

SPMT의 안정성에 관한 연구

유대완¹ · 조관준² · 오진석[†]

(원고접수일 : 2011년 9월 14일, 원고수정일 : 2011년 11월 4일, 심사완료일 : 2011년 11월 17일)

A Study on the Stability of SPMT

Dae-Wam Yoo¹ · Kwan-Jun Jo² · Jin-Seok Oh[†]

요 약 : 오늘날 큰 선박 및 구조물은 블록 형태로 만들어지고 조립된다. 수천 톤의 큰 대형 선박은 도크 또는 육상에서 큰 블록을 조립함으로써 짧은 기간 내에 만들어 진다. 이동 과정에 경사면을 만나게 되면 이동물이 기울어지게 되고 기울어진 상태로 경사면을 통과하는 경우, 블록이 전복하는 사고가 종종 발생한다. 본 연구는 트랜스포터의 이송 중량물의 평면상에서 무게 중심을 구하고, 더불어 3차원 상의 무게 중심을 구한다. 또한, ZMP(Zero Moment Point)를 이용하여 물체가 넘어지는 각도를 예측하는 연구를 수행하였다. 특히 경사면에서 물체의 이송과정 안정성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

주제어 : 대형 선박, 중량물, SPMT, ZMP, 시뮬레이션

Abstract: Currently, large vessels and structures are manufactured into set of blocks, then assembled on-site. Large scale ships that weigh thousands of tons are built in a short period by making set of large blocks and assembled on a dock or a land. When a transporter encounters a slope during the process of transporting blocks, the heavy goods loaded on the transporter can be tilted. Further, if the vehicle moves down the slope in this state then it can cause an accident of overturn of loaded goods. The research has been taken into account to calculate the center of gravity of the transporter carrying heavy objects on a leveled surface or the three dimensions. In addition, ZMP (Zero Moment Point) is used to calculate the allowable slope degree that objects are predicted to overturn. Through the simulation, the objects' stability is tested when it is climbing the slope.

Key words: Large vessels, Heavyweight, Transporter, ZMP, Simulation

1. 서 론

최근 선박은 대형화를 통해 더욱 많은 물류를 수송할 수 있게 되었다. 선박 회사의 대형 선박의 보유수가 늘어나면서 이로 인하여 대형 선박 건조에 대한 수요가 증가하고 있다. 조선소는 효과적인 선박의 건조를 위하여 선박을 블록 형태로 나누어 제작하고 이를 조립하는 방식으로 선박을 제작한다. 이러한 조립 방식을 이용함으로써 조선소 도크

의 사용 회전율을 높일 수 있다. 도크 사용 회전율을 높임으로써 여러 선박을 동시에 제작할 수 있으며 육상 공간의 효율적인 활용, 분업화, 생산성 향상이 이루어진다. 그런데 조선 생산성 향상을 위해 소 블록의 크기가 최소 300톤부터 최대 5000톤으로 중량화되고 있으며 이동 거리 또한 점점 멀어지고 있다[1-2].

중량물의 이동을 위해 SPMT(Self Propelled

[†] 교신저자(한국해양대학교 기관공학부, E-mail:ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4866)

1 김우상사

2 한국해양대학교 메카트로닉스공학과

Modular Transport)라는 이송 장치가 사용된다. SPMT의 운전은 신속하고 안전한 블록 운반이라는 두가지 요소를 모두 만족해야 한다. 이를 위해 조선소에서는 도로 평탄화 작업으로 경사로를 제거하고 있으나 기술적으로 제거하지 못하는 경우도 있다. 또한 중소형 조선소의 경우에는 아직 평탄화 작업이 이루어지지 못하여 많은 경사로를 가지고 있다. 블록으로 인한 사고는 인명사고뿐만 아니라 선박 전체 공기를 지연하는 문제를 발생시킨다. 그러므로 SPMT는 이러한 안전사고를 미연에 방지하기 위한 안전시스템으로 수평 상승 장치, 과중량 감지 장치, 무게 중심 제어 장치 등이 설치된다. 이 동시에는 무게 중심 제어 장치가 현재 평면상에 물체의 중심점이 어디에 있는지 표시하는 역할을 수행한다[2].

