

# 휠로더의 시계성 평가: 프로토타입과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 방법

정 두 호

두산인프라코어 기술원

## The Visibility Evaluation of the Wheel Loader by Comparing Prototype and Computer Simulation

Dooho Jung

Institute of Technology, Doosan Infracore, Yongin, 448-795

### ABSTRACT

The visibility evaluation is significant for the development of construction equipment. The visibility evaluation follows the standards of ISO 5006, ISO 14401-1, and ISO 14401-2. The evaluation contains the operator's visibility and the visibility of rear-view mirrors. The operator's visibility includes the visibility test which requires the recognition of the rectangular line surrounding the machine by one meter and the circle with a 12 meter radius. This study describes the two evaluation processes for the development of the wheel loader. The first process is the light bulb shadow test by using a prototype wheel loader. The second process is based on computer simulation in virtual space. The advantages and disadvantages of computer simulation process are investigated.

Keyword: Visibility evaluation, Construction equipment, Wheel loader

### 1. 서 론

시계성(visibility)은 건설 기계를 개발할 때 중요한 평가 항목 중 하나이다. 인간은 감각기관을 통하여 받아들여지는 정보의 90%를 시각에 의존하고 있기 때문에(Drury & Clement, 1978), 건설 기계 운전자가 적절한 시계를 확보하지 못하였을 경우 작업 능률을 현저하게 저하시키고 심각한 인명 사고를 유발할 수 있다. 이러한 작업자의 생산성과 안전성은 전통적으로 인간공학 분야의 중요한 이슈로 시계성 역시 작업자의 생산성 증대와 안전성 개선을 목적으로 하는 인간공학 전문가의 주요 관심분야이다. 산업계

의 시계성 평가 표준에 대한 요구가 커지자 국제 표준화 기구(International Organization for Standardization)는 건설 기계 시계성에 대한 다수의 국제 표준 ISO 5006:2006, ISO 14401-1:2009, ISO 14401-2:2009, ISO 16001:2008을 정하였으며, 이중 ISO 5006:2006, ISO 14401-1:2009, ISO 14401-2:2009는 실차를 대상으로 한 시계성 평가 방법을 소개하고 있다.

건설 기계 제품 개발 단계에서 시계성 평가를 수행할 때는 prototype을 제작하여 실차에서 평가하는 방법과 simulation을 통해 실차 평가 방법을 가상공간에서 구현하여 평가하는 방법이 있다. Prototype을 이용하는 방법은 광원(light source) 장비를 설치하여 전구에 불을 켜고 시계성을 평가

한다. 하지만 시계성 측정 시 전구의 불 빛이 완전히 차폐된 영역과 부분적으로 차폐되는 영역 즉 1개의 전구의 빛이라도 희미하게 비치는 영역이 명확하게 구분되지 않는다. 따라서 같은 평가를 반복했을 경우 결과가 다르게 나오는 주관적 평가가 될 수 있다(Barron *et al.*, 2005). 반면에 simulation을 통한 평가 방법은 제품의 설계도면을 이용하여 가상공간에서 객관적인 평가를 할 수 있어 일관성 있는 결과가 도출된다.

본 연구는 흙과 자갈 등을 버킷(bucket)에 담아 이동하여 적재하는 휠타입 건설 기계인 휠로더(그림 1)를 개발하는 과정에서 prototype과 simulation을 이용하여 시계성 평가하는 과정을 전반적으로 고찰하고 비교하였다. 시계성 평가의 두 방법에 대한 차이점을 알고 그 장단점을 이해하여 인간공학 전문가가 시험 환경과 해당 과제에 더욱 적합한 시계성 평가 방법을 찾는데 유용할 것이다. 이는 시계성 평가 결과를 제품 설계에 보다 더 면밀히 반영하여 건설 기계 운전자의 시계성을 개선하고, 근로 생산성 및 안전성 측면에서 최종 생산 제품의 인간공학적 가치를 제고할 수 있다.



