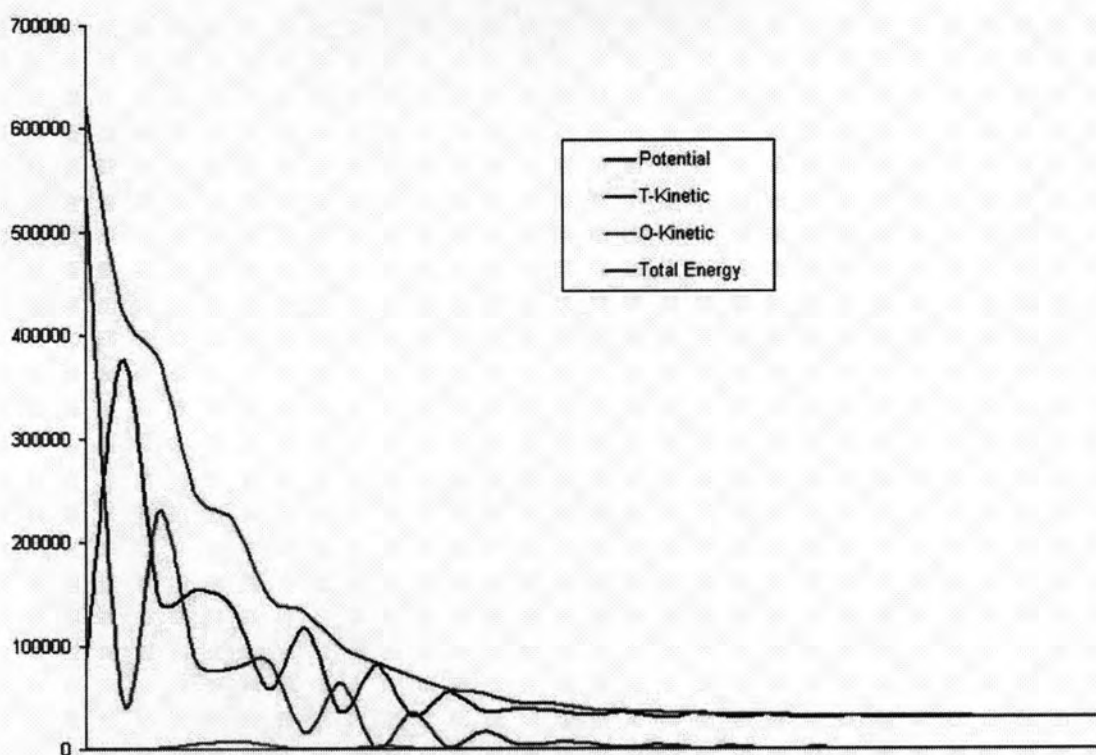
รูปที่ 4.3: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทิศทาง θ_1 ตอนเริ่มต้น กับทิศทางที่ภาวะสมดุลของวัตถุ ภายใต้ Elliptic Field

แต่ละครั้ง แล้วหาค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบ ก็จะได้ผลดังที่ปรากฏในตาราง 4.1

นอกจากนี้ เมื่อลองพิจารณาจากกราฟการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัตถุภายใต้ Unit Radial & Constant Field ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.4 แล้ว จะเห็นว่าพลังงานกลรวมของวัตถุจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเวลา จนกระทั่งมีค่าต่ำสุด ณ ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ไม่เป็น 0 ซึ่งค่าดังกล่าวก็คือ ค่าของพลังงานศักย์ของวัตถุที่คำนวณได้จาก Lifted Potential Function เมื่อวัตถุอยู่ ณ configuration ที่ภาวะสมดุลภายใต้ Elliptic Field นั้นเอง

ตารางที่ 4.1: เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Elliptic Field

วัตถุ	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (s)	S.D.
A	75.608	0.749
B	84.553	1.062
C	71.190	0.730
D	73.098	0.737
E	82.242	1.046
F	89.685	0.225
G	76.416	0.475
H	98.977	0.264
I	79.936	0.456
J	95.159	0.291