무게 중심 제어 장치는 현재 무게 중심이 평면상에 어디에 있는지를 판단하는 기준만을 제안한다. 경사면을 이동할 때에는 현재 얼마 정도 기울어졌는지 알 수 없고, 위험성 판단을 작업자가 해야 하는 어려움이 있다. 본 논문은 기존 SPMT에서 사용자에게 제공되는 정보만을 사용하여 효과적으로 무게중심점(Center Of Gravity)을 계산하고 이를 통하여 물체가 이동할 경우의 안정적인 기울기를 계산하고자 한다.

2. SPMT 구조 및 운전

2.1 SPMT의 구조

SPMT는 Figure 1과 같이 파워팩 유니트와 트레일러로 구성된다. 파워팩 유니트는 Hydraulic power를 발생시키는 장치이다. 주행 시스템과 축 상승 및 하강, 스티어링 시스템, 브레이킹 시스템, 제어 시스템 등이 하나의 모듈로 되어 있는 시스템이다. 트레일러는 수평이 유지되는 적재면을 가지고 있으며 유압 서포팅이 가능한 축은 운동하는 중량물의 수평 유지가 가능하도록 디자인되어 있는 장비이다. 트레일러는 확장형으로 하나의 파워팩 유니트에 여러 트레일러를 연결하여 사용할 수 있다. 또한 트레일러의 스티어링 모드에 따라 바퀴 별 진행 방향을 제어 할 수 있으며 각 액슬의 지지점의 높이도 액슬 그룹 구성에 따라 다르게

유지할 수 있는 구조로 되어 있다.

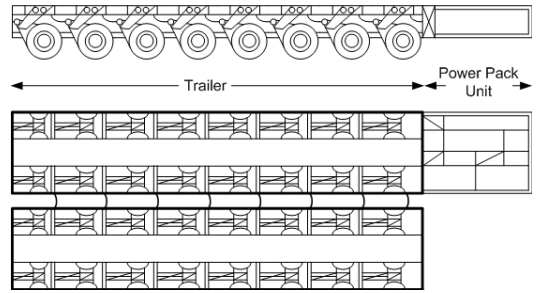


Figure 1: The structure of SPMT

파워팩과 트레일러 등은 유압과 전기 전자 시스템으로 연결되어 있는 구조이며, SPMT가 중량물을 드는 것은 파워팩에서 공급된 파워를 사용하여 트레일러 유압실린더가 작동하기 Eons이다. 실제 SPMT의 모습과 각 연결 부를 Figure 2에 나타내었다.



Figure 2: SPMT Photos

파워팩과 트레일러의 연결 부분은 유압으로 작동되는 핀 실린더와 볼트로 연결되어 있다. 트레일러의 각 바퀴는 운전 경로에 따라 각각의 방향을 제어 할 수 있도록 되어 있는 것을 알 수 있다[3].

2.2 SPMT의 운전 방식

중량물을 이동하기 위해서는 다음과 같은 방법이 사용된다. 우선 중량물을 SPMT의 최저 높이보다 높은 위치에 고임 구조물을 사용하여 배치해 놓는다. SPMT는 중량물의 아래로 진입하여 적정 위치에 배치하여 Figure 3과 같이 SPMT 바퀴의 유압 실린더를 작동하여 중량물을 적정 주행높이가 지 들어 올린다.

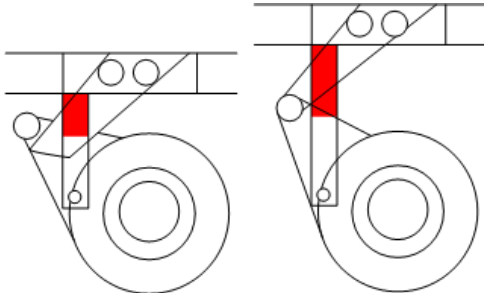


Figure 3: Lifting weights of SPMT

SPMT는 유압을 사용하여 중량물을 들어 올리는 역할을 수행한다. 모든 액슬에서는 유압으로 작동되는 유압실린더 장치가 장착되어 있다. 트레일러의 유압 라인은 독립적으로 제어되는 4개의 유압블록 나누어져 관리된다. 1개의 그룹에서 공통 유압 라인을 사용함으로써 각 부분 안에 있는 유압 실린더에 가해지는 힘을 동일하도록 하였다.

