

Comfort Evaluation of Operating Position to Define Appropriate Seat Travel in Excavator

Hoiju Jung¹, Sanghyuk Lee¹, Hyunsoo Park¹, Kwangho Jung¹, Hyungjoon Kim¹

¹VPM Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore, Incheon, 401-804

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to evaluate the operating position of excavator operator through virtual assessment and to define appropriate seat travel in excavator. **Background:** In the case of excavator development, position of primary controllers and seat are most important to determine the operating position. Especially, seat position and adjustment range (Travel) make operator seat where they want to. Operating with comfortable posture reduces fatigue of operator, and improves productivity. Therefore, seat position and adjustment range are first considering point to development of excavator. **Method:** To define appropriate seat travel: (1) Select representative human model to represent all operators, (2) Define basic operating posture to represent all operating postures, (3) Evaluate comfortability of basic operating postures, (4) Define comfort operating position with respect to each operator's H-point (Hip point), (5) Define seat position and adjustment range with respect to comfort seating positions for all representative human models. **Results:** Operating position of each representative human model with comfort is found. And it is possible to define the minimum requirement of seat travel which makes all representative human models seat where they want to. **Conclusion:** We define basic operating postures in excavator. Through comfort evaluation for basic operating posture, we can find operating positions of each of representative human model. From the position, we can define the minimum requirement of seat travel for all representative human models. **Application:** This study is expected to be applied in defining seat position and travel range for development of new excavator. And position of primary controller and range of hand movement are defined with comfortable operating position. Also position and direction of gauge panel are defined with considering field of vision of operators.

Keywords: Excavator, Seat Travel, Operating position, H-point, Comfort evaluation

1. Introduction

굴삭기란 토목, 건축, 건설 현장에서 땅을 파는 굴삭 작업, 토사를 운반하는 적재작업, 건물을 해체하는 파쇄작업, 지면을 정리하는 정지작업(평탄화작업) 등 다양한 작업을 수행하는 건설기계이다. 굴삭기는 이동 방식에 따라 크게 무한 궤도식의 크롤러(Crawler) 굴삭기와 타이어가 장착된 휠(Wheel) 굴삭기로 나뉘며(Figure 1), 굴삭기는 장비의 이동 역할을 하는 하부체(Undercarriage)와 하부체를 기준으로 360도 회전하는 상부체(Swing body), 상부체에 부착되어 움직이며 작업을 수행하는 프론트 어태치먼트(Front attachments), 그리고 작업자가 거주하며 장비를 조작하는 운전석(Cabin)으로 구성된다.







(a) Crawler Excavator

(b) Wheel Excavator

Figure 1. Types of Excavator

굴삭기 조작 시 작업자가 조작하는 모든 부품의 위치와 형상에 따라 작업자의 착좌 위치와 자세가 달라진다. 작업 중에 작업자는 양 손으로 Seat 좌우 측에 위치한 작업레버를 조작하게 되는데, 만약 작업과 이동이 동시에 필요할 경우는 양 손은 작업레버

Table 1. BOP (Basic Operating Posture)

	기본 작업 자세 1	기본 작업 자세 2	기본 작업 자세 3	기본 작업 자세 4
Pedal 상태	앞쪽 완전 눌림 (Forward Max.)	뒤쪽 완전 눌림 (Rearward Max.)	뒤쪽 완전 눌림 (Rearward Max.)	중립 (Neutral)
Heel point 위치	Pedal	Pedal	Floor mat	Floor mat
BOF* 위치	Pedal 앞쪽	Pedal 앞쪽	Pedal 뒤쪽	Foot rest
H-point 위치	기준	좌동	좌동	좌동
자세 예시				

상기 예시 그림은 신발을 고려한 발의 위치를 나타낸다.
* BOF : Ball Of Foot

에, 양 발은 주행페달에 각각 위치하게 된다. 따라서 작업자의 착좌 위치는 작업레버 및 주행 페달의 위치에 따라 달라지게 된다.

더불어 굴삭기를 조작하는 작업자의 인체 치수 또한 다양하다. 국내뿐만 아니라 국외의 다양한 인체 치수를 가진 작업자가 장비를 조작하기 때문에 착좌 위치와 자세는 더욱 다양해 진다.