รูปที่ 4.4: ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุตามเวลา เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Elliptic Field

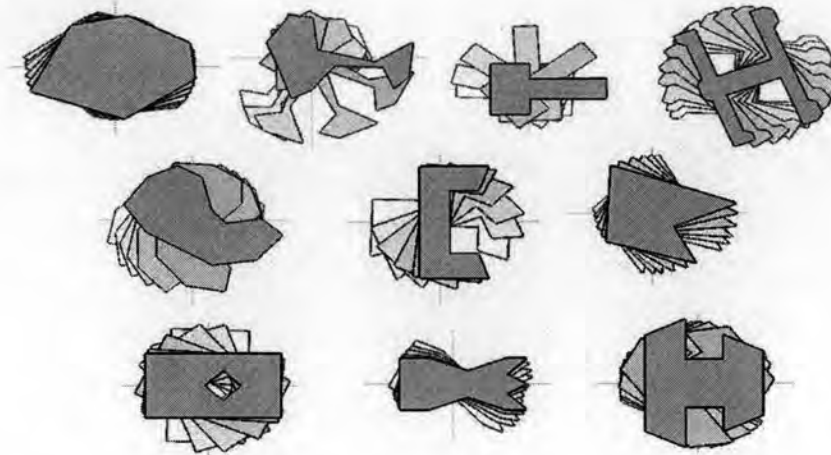
4.3 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field

4.3.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้

สำหรับการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field นั้น เราได้ทำการทดสอบจำลองสถานการณ์โดยกำหนดค่า parameter สำหรับสนามแรงเป็น

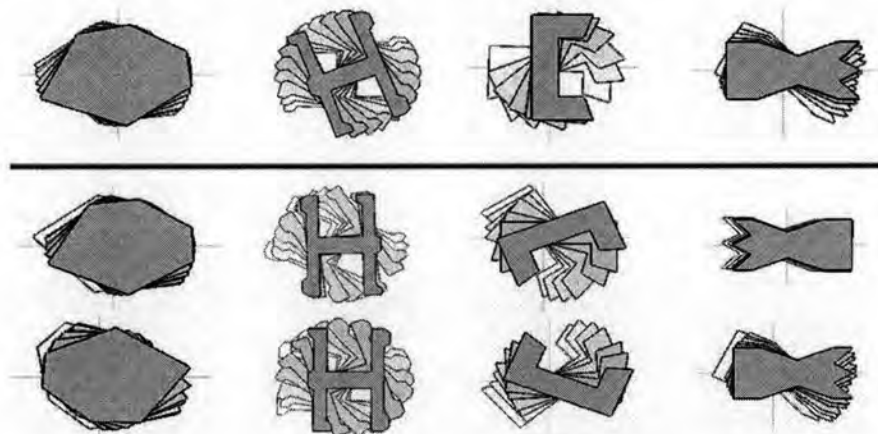
- ส่วน Unit Radial Field ให้ $h = 10.0$
- ส่วน Constant Field ให้ทิศทาง $\theta_c = 0$ ส่วนค่า c นั้น ทำการทดสอบ 2 ค่า คือ 0.2 และ 0.8

ผลการทดสอบพบว่า วัตถุสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ภาวะสมดุลได้ โดยทิศทางของวัตถุเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลมีเพียงรูปแบบเดียว ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.5 ซึ่งต่างจากกรณี Elliptic Field ที่เป็นไปได้ 2 รูปแบบ



รูปที่ 4.5: ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field ($h = 10.0, c = 0.2, \theta_c = 0$)

อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งที่วัตถุเข้าสู่ภาวะสมดุลนั้นไม่คงที่ และเปลี่ยนที่ไปตามค่าพารามิเตอร์ของสนามแรง โดยที่ไม่สามารถทำนายตำแหน่งที่แน่ชัดได้ นอกจากนี้ จากการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ c ของส่วน Constant Field เปลี่ยนไปเป็น $c = 0.8$ ทิศทางของ configuration ที่วัตถุหยุดเมื่อเข้าสู่สมดุลสำหรับบางวัตถุ กลับกลายเป็นมีมากกว่า 1 ทิศทาง และไม่สามารถทำนายได้อีกด้วยว่าจะเป็นรูปแบบใด ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.6 ซึ่งตรงดั่งที่มีกล่าวเอาไว้ใน [11] อีกเช่นกัน