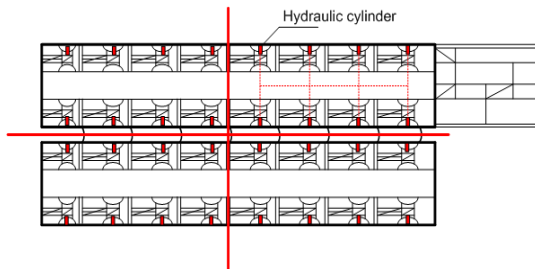


Figure 4: Suspension of SPMT

이러한 동작을 통하여 4개 유압그룹부분에 가해지는 유압의 압력을 알 수 있다. 이 유압은 각 부분의 중량을 나타낸다. 또한 중량물의 평형을 맞추기 위해 유압 라인으로 부터 각 부분의 유압 실린더를 연결하기 때문에 각 부분에서 들려지는 힘의 중심점은 트레일러 각 부분의 중심점이다. 따라서 유압을 통하여 각 부분에 가해지는 중량물의 무게를 구할 수 있다.

2.3 SPMT의 물체 무게 중심

현재 조선소 및 중공업 등에서 사용하고 있는 SPMT의 운용은 SPMT의 중심에 중량물 설계도의

무게 중심을 일치시킨 후 들어 올려 이송한다. 그러나 중량물을 이송하기 위해 설치된 많은 지지물과 설계도 이외의 추가로 설치된 중량물 등으로 인하여 SPMT가 들어 올린 중량물의 무게 중심점은 설계도와는 다른 경우가 많다. 중량물의 무게 중심점이 트레일러의 중앙에 있지 못하면 트레일러의 각 파트 중 일부에만 많은 무게가 가해져 트레일러의 파손을 가져온다.

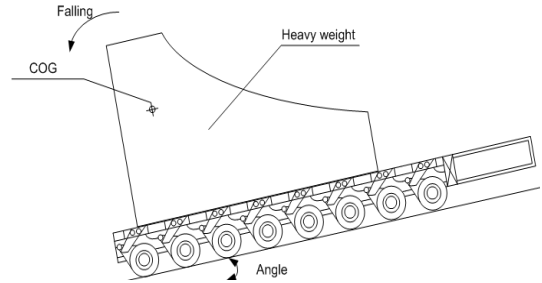


Figure 5: SMPT moving slopes

현재 사용하는 방식은 유압을 보고 평면상에서 무게 중심점을 계산하기 때문에 물체가 어느 정도 기울기에서 안전한지 알지 못한다. 트레일러로 물체를 이동할 때 경사진 면을 이동할 경우가 있다. 평면에서 트레일러의 중심에 물체의 무게 중심이 있었다고 하더라도 기울어진 면을 오르면서 무게 중심점이 변하게 되어 심할 경우 중량물이 전복되는 경우가 발생된다. 그러므로 SPMT로 중량물을 운반하기 전에 중량물의 3차원 공간상에서의 무게 중심점을 알아야 한다. 3차원 공간상에서 물체의 무게 중심점을 알면 물체가 넘어질 때의 기울기 각도를 예상할 수 있어 사고를 예방할 수 있을 것이다.

3. SPMT에서의 물체의 무게 중심 계산

3.1 2차원 면적에서의 SPMT의 무게 중심점

SPMT는 물체를 들어 올려서 이동하는 구조로 되어 있다. 물체의 무게는 구조적으로 4부분의 압력을 통하여 계측한다. 이를 단순화하여 나타내면 Figure 6과 같다.