그림 1. 휠로더(Wheel loader)

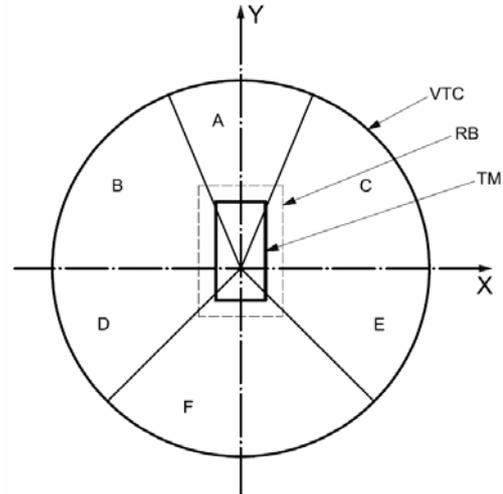
## 2. 시험 과정

시계성 평가를 위해서 시험 환경을 설정하고 시험 장비를 구성하여 운전자 시계성(operator's visibility)과 후사경(rear-view mirrors) 시계성을 측정한다.

### 2.1 시험 환경 설정

Prototype을 제작하여 실차를 대상으로 한 시계성 평가와 simulation에서 이루어지는 시계성 평가 모두 ISO 5006:2006에 따라 시험 환경을 설정한다. Prototype 시험 차량을 시험 장소에 위치시키고 좌석 제조사가 정한 기준점인 SIP(Seat Index Point) 위치를 지면에 표시한다.

SIP 전방 20mm 지점에 광원의 중심 기준이 되는 FPCP(Filament Position Centre Point) 위치를 지면에 표시한다(ISO 5006, 2006). 이 FPCP를 중심으로 그림 2와 같이 반지름 12m 시계성 시험원(visibility test circle)을 그리고 A~F 영역을 그린다. 또한 시험 장비(test machine)의 외곽 1m 바깥쪽으로 1m 직사각형 경계(RB, Rectangular 1m Boundary)를 따라 측정선을 그린다(ISO 5006, 2006).



VTC : 12m 시험원(visibility test circle)  
 RB : 직사각형 경계(rectangular 1m boundary)  
 TM : 시험 장비(test machine)  
 A, B, C, D, E, F: 영역(sectors)

그림 2. 운전자 시계성 시험 영역(ISO 5006, 2006)

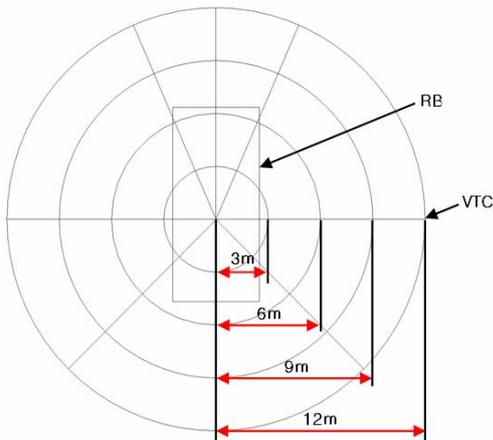


그림 3. 운전자 시계성 시험 영역(prototype 방법)

Simulation에서는 임의의 기준점을 FPCP로 설정하고 이 지점을 원의 중심으로 삼아 12m 원, A~F 영역, 1m 직사각형 경계를 가상공간에 그림 4와 같이 좌표에 따라 그려주면 시험 환경을 비교적 간단하게 구현할 수 있다. Prototype을

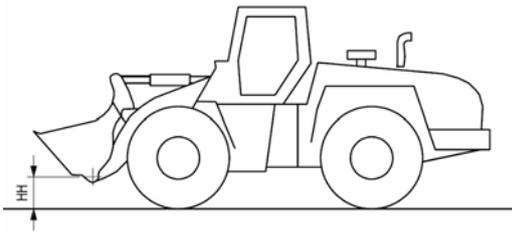
이용한 방법과 simulation을 이용한 방법 모두 ISO 5006:2006에 규정된 12m 원 이외에 그림 3, 그림 4와 같이 3m, 6m, 9m 원을 추가로 그려 거리에 따른 식별을 용이하게 하였다.