이러한 다양한 착좌 위치와 작업 자세를 만족하기 위해 굴삭기의 시트(Seat)는 전후, 상하로 이동할 수 있다. 이 때, 시트의 이동 범위를 시트 조정 범위(Seat Travel) 이라 정의하는데, 작업자는 Seat travel 내에서 Seat의 위치를 조정하여 본인이 원하는 위치에 착좌하게 된다.

따라서 굴삭기 개발 시 Seat travel을 정의하는 것은 Seat 의 위치를 결정할 뿐 아니라 작업자의 착좌 위치까지 결정하게 된다. Seat travel 정의 시 작업자의 착좌 위치와 작업 자세를 고려하지 못한다면 작업자는 본인이 원하는 편안한 자세로 착좌할 수 없으며, 특히 인체 치수가 매우 크거나 매우 작은 작업자의 경우 착좌가 불가능할 수도 있다.

본 연구에서는 크롤러 굴삭기 작업 시 작업자의 자세를 분류하여 착좌 위치 및 Seat travel 도출을 위한 기본 작업 자세를 정의하고, 각 대표 인체 모델별 기본 작업 자세에 대해 안락성 평가를 수행하여 착좌 위치를 도출한 후 Seat travel 설계에 활용하고자 한다. 나아가 각 인체 별 착좌 위치를 통해 주요 부품의 위치와 방향을 결정하고자 한다.

2. Method

2.1 Select the Representative Human Model

굴삭기를 운전하는 작업자의 인체 치수는 매우 다양하다. 최근 굴삭기는 유럽, 북미, 중국, 남미, 인도 등 국가와 지역을 구분하지 않고 판매되기 때문에 굴삭기 개발 시 다양한 작업자에 대한 고려가 필수적이다. 특히 Cabin은 동일 장비군(소형, 중대형 등) 내에서 판매 지역에 상관없이 공용으로 제작되는 경우가 많으므로 초기 개발 단계에서 다양한 인종과 인체 치수를 반드시 고려해야 한다.

그러나 Cabin의 크기와 물리적 한계로 인해 모든 국가의 인체 치수를 고려할 수 없고, 각 국가별로 맞춘 Cabin을 개발하는 것 또한 어렵다. 따라서 각 인종을 대표할 수 있는 대표 인체 모델(Representative Human Model)을 설정하고 대표 인체 모델을 만족시킬 수 있도록 Cabin layout을 구성한다.

대표 인체 모델을 선정하기 위해서는 제품의 성격과 주 고객, 판매 지역 특성 등을 종합적으로 고려해야 한다. 주로 국가별 5, 50, 95%ile의 인체를 비교하여 가장 작은 인체와 가장 큰 인체를 우선 고려하며, 필요에 따라 중간 인체를 선정한다.

본 연구에서는 중국인 5, 50%ile, 한국인 50%ile, 미국인 95%ile을 대표 인체 모델로 선정하였다. 중

국인 5%ile은 가장 작은 인체를, 미국인 95%ile은 가장 큰 인체를 대표하며, 중국인 50%ile 과 한국인 50%ile을 추가로 고려하였다.

2.2 Define the BOP (Basic Operating Posture)

크롤러 굴삭기 Seat Travel 도출을 위해 4종의 기본 작업 자세(BOP, Basic Operating Posture)를 정의하였다. Table 1에서 나타내는 4종의 기본 작업 자세는 작업자의 착좌 위치에 영향을 주는 하지의 동작을 대상으로 구분되었으며, 모든 작업 자세는 신발을 신고 있는 상태를 기준으로 하였다.

기본 작업 자세 1은 일반적인 굴삭기 주행모드로서 페달을 앞으로 조작하여 전방으로 장비를 이동시키는 자세이다. 이 때 발은 페달 위에 온전히 올려져 있는 상태이다.

기본 작업 자세 2는 페달을 뒤로 조작하여 장비를 후방으로 이동시키는 자세이다. 이 때 발은 페달 위에 온전히 올려져 있는 상태이다. 장비를 전후 방향으로 각각 이동이 잦은 경우 기본 작업 자세 1과 2를 반복적으로 취해야 한다.