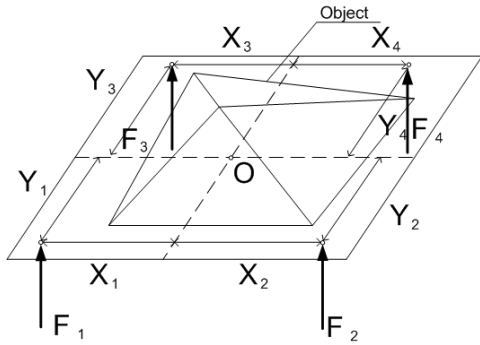


Figure 6: Mathematical modeling of SPMT

어떤 하나의 물체를 4개의 지점에서 들어 올릴 때에 공간 면적상에서 물체의 무게 중심을 계산해야 한다. 이때 평면은 평평한 구조로 각 지지점의 기울기는 없다고 가정한다. 물체 면적은 물체의 크기와 상황에 따라서 변화할 수 있다. 그러므로 이러한 점을 고려하여 물체의 중심을 계산하여야 한다. SMPS의 물체의 각 부분에 지지하는 힘을 F_1, F_2, F_3, F_4 라고 하고 이때 절대 좌표 O에서 각 지지하는 점까지의 거리를 X,Y로 나타내면 Figure 6과 같다. 이때 각각의 X,Y의 거리는 차이가 발생할 수 있다. 2차원 면적에서의 무게 중심을 구하기 위한 계산을 단순화하기 위해 X축과 Y축으로 각 지지점의 무게 중심점을 계산하여 그 지점을 교차하는 방법으로 면적에서의 무게 중심을 구하였다. Figure 7은 X축상의 COG를 나타낸 것이다.

물체의 무게 중심이 가상으로 중심점에서 T만큼 떨어져 있다고 했을 때 식 (1)이 성립한다.

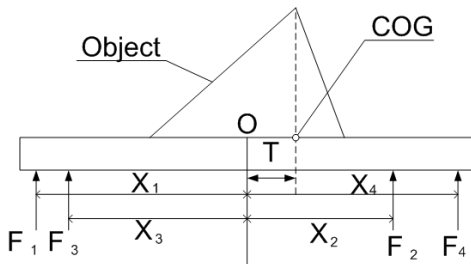


Figure 7: Getting the COG of the X-axis

$$F_1(X_1 + T) + F_3(X_3 + T) = F_2(X_2 - T) + F_4(X_4 - T) \quad (1)$$

식 (1)은 무게 중심점이 모멘트의 더했을 때 하나의 지점이 되는 점이므로 계산이 가능하다. 식 (1)을 중심점에서 무게 중심점이 떨어진 거리 T에 대하여 정리하면 식 (2)와 같다.

$$T = \frac{(F_2 X_2 + F_4 X_4) - (F_1 X_1 + F_3 X_3)}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4} \quad (2)$$

식 (2)를 일반화하여 정리하면 식 (3)과 같다. 이때 M_r 은 중심점을 기준으로 하였을 때의 오른쪽의 모멘트 값이고 M_l 은 중심점을 기준으로 하였을 때의 왼쪽모멘트 값이다.

$$T = \frac{\sum M_r - \sum M_l}{\sum_{n=1}^n F_n} \quad (3)$$

이때 T값이 양이면 중심점을 기준으로 오른쪽으로 이동한 것이고 음이면 왼쪽 방향으로 이동한 거리가 된다. X축의 COG를 구하는 방법과 동일한 방법으로 Y축의 COG를 구할 수 있다. Y축의 COG와 X축의 COG가 만나는 지점이 평면상에서의 물체의 COG가 된다[4].

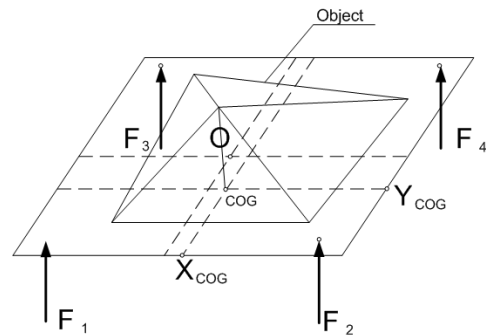


Figure 8: COG of the area

3.2 3차원 공간상에서의 COG

SMPT의 물체 평면상의 COG를 구하게 되면 리프트 장치를 이용하여 물체의 COG를 절대 좌표 "O"로 이동하여 물체를 이송하게 된다. 이때 물체의 안정성을 확보하기 위해서는 공간 면적에서의 COG를 확인하여야 한다. 단순히 4지점의 물체의 무게만으로는 공간상에서의 COG를 확인하기 어렵

다. 공간상에서 COG를 확인하기 위해서는 평행한 판을 강제로 기울 무게 중심의 변화를 측정하면 구할 수 있다. 이렇게 물체가 기울어져 무게 중심 점이 평면상에서 움직이게 되는데 이점을 ZMP (Zero moment point)라고 한다. Figure 9는 물체의 COG를 중심점에 놓은 상황에서 하나의 축방향만을 제어하여 움직였을 때의 무게 중심을 계산한 것이다.