รูปที่ 4.6: ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field ที่เปลี่ยนไป ($h = 10.0, c = 0.8, \theta_c = 0$)

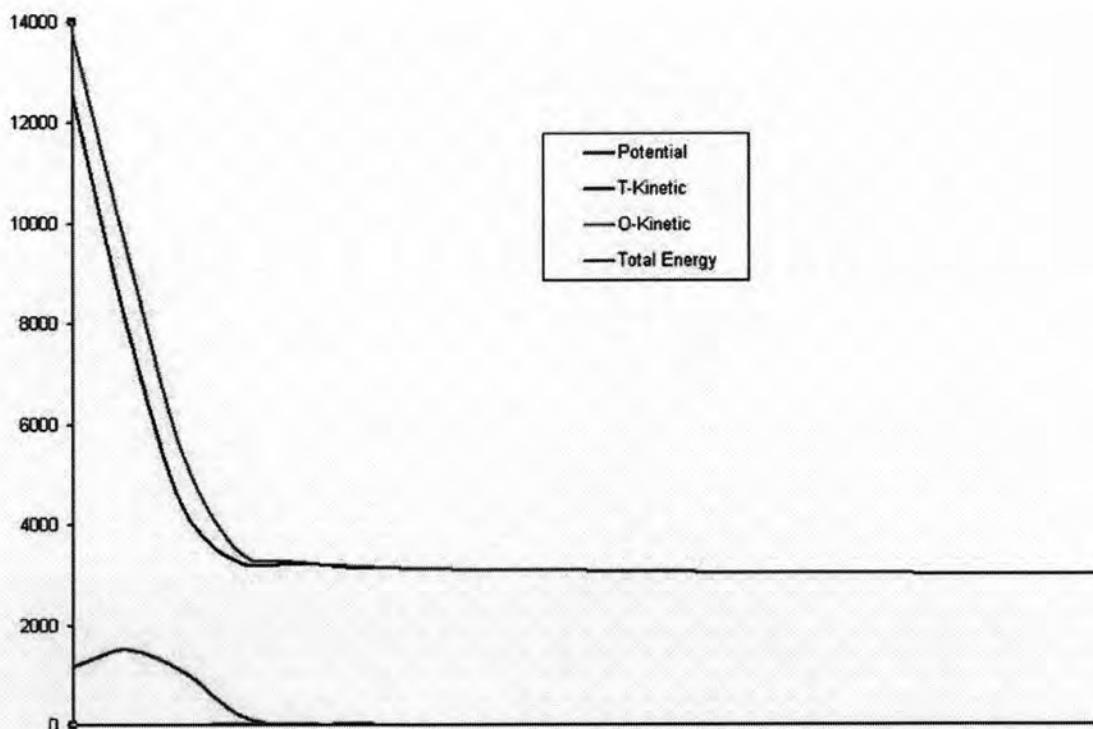
4.3.2 การทดสอบในแง่ของเวลาที่ใช้จัดวัตถุให้เข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุล

ในส่วนของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบจากเริ่มต้นจนหยุดที่ภาวะสมดุลภายใต้ Unit Radial & Constant นั้น ได้ผลเป็นดังในตาราง 4.2 ซึ่งจะเห็นว่า เวลาที่ใช้สำหรับ Unit Radial & Constant Field นั้น มากกว่ากรณีของ Elliptic Field อย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.2: เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Unit Radial & Constant Field

วัตถุ	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (s)	S.D.
A	1,847.745	7.064
B	749.635	5.461
C	651.305	3.476
D	1,770.233	5.338
E	1,682.016	5.249
F	1,678.976	5.660
G	1,857.253	6.189
H	1,221.110	6.713
I	1,914.158	4.973
J	2,241.891	6.662