Prototype과 simulation 방법 모두 차량의 버킷은 그림 5와 같이 운반상태의 버킷 높이 기준 HH를  $300 \pm 50\text{mm}$ 에 위치시킨 후 모든 개폐구(도어, 창)는 닫은 상태로 평가한다.



VTC: 12m 시험원(visibility test circle)  
RB : 직사각형 경계(rectangular 1m boundary)

그림 4. 운전자 시계성 시험 영역(simulation 방법)



HH: 운반상태의 버킷 높이(bucket in carry position)

그림 5. 버킷(bucket) 위치 기준(ISO 5006, 2006)

## 2.2 시험 장비 설정

Prototype을 제작하여 실차를 대상으로 한 시계성 평가 방법은 ISO 5006:2006에 규정된 광원 장비가 필요하다. 이 장비는 시험 조건인 표 1에 따른 필라멘트 사이의 거리에 따라 전구가 부착되어 있고 선택적으로 전구를 켤 수 있는 장비이다. 본래 있던 좌석을 제거하고 SIP에서 위로 680mm, 앞으로 20mm되는 지점에 360도로 회전 가능한 광원 장치를 그림 6과 같이 설치한다(ISO 5006, 2006).

이렇게 광원의 그림자를 통해 차폐면을 측정하는 방법을 light bulb shadow test라고 한다(ISO 5006, 2006; Hutter, 2000).

Simulation을 통한 시계성 평가는 Siemens사의 Jack 6.0 software의 Occupant Packaging Toolkit을 사용하였다. Simulation에서는 그림 7과 같이 prototype과 동일한 위치에 FPCP 위치를 일치시키면 시험 장비 설정이 완료된다.



그림 6. 광원 장비(prototype 방법)

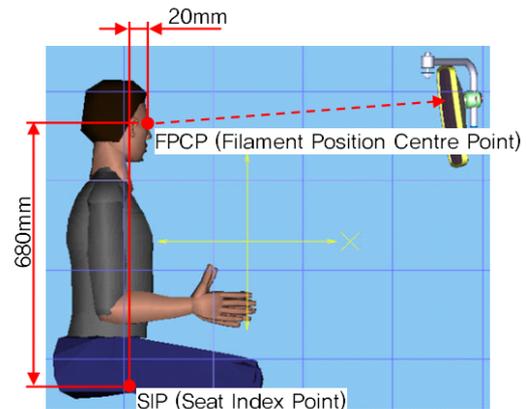


그림 7. FPCP의 위치(simulation 방법)

## 2.3 시계성 시험원 운전자 시계성 측정

Prototype을 통한 12m 시계성 시험원 운전자 시계성의 측정은 그림 8과 같이 가로 × 세로 10cm 간격의 모눈 인쇄물을 12m 시계성 시험원의 A~F 영역 측정면 바닥에 펼쳐서 측정한다. 광원 장비는 표 1의 실험 조건에 따라 각 영역의 전구 거리에 맞는 전구를 켜서 해당 차폐 영역을 기록하고 사진 촬영으로 추후에 결과를 보정하였다. 예를 들어 무부하 장비 질량이 20t일 때 측정면을 A 영역에 설치

하였다면 전구 거리가 65mm인 전구를 켜고, 측정면을 B 영역에 설치하였다면 전구 거리가 205mm인 전구를 켜야 한다.

Simulation을 통한 평가를 할 때는 시계성 평가를 해야 되는 면에 측정면을 설정하고 그 부분에 시계성 테스트하기 위한 해당 전구의 위치를 표 1의 실험 조건에 따라 지정한다.



그림 8. 12m 시계성 시험원 C영역 시계성 측정(prototype 방법)

표 1. 전구의 중심 간의 거리(단위: mm)

무부하 장비 질량 (ISO 6016): <i>m</i> , 단위: t	12m 시계성 시험원						1m 직사각형 경계
	A	B	C	D	E	F	RB
$m < 10$	65	205	205	205	205	65	405
$10 \leq m < 25$	65	205	205	205	205	65	405
$25 \leq m \leq 30$	405	205	205	205	205	65	405

이때 측정면에 결과로 연산될 점의 개수를 정한다. 예를 들어 측정면이 1000mm × 1000mm인 정사각형일 때 x축으로 10개 y축으로 20개의 점으로 측정한다고 지정하였다면 x축은 100mm당 하나의 점으로 y축은 50mm당 하나의 점으로 시계성 연산을 수행한다.