기본 작업 자세 3은 발을 Floor mat에 올려두고 페달 뒤쪽을 밟는 자세이다. 일반적인 굴삭기의 크기와 구조를 고려할 때, 장비 후방 이동 시 상부체를 180° 회전하여 장비 후방을 직접 바라보며 운전하게 된다. 이 때 장시간 이동하는 경우 기본 작업 자세 3을 취하게 된다.

기본 작업 자세 4는 발을 Floor mat에 올려두고 Foot rest에 지지하는 자세이다. 페달을 조작하지 않거나 장비의 진동, 경사지 작업 등 지지가 필요한 경우에 취하는 자세이다.

2.3 Comfort Evaluation of Operating Posture

굴삭기 Seat travel 및 SIP 정의를 위해 기본 작업 자세 1 ~ 4에 대해 버추얼 평가를 수행하여 안락성 여부를 검증한다. 주행 페달을 대상으로 기본 작업 자세 1 ~ 4에 해당하는 착좌 자세를 생성하고 인체 모델에 대해 안락성 평가(Comfort Evaluation)를 수행한다. 안락성 평가 결과를 통해 안락한 착좌 위치 범위를 도출할 수 있으며, 각 대표 인체 모델별 착좌 위치 범위를 통해 Seat travel 및 SIP를 정의할 수 있다.

안락성 평가는 가상의 공간에 착좌된 3D 마네킹을 대상으로 수행한다. 3D 마네킹은 대표 인체 모델과 동일한 신체 치수를 가지고 있다. 안락성 평가를

위해 기본 작업 자세 1 ~ 4에 해당하는 3D 마네킹을 생성하고, 각 마네킹의 힙 포인트(H-point, Hip point)가 일치하도록 가상의 공간에 착좌시킨다. 이 때 페달의 상태, Heel point의 위치, BOF(Ball of Foot)의 위치는 각 기본 작업 자세에서 정의된 상태와 동일하게 위치해야 하며, 신발의 크기를 고려하여 위치시킨다.

Table 2. Comfort Angles of Each Joint

Ref.	항목	움직임	각도 (deg)	
			안락각	최대 범위
A1	Seat back angle	굴곡 (Flexion)	10	5 to 15
	Trunk	외전 (Abduction)	0	-20
A2	Hip	굴곡 (Flexion)	75 to 100	60 to 110
		내전 (Adduction)	10	10
		외전 (Abduction)	-22	-30
A3	Knee	굴곡 (Flexion)	75 to 160	75 to 170
A4	Ankle	굴곡 (Flexion)	85 to 108	78 to 115
A5	Shoulder	굴곡 (Flexion)	-35 to 85	-50 to 180
		내전 (Adduction)	20	20
		외전 (Abduction)	-70	-120
		쇄골 회전 (Clavicle circumduction)	20	20
A6	Elbow	굴곡 (Flexion)	60 to 180	45 to 180

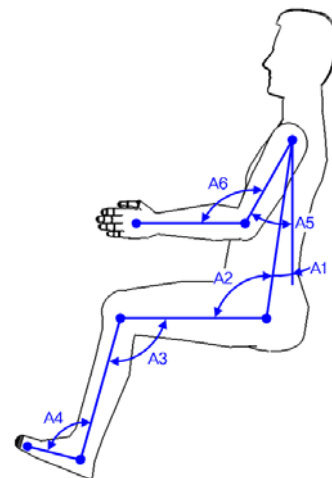


Figure 2. Joints to Evaluate Comfort

동일한 H-point 위치를 가지는 4종의 마네킹을 대상으로 인체의 관절각을 각각 도출 후 Table 2 및 Figure 2와 같이 ISO 6682에서 정의된 안락각 기준으로 평가한다. 평가 대상이 되는 관절각은 발목 굴곡/신전, 무릎 굴곡/신전, 허벅지 굴곡/신전 및 내전/외전, 상체의 굴곡/신전이다. ISO 6682에 의한 안락성 평가 결과 불만족 시 현재 H-point 위치에서는 각 기본 작업 자세에 대해 안락한 자세를 취할 수 없으므로 착좌 위치, 즉 H-point의 위치를 이동하여 재 평가를 수행한다.