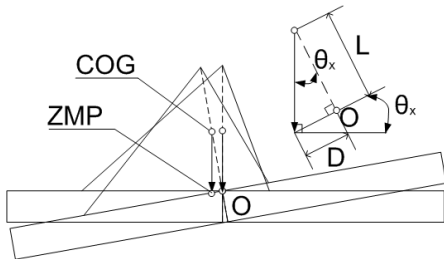


Figure 9: Getting the weight center of the space

X축 또는 Y축의 한 방향으로 판을 기울이면 다음과 같이 변화한다. 하부의 판이 기울어짐에 따라 ZMP는 변화한다. 그러나 물체가 기울어짐에 따라 수직 방향으로 가해지는 점인 ZMP는 변화한다. 평판을 들고 있는 4개 지점의 값이 변화하게 된다. 기존의 COG의 평면상 투영점과 ZMP점과의 거리를 D라고 하면, 식 (4)를 통하여 평면에서의 무게 중심점까지의 거리 L을 구할 수 있다. 이때 판의 기울어진 각도를 θ_x 라고 하면 직각 삼각형이기 때문에 무게 중심점의 변화 각도도 θ_x 라는 것을 알 수 있다. 평면상에서의 무게 중심점까지의 거리 L은 식 (4)를 통하여 쉽게 계산할 수 있다[5-6].

$$L = D \cdot \frac{1}{\tan(\theta_x)} \tag{4}$$

ZMP는 물체가 기울어짐에 따라 물체 외곽으로 이동하게 된다. 이렇게 물체 외곽으로 이동하여 물체가 닿는 면적을 벗어나면 반력이 사라지게 되어 물체가 넘어가게 된다. 물체의 마찰에 의한 미끄러짐은 배제하였다. Figure 10은 물체의 기울어짐에 따른 물체에 닿는 면적에서 무게 중심점의 이동을 나타낸 것이다.

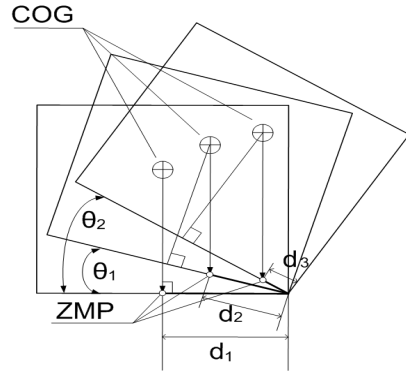


Figure 10: Change of ZMP of according to the slope

물체의 안정도는 기울어지기 시작하여 ZMP와 외곽 라인과 길이가 짧아질수록 안정도가 떨어지게 된다. 어느 물체의 기울어짐에 대한 안정도는 평면일 때를 100%로 하여 넘어지는 순간은 0%로 하였다. 즉, 평면 상에서 무게 중심점의 수직방향에 ZMP가 있을 때 안정도 100%, 물체가 기울어져 물체의 외곽라인에 ZMP가 있게 되는 순간을 0%로 하였다. 이때 물체의 외곽라인은 물체가 수평면에 닿는 면적의 최 외곽선으로 설정한다.

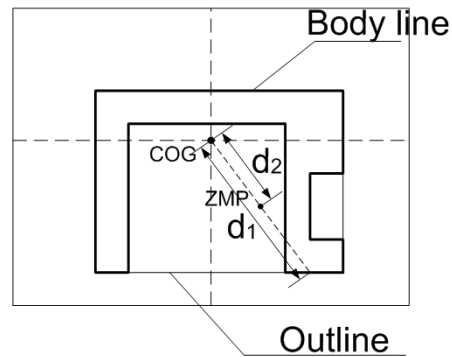


Figure 11: Evaluate the stability of object

물체의 안정은 Figure 11의 d_1 과 d_2 의 비로 구해진다. 이때 d_1 의 거리는 물체 외곽라인과 ZMP가 일직선상에 있는 것을 나타낸 것이다. 이를 수식으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$T_{safe} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100(\%) \tag{5}$$

또한 이를 기울어진 각도로 계산하면 다음과 같이 된다. 이때 $\theta_d (= \tan^{-1}(\frac{L}{d_2}))$, $\theta_t (= \tan^{-1}(\frac{L}{d_1}))$ 이 된다.

$$T_{safe} = \frac{\theta_t - \theta_d}{\theta_t} \times 100(\%) \quad (6)$$

SPMT는 보통 경사면을 오를 때 X축 또는 Y축 방향 중 한 방향으로만 움직인다. 그러므로 물체 외곽라인의 X축, Y축 방향 최대 기울기 각도를 구하면 SPMT가 물체를 넘어뜨리지 않고 오를 수 있는 최대 각도를 구할 수 있다. 이를 토대로 현재 이동하는 경사면에서의 안정도를 구할 수 있다.