2.4 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성 측정

1m 직사각형 경계의 운전자 시계성은 차량 외곽을 따라 1m 거리의 직사각형을 그리고 1.5m 높이의 모눈을 가진 수직 측정판(Vertical test object)를 이용하여 차폐되는 영역을 측정한다. 표 1의 실험 조건에 따라 무부하 장비 질량이 30t 이하라면 전구 거리가 405mm인 전구를 켜서 측정을 수행한다.

그림 9는 600mm 폭의 직사각형 측정판에 50mm ×

50mm의 모눈을 그려 차폐 영역을 측정하는 모습이다.

Simulation을 통한 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성 측정을 할 때는 차량 외곽을 따라 1m 거리에 1.5m 높이를 가진 수직 측정면을 차량 외곽 쪽에 따라 한꺼번에 설정하고 전구 거리를 지정하여 측정한다.



그림 9. 1m 직사각형의 경계 좌측 시계성 측정(prototype 방법)

2.5 후사경 시계성 측정

휠로더의 후사경 시계성 측정은 ISO 14401-1 규정을 따르며 이 규정의 Class B는 후사경을 이용하여 시계성을 측정한다.

Prototype을 제작하여 실차를 대상으로 Class B의 후사경 시계성을 측정할 때는 후사경의 위치와 각도를 조정하면서 성능 요구 조건이 만족하는지 비추어 보고 해당 영역이 보이는지 만족 여부를 측정한다(ISO 14401-1, 2009).



그림 10. 후사경 시계성 측정(prototype 방법)

그림 10은 후사경 시계성을 측정하기 위해 넓은 공간에서 시험 장비에 광원을 설치하고 해당 범위가 보이는지 측정하는 예이다.

Simulation을 통한 후사경 시계성 측정도 그림 7에서 보듯이 가상공간에서 후사경의 위치와 각도를 조정하면서 후사경의 상하 좌우에 일부분에 반사면을 표현하여 해당 범위가 보이는지 측정한다.

### 3. 평가 과정

#### 3.1 12m 시계성 시험원의 운전자 시계성 평가

Prototype을 통해 측정된 12m 시계성 시험원 운전자 시계성은 그림 8과 같은 모눈 인쇄물과 사진 촬영한 자료를 바탕으로 자료를 추출한다. 이때 그림자 중 완전히 검은 그림자 영역과 그렇지 않은 그림자 영역이 생기는데 완전히 검은 그림자 영역만을 차폐 영역으로 간주한다. 왜냐하면 좌측 눈과 우측 눈이 공통으로 보이지 않은 영역이 완전히 검은 그림자 영역이기 때문이다. 이렇게 측정된 차폐 영역은 표 2의 차폐 영역 허용치의 성능 기준에 의거 시계성을 평가한다. 예를 들어, 휠로더 무부하 장비 질량이 20t 인 경우 A 영역에서 700mm 이하의 차폐 영역이 2개 또는 1300mm 이하의 차폐 영역이 1개이면 A 영역에서 필요한 시계성 기준을 만족하는 것으로 평가한다.

Simulation을 통한 결과는 좌측 전구에 대한 차폐 영역과 우측 전구에 대한 차폐 영역 중 공통 차폐 영역을 자체 개발한 프로그램을 통해 추출하여 최종 차폐 영역을 결정한다. 그림 11에 한쪽 전구에 대한 차폐 영역이 색깔 별로 다르게 표시된다. 이때 녹색 점인 a 영역은 잘 보이는 가시 영역이며, 빨간색 점인 b 영역은 차폐된 영역을 의미한다. Simulation 역시 prototype을 통한 방법과 마찬가지로 공통 차폐 영역의 거리를 바탕으로 표 2의 차폐 영역 허용치

의 성능 기준을 참고하여 시계성을 평가한다.