2.4 Seating Positions of Each Representative Human Model

인체의 착좌 위치는 신체에 있어서 힙 포인트(H-point, Hip point)로 대표된다. 힙 포인트는 인체의 Sagittal Plane 상의 점으로서 상체(Torso)의 Centerline과 양쪽 고관절(Hip Joint)을 잇는 축이 만나는 점이다(Figure 3). 안락성 평가를 만족하는 자세에서의 힙 포인트 위치를 측정하여 해당 인체 모델의 착좌 위치로 정의한다.

대표 인체 모델에 대해 안락성 평가를 수행하면 만족하는 착좌 위치는 통상 범위로 도출된다. 이는 인체의 안락한 관절각이 범위로 도출되기 때문이다. 또한 대표 인체 모델의 신체 치수가 서로 다르기 때문에 착좌 위치 범위도 서로 다르게 나타난다. 신체 치수가 커질수록 착좌 위치는 장비 후방으로 이동하며, 높아지는 경향이 있다. 모든 대표 인체 모델을 고려한다면 각 인체 모델의 다양한 착좌 위치도 고려되어야 한다.

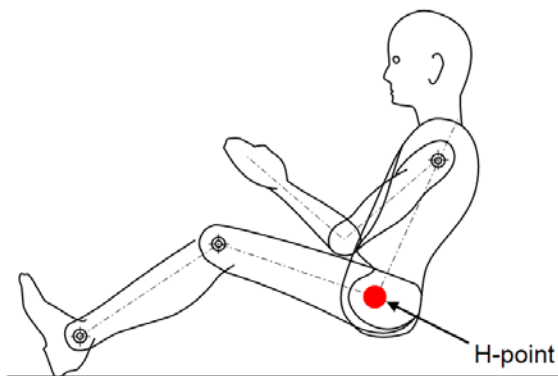


Figure 3. H-point of Driving Posture

2.5 Minimum Requirement of Seat Travel

ISO5353에서는 Seat의 위치를 대변하는 점으로서 SIP(Seat Index Point)에 대해 정의하고 있다. SIP는 Seat 상의 가상의 점으로서 동 규격에서 정의하고 있는 SIP device를 이용하여 측정할 수 있다. SIP는 Seat의 위치와 조정 범위를 대표할 뿐만 아니라 설계와 법규 인증을 위한 기준점으로도 활용된다.

안락성 평가를 만족시키는 자세에서 도출된 H-point에 Seat의 SIP를 일치시키면, 평가 마네킹과 동일한 작업자는 해당 Seat 위치에 안락한 자세로 착좌할 수 있다. 따라서 각 대표 인체 모델과 동일한 인체 치수를 가지는 마네킹에 대해 안락성 평가 결과로 도출된 착좌 위치 범위를 모두 만족할 수 있도록 Seat의 위치와 조정 범위를 결정해야 한다.

Seat travel은 설계 메커니즘에 따라 통상 전후, 상하 등의 조정 범위를 가진다. 따라서 Seat travel은 Side view에서 사각형의 형태를 가지게 된다. 앞에서 언급한 안락성 평가 결과를 통해 각 대표 인체 모델의 착좌 위치 범위를 모두 포함하는 사각형을 그렸을 때, 이를 Seat travel의 최소 요구 범위(Minimum Requirement of Seat Travel)로 정의한다. 이때 사각형의 가로 길이가 Seat travel의 전후 방향의 조정 범위가 되며, 세로 길이가 Seat travel의 상하 방향의 조정 범위가 된다. 이를 Seat travel 최소 범위로 도출한다.

더불어 Seat travel의 전후, 상하 범위의 Center point를 Seat의 SIP 위치로 정의하며, SIP 위치를 통해 Seat 및 Seat mounting의 위치를 결정한다.

Seat travel의 최소 범위는 Cabin 개발 시 Seat travel 정의를 위한 요구 조건 중 하나가 된다. 실제 Seat travel은 다양한 변수 및 마진을 고려하여 최소 범위보다 더 크게 정하는 것이 일반적이다.