4. 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램은 크게 3단계로 구성된다. 1단계로 SPMT에 평면적 무게 중심점을 알 수 없는 물체를 올렸을 때 물체의 무게 중심점이 어디에 있는지 계산한다. 이때 사용자는 SPMT의 규격과 SPMT 각 부분에 걸리는 힘의 크기를 알 수 있다. Figure 12는 평면상 물체의 무게 중심점을 계산한 것이다. 본 논문에서는 시뮬레이션 프로그램으로 LabVIEW를 이용하여 프로그램하였다.

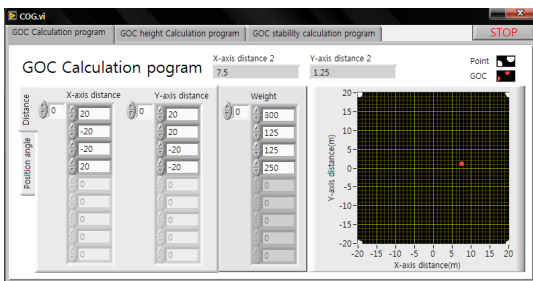


Figure 12: Calculate the weight center of the object on flat

Table 1: Result of COG on flat

Weight(X,Y=20m)				Move distance(m)	
F1	F2	F3	F4	X	Y
300	125	125	250	7.5	1.25
300	125	250	125	1.25	1.25
250	120	125	305	7.75	-1.5

물체의 무게 중심점을 계산하면 SPMT를 얼마나 이동하면 SPMT 중심에 무게 중심점이 오게 되는지 나타내었다. Table 1은 물체의 지지점이 중심점에서 20m씩 떨어져 있는 800톤의 물체의 GOC 결과를 나타낸 것이다. 이로써 물체를 SPMT의 중앙에 놓을 수 있도록 움직여야 하는 거리가 계산된다. 2단계는 공간상에서의 무게 중심점을 도출할 수 있도록 하였다. 공간상의 무게 중심점을 알기 위해 SPMT를 강제로 기울이게 하였다. 이때 SPMT의 기울어지는 각도는 SPMT의 4개 지지점의 무게 변화가 발생하기 시작하면 정지한다. 이를 통하여 공간상에서의 무게 중심을 계산하였다.

Table 2는 평면에 물체를 중앙에 놓았을 때 이를 어느 방향으로 1도만큼 기울였을 때의 무게 변화에 따른 공간적 GOC의 높이를 나타낸 것이다. 물체의 형상에 따라 1도 기울여지더라도 무게 중심의 높이가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

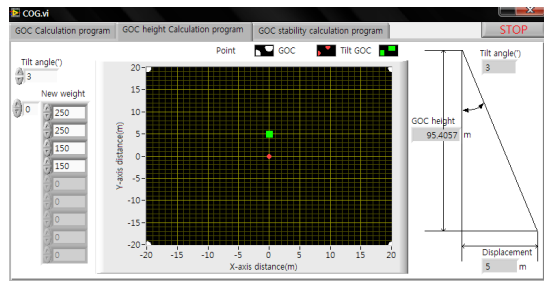


Figure 13: Calculate the weight center of the object on space

Table 2: Result of GOC height on space

Model	Weight(X,Y=20m, tilt angle=1°)				GOC height(m)
	F1	F2	F3	F4	
Case1	250	250	150	150	286.45
Case2	250	200	150	200	202.551
Case3	200	150	250	200	143.225

평면이 기울어진 각도와 ZMP와 평면상에 투영된 COG의 거리를 알면 높이를 공간상에서의 COG의 높이를 알 수 있다. 이렇게 공간상에서의 COG의 높이를 알면 이를 기반으로 하여 안정성을 구

할 수 있다. 안정성을 기반으로 하여 최대 오를 수 있는 경사면의 기울기를 계산할 수 있고, 현재 경사면의 기울기를 계산할 수 있다. 다음은 공간상의 COG를 알 때 COG에서 각 물체의 축방향의 거리를 알면 최대 움직일 수 있는 각도를 알 수 있다. 이동 거리 중에 경사면이 있을 경우 기울기를 대입하면 안정성을 구할 수 있다. Table 3은 각 케이스에서 최대 기울어질 수 있는 각을 나타낸 것이다.