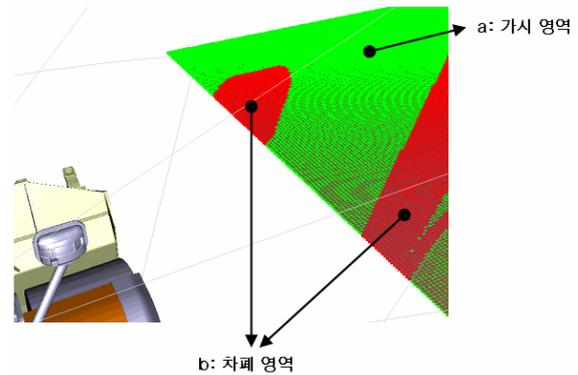


그림 11. 12m 시계성 시험원 C영역 시계성 평가(simulation 방법)

#### 3.2 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성 평가

Prototype을 통해 측정된 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성은 모눈을 가진 수직 측정판과 사진을 통해 기록한 측정 결과를 종합하여 완전히 검은 그림자 영역만을 차폐 영역으로 간주하여 표 2의 차폐 영역 허용치의 성능 기준에 의거 시계성을 평가한다. 휠로더의 무부하 장비 질량이 30t 이하인 경우 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성은 300mm 이하의 차폐 영역이 발생하면 필요한 시계성 기준을 만족하는 것으로 평가한다.

Simulation을 통해 측정된 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성은 차량 외곽을 따라 1m 거리에 1.5m 높이를 가진 수직 평가면을 차량 외곽 쪽에 따라 한꺼번에 설정하고 전구 거리를 지정하여 측정한다. 따라서 좌측 전구에 대한 차폐 영역과 우측 전구에 대한 차폐 영역을 공통 차폐 영역을 자체 개발한 프로그램을 통해 추출하여 최종 차폐 영역을 결정하게 된다. 12m 시계성 시험원 측정 결과(그림 11)와 동일하게 그림 12 역시 빨간색 점(명도가 낮은 점)은 차폐

표 2. 차폐 영역의 성능 기준(단위: mm)

무부하 장비 질량 (ISO 6016): m, 단위: t	12m 시계성 시험원(허용되는 차폐 개수 및 차폐폭)						1m 직사각형 경계
	A	B	C	D	E	F	RB
$m < 10$	2~700	0	0	1~700 and 1~1300	1~700 and 1~1300	(1~700 and 1~1300) or (1~2000)	300
$10 \leq m < 25$	2~700 or 1~1300	0	0	(1~700 and 1~1300) or (1~2000)	(1~700 and 1~1300) or (1~2000)	3~1300	300
$25 \leq m \leq 30$	0	1~700 and 1~1300	1~700 and 1~1300	(1~700 and 1~1300) or (1~2000)	(1~700 and 1~1300) or (1~2000)	3~1300	300

된 영역을 의미하며 녹색 점(명도가 높은 점)은 잘 보이는 영역으로 1m 직사각형 경계의 운전자 시계성을 평가한다.

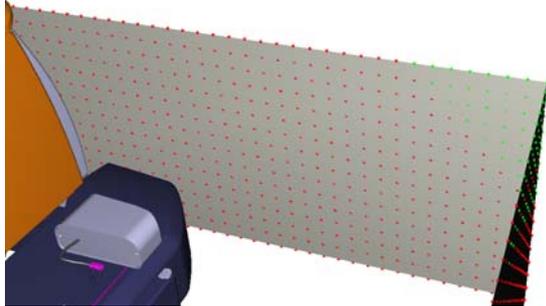
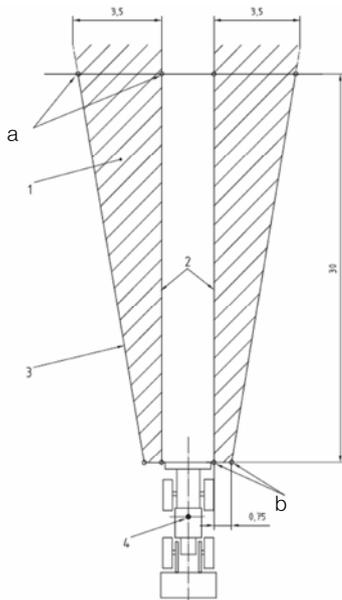