ทั้งนี้ ถ้าหากลองพิจารณาจากกราฟการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัตถุภายใต้ Unit Radial & Constant Field ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.7 แล้ว จะพบว่า ในช่วงเวลาที่วัตถุเปลี่ยนทิศทางจนเข้าสู่ทิศทางที่ภาวะสมดุลนั้น ระดับของพลังงานกลรวมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากพลังงานศักย์ที่หาได้จาก Lifted Potential Function เมื่อวัตถุอยู่ ณ configuration ต่างๆ ในช่วงเวลาดังกล่าวนั้น มีค่าต่างกันน้อยมาก จนเกือบจะเท่ากัน (แม้จะมีค่าลดลงไปจนถึงจุดต่ำสุดเมื่อวัตถุอยู่ที่ configuration ที่ภาวะสมดุลก็ตาม) ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานลดต่ำลง ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟในช่วงทางขวามือที่เกือบจะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนเวลา จึงทำให้ใช้เวลานานขึ้น



รูปที่ 4.7: ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุตามเวลา เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Unit Radial & constant Field

4.4 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field

4.4.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้

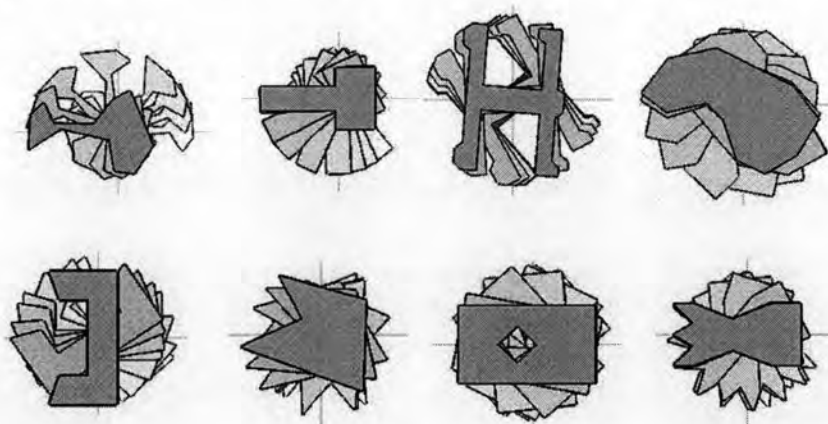
สำหรับการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field นั้น เราได้เลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ เป็น

- ส่วน Unit Radial Field ให้ $h = 10.0$
- ส่วน Radial Field ให้ $k = 1.0$ และ $c = 0.01$
- ส่วน Constant Field นั้น มีค่า $k = 1.0, \theta_c = \pi$ และโดยการใช้ Algorithm 1 เราจะได้ว่า ค่า d ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวัตถุเป็นดังในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3: ค่า d ที่เหมาะสมกับแต่ละวัตถุ สำหรับ Unit Radial, Radial & Constant Field

วัตถุ	ค่าพารามิเตอร์ d
A	0.002247
B	0.180115
C	0.093725
D	0.009449
E	0.046696
F	0.096180
G	0.020532
H	0.034837
I	0.027775
J	0.000500

ผลการทดสอบ พบว่า วัตถุสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุลได้ โดย configuration ดังกล่าวมีเพียงรูปแบบเดียวเสมอ ไม่ว่า configuration เริ่มต้นของวัตถุจะเป็นเช่นใด ดังตัวอย่างในรูป 4.8



รูปที่ 4.8: ตัวอย่างผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field

นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ h, k, c ไปเรื่อยๆ ก็สามารถหาค่า d และ θ_c ใหม่จาก Algorithm 1 แล้วทำการทดสอบ วัตถุก็ยังคงเข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุลเพียงรูปแบบเดียว ในตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการเสมอ ตรงตามที่พิสูจน์ไว้ [12]