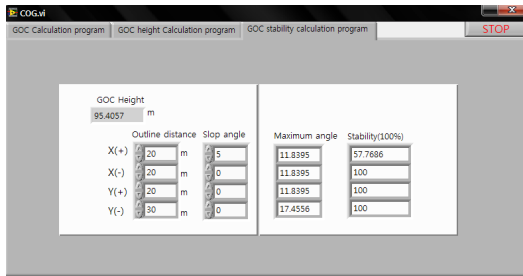


Figure 14: Stability calculations

Table 3: Result of slop angle

Outline distance		Maximum angle(°)		
		Case1	Case2	Case3
X(+)	18	3.59564	5.07835	7.16318
X(-)	15	2.99757	4.23534	5.97881
Y(+)	16	3.197	4.51656	6.37422
Y(-)	17	3.39636	4.79757	6.76902

시뮬레이션 프로그램에서 평면상의 COG와 외각까지의 거리에 따라 기울어 질수 있는 각도가 차이 나는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

현재 대부분의 중량물은 SPMT로 이동할 경우 물체의 내부 지지물이나 기타 요소들로 인하여 설계도와 다르게 무게 중심점이 위치한다. 그러므로 설계도 기반의 무게 중심 계산이나 안정성 평가는 많은 약점 갖는다. 본 연구에서는 SPMT 위에 실제 물체를 놓고 이를 기울임으로써 공간상에서의 물체의 무게 중심을 구하였다. 또한 ZMP기반으로 하

여 실제 물체의 넘어지는 각도를 구함으로써 물체의 기울어짐에 따른 안정성을 산정하였다. 이를 통하여 실제 현장에서 SPMT로 물체를 이동하기 전에 이동 거리에 경사면이 있을 경우 안정성을 확인할 수 있을 것이다.

앞으로 경사면에서의 가속도에 의한 동적 특성과 바람 및 풍압 등에 대한 특성 등을 고려하여 SPMT의 중량물 이동에 안정성 해석에 관한 연구를 수행해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 박창규, 서준용, 김지은, 이상협, 백태현, 민상규 “조선 조립블록 운영 효율화 방안에 대한 연구”, 한국경영과학회2005년 추계학술대회, pp. 233-236, 2005.
- [2] 손영득, 이영호, 이규찬, 박상경, 박옥득, 김한실, “트랜스포터 운행관제용 저가형 INS 자세에 관한 연구”, 2005년도 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 2588-2590, 2005.
- [3] 박정호, 이경희, 진광자, 오문균, “조선소 선박블록 상하차 판단시스템”, 전자공학회논문지 제4권 제6호, pp. 582-588, 2010.
- [4] 이명수, 김상섭, “차량무게중심의 측정 및 추정에 관한 연구”, Transactions of ksaе, vol. 18, no. 5, pp. 91-99, 2010.
- [5] M. S. Lee, S. W. Namkung, H. B. Kwon, S. S. Kim and T. O. Tak, “A Study on the development of vehicle center of gravity measurement system”, Spring Conference Proceedings, vol. 2, KSAE, pp. 800-806, 2006.
- [6] MioMir Vukobratovic and Branislav BoRovac, “Zero moment point-thirty five years of its life”, International Journal of Humanoid Robotics, vol 1, pp. 157-173, 2004.

저 자 소 개



유대완(劉大完)

1976년 2월생, 2000년 김해 인제대학교, 기계공학과 졸업(공학사), 2001년~현재 길우 상사, 부산 사무소 기술부 차장, 독일 TTI group scheurle fahrzeugfabrik GmbH국내 service engineer



조관준(趙琯濬)

1982년 5월생, 2005년 한국해양대학교 선박전자기계공학부 제어 시스템 전공(공학사), 2007년 동 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(석사), 2007-2010년 수중운동체 특화 연구 센터 연구 보조원, 한국 해양 대학교 대학원 메카트로닉스

공학과 박사과정



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박사, 일본 규슈대학 대학원 졸업(공학박사), 1983년~1986년 영국 ZODIAC 선박회사엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1996년~현재 한국해양대