그림 12. 1m 직사각형 경계 우측 시계성 평가(simulation 방법)

### 3.3 후사경 시계성 평가

후사경 시계성의 성능 기준은 그림 13에서 보듯이 장비 후방 지면에서의 높이 1.0m, 폭 0.75m에서부터 시작하여 장비 뒤쪽 30m 거리의 지면에서 폭 3.5m까지의 평탄부의 시계 범위를 볼 수 있어야 한다(ISO 14401-2, 2009).



- 단위: m
- 1: 시계 범위(field of vision)
  - 2: 안쪽 경계(inner borderline)
  - 3: 바깥 경계(outer borderline)
  - 4: FPCP(filament poison centre point)
  - a: 지면에서 측정(measurement at ground level)
  - b: 지면 1m 높이에서 측정(measurement at 1m above ground level)

그림 13. 후사경 시계성 평가 기준(ISO 14401-2, 2009)

Prototype을 통해 측정된 후사경 시계성은 후사경을 통해 성능 기준에 정의된 시계 범위가 보이는지 여부로 판단한다.

Simulation을 통한 후사경 시계성 평가는 후사경의 상하 좌우에 반사면을 표현하여 시계 범위가 반사면의 범위에 포함되는지 여부를 평가한다. 그림 14는 후사경의 좌우 반사면이 시계범위 좌우를 모두 포함하여 성능 기준을 만족하는 것을 볼 수 있다. 상하의 성능 기준도 같은 방법으로 후사경의 상하 일부분에 반사면을 생성시켜 만족 여부를 판단할 수 있다.

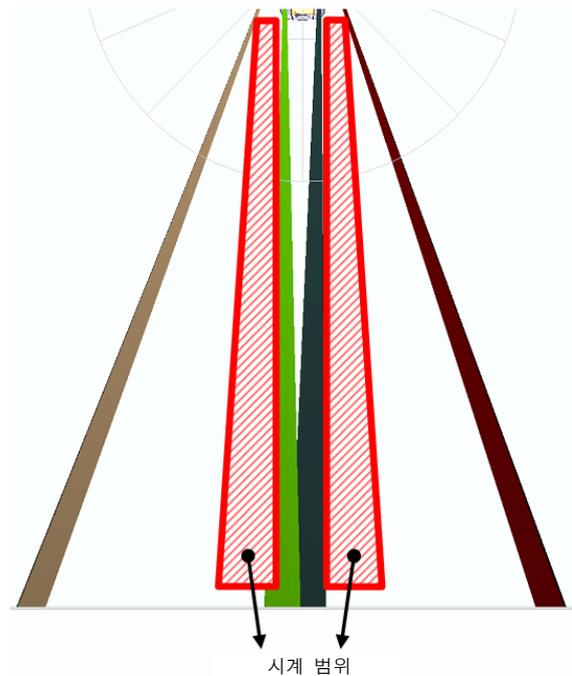


그림 14. 후사경 시계성 평가(simulation 방법)

## 4. 토의 및 결론

본 연구에서 휠로더를 개발할 때 prototype과 simulation을 이용한 시계성 평가 과정을 살펴보고 그 과정을 비교하여 각 방법의 장단점을 다음과 같이 도출하였다.

제품 개발 단계에서 prototype을 통한 실차 시계성 평가와 대비하여 simulation을 통한 시계성 평가의 장점은 다음 세 가지이다.

첫째, simulation 방법은 설계 단계부터 활용이 가능하여 최종 제품 설계가 확정될 때까지 시계성 평가 결과를 제품에 반영할 수 있다. 반면에 실차를 통한 시계성 평가는

prototype이 나오는 단계에서 결과 적용이 가능하여 최종 제품 설계에 시계성 평가 결과를 충분히 반영하기 어렵다.