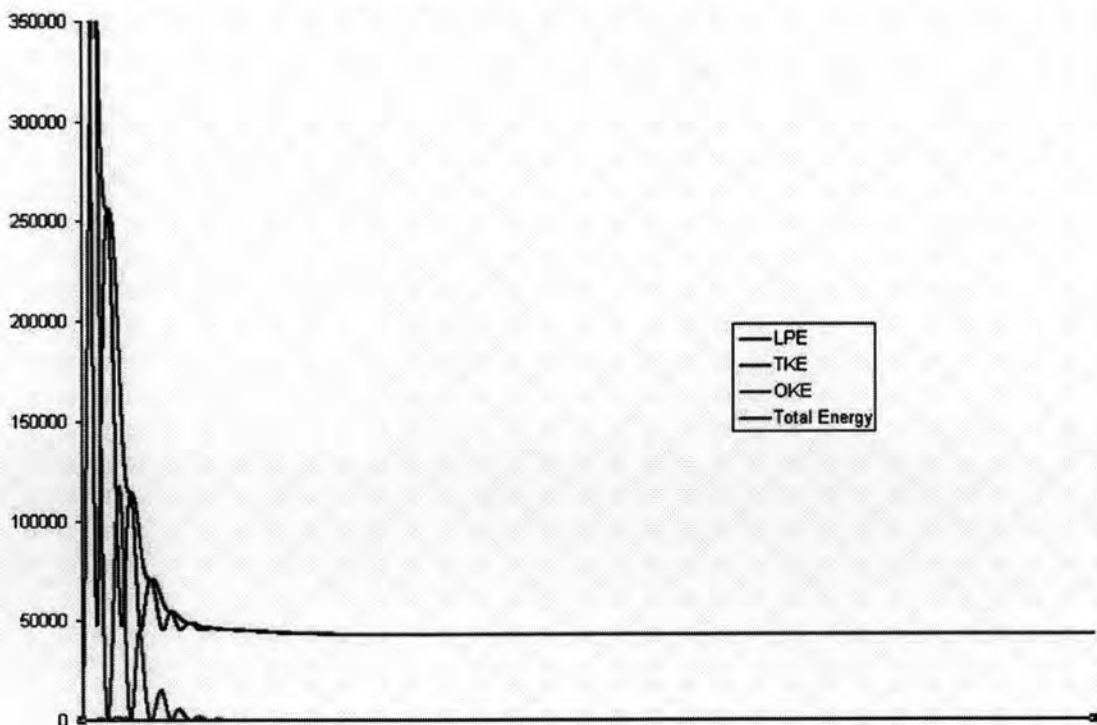
4.4.2 การทดสอบในแง่ของเวลาที่ใช้จัดวัตถุให้เข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุล

ในส่วนของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบจากเริ่มต้นจนหยุดที่ภาวะสมดุลภายใต้ Unit Radial, Radial & Constant นั้น ได้ผลเป็นดังในตาราง 4.4 ซึ่งจะเห็นว่าค่าเวลาเฉลี่ยที่ได้นั้น มีค่ามากกว่ากรณีของ Elliptic Field หรือแม้แต่กรณีของ Unit Radial & Constant Field หลายสิบเท่าตัวเลยทีเดียว

ตารางที่ 4.4: เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field

วัตถุ	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (s)
A	> 100,000.000
B	5,320.153
C	6,256.691
D	45,978.059
E	54,255.188
F	48,996.367
G	29,781.988
H	18,595.458
I	13,674.541
J	> 100,000.000

ทั้งนี้ ถ้าพิจารณาจากกราฟการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัตถุภายใต้ Unit Radial, Radial & Constant Field ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.9 แล้ว ก็พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกรณีของ Unit Radial & Constant Field กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่วัตถุเปลี่ยนทิศทางจนเข้าสู่ทิศทางที่ภาวะสมดุลนั้น ระดับของพลังงานกลรวมมีค่าต่างกันน้อยมาก จึงทำให้ใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลง configuration ของวัตถุจนถึง configuration ที่พลังงานต่ำสุด (ที่วัตถุเข้าสู่ภาวะสมดุล) นานมากนั่นเอง



รูปที่ 4.9: ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Unit Radial, Radial & constant Field