둘째, 가상공간에서 simulation을 통한 평가가 이루어지므로 환경 제약이 적다. 반면 prototype을 통한 시계성 평가는 환경의 제약이 많아 넓은 시험 장소의 확보가 필요하다. 12m 반지름의 원을 그릴 수 있어야 하며 특히 Class B 기준을 평가하려면 30m 이상의 공간이 필요하다. 또한 외부 광원이 시험 결과에 영향을 주지 못하도록 시험 가능한 시간이 주로 야간이거나 실내공간이어야 한다. 야외공간의 경우 달빛이나 주변의 조명에 따라 방해받을 소지가 크다.

셋째, simulation 방법은 prototype을 통한 시계성 평가에 반드시 필요한 차량의 위치 설정, seat 제거 및 테스트 장치 설치 등의 준비가 필요 없어 준비 시간에 소요되는 시간을 절약할 수 있다.

반면에 simulation을 통한 시계성 평가의 단점은 다음 두 가지이다. 하지만 이러한 단점은 이번 연구에 사용된 simulation인 Jack 6.0에 국한된 내용일 수 있다.

첫째, simulation을 이용하여 평가면에 따라 시계성 연산을 수행할 지점의 수를 지정할 수 있는데, 평가의 정확도를 높이기 위해 지점의 수를 늘리면 계산 시간이 지점의 수와 비례 하여 급속히 증가한다. 따라서 평가 지점 개수를 조절하여 연산시간을 조정하거나, 이미 prototype이 완성된 개발 단계에서는 실차를 대상으로 한 prototype의 평가 방법이 오히려 시계성 평가 시간을 단축시킬 수 있어 일정을 고려한 판단을 해야 한다.

둘째, 차폐되는 부분의 위치 변화 혹은 형상 변화에 따라 simulation으로 평가한 결과가 실시간으로 연산이 이루어지지 않아 결과에 반영되지 않는다. 따라서 설계 변경 사항이 생길 경우 해당 부분의 연산 과정을 다시 수행해야 함으로 이 부분의 시간 소요가 많다. 예를 들어 후사경의 위치를 변경하면서 이에 대한 시계성 평가를 하거나 여러 부품의 위치에 따라 여러 가지 옵션에 대해 시계성 평가를 할 경우 prototype을 대상으로 시계성 평가를 수행하는 것이 시간 상 유리할 수 있다. 따라서 시험환경과 해당과제에 따라 적합한 방법을 찾아야 한다.

이러한 시계성 평가 방법에 대한 연구는 제품 개발 단계에서 필연적으로 발생하는 시간과 자원의 제약에서 시계성

을 보다 더 향상시킬 수 있는 방법을 찾는데 필수적이며, 근로 생산성 및 안전성 측면에서 인간공학적 가치가 뛰어난 제품을 설계하는데 기여할 것이다.

## 참고 문헌

Barron, P. J., *et al.*, A method for assessment of degradation of task visibility from operator cabins of field machines, *International journal of industrial ergonomics*, 35(7), 665-673, 2005.

Drury, C. G. and Clement, M. R., The effect of area, density, and number of background characters on visual search, *Human Factors*, 20(5), 597-602, 1978.

Hutter, G. M., Earthmoving equipment - An operator's field of view (SAE Standard. J1091), *Safety and Forensic Engineering. Journal*, 2, 2000.

International Organization for Standardization, ISO standard 5006, Earth-moving machinery -- Operator's field of view -- Test method and performance criteria, 2006.

International Organization for Standardization, ISO standard 16001, Earth-moving machinery -- Hazard detection systems and visual aids -- Performance requirements and tests, 2008.

International Organization for Standardization, ISO standard 14401-1, Earth-moving machinery -- Field of vision of surveillance and rear-view mirrors -- Part 1: Test methods, 2009.

International Organization for Standardization, ISO standard 14401-2, Earth-moving machinery -- Field of vision of surveillance and rear-view mirrors -- Part 2: Performance criteria, 2009.

## ● 저자 소개 ●

❖ 정 두 호 ❖ dooho.jung@doosan.com  
 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사  
 현 재: 두산인프라코어 기술원 연구원  
 관심분야: UI, HMI

논문 접수 일 (Date Received) : 2009년 09월 30일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2010년 01월 11일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 01월 11일