3. Result

Figure 4는 기본 작업 자세 1 ~ 4에 대해 각 대표 인체 모델별 안락성 평가를 만족하는 착좌 위치를 나타낸다. 각 대표 인체 모델의 마네킹은 해당 위치에서 ISO6682의 안락각을 만족하며 기본 작업 자세 1 ~ 4를 모두 취할 수 있다. 또한 각 인종 별 착좌 위치는 인체 치수가 커짐에 따라 장비 후방, 상방으로 이동하는 경향이 있으며, 유사한 인체 치수를 가

진 인종의 경우에도 국가별 신체 비율에 따라 다소 다른 경향을 보인다.

안락성 평가 결과를 만족하는 각 대표 인체 모델의 착좌 위치는 Figure 5의 붉은 선과 같이 범위로 도출된다. 붉은 선으로 표시된 영역에서 해당 작업자는 안락성을 만족한 자세로 앉을 수 있다. 그러나 해당 영역 내에서 안락성 수준의 차이가 있다고 판단할 수 없으므로 Seat travel을 정의할 때, 모든 영역을 포함하도록 정의해야 한다. Figure 5에서는 Seat travel 결정을 위해 범위의 극한(Limit)이 되는 가장 작은 대표 인체와 가장 큰 대표 인체의 착좌 위치 범위만 표시하였다.

Seat travel의 최소 요구 범위를 도출하기 위해 모든 대표 인체 모델의 착좌 위치 범위를 포함하는 사각형을 Figure 6의 붉은 사각형과 같이 그리게 된다. 이 때 사각형의 가로 길이는 Seat의 전후 방향 조정 범위가, 세로 길이는 Seat의 상하 방향 조정 범위가 되며, 사각형의 Center point를 SIP로 정의한다.

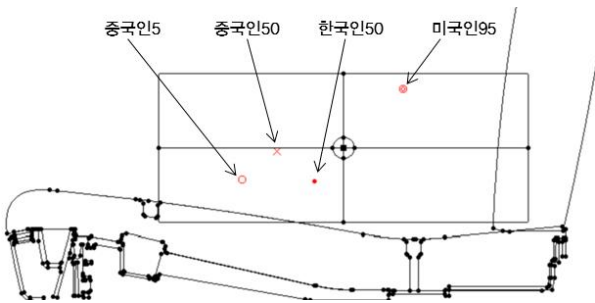


Figure 4. Operating Position of Each Representative Human Model

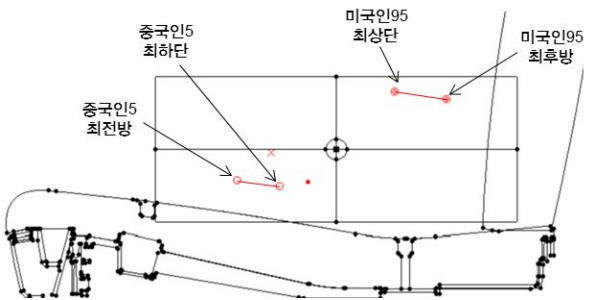
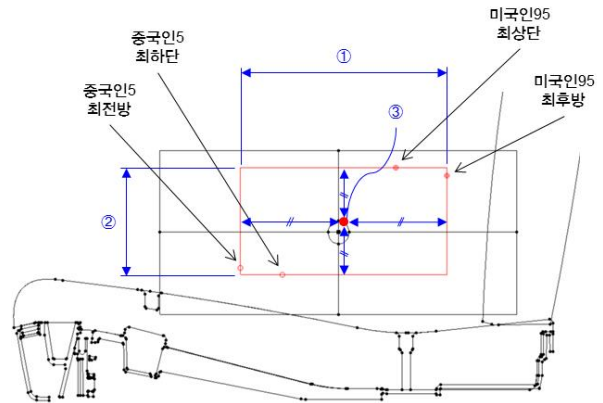


Figure 5. Range of Operating Position



No.	설명
①	Seat Travel 전후 방향 최소 조정 범위
②	Seat Travel 상하 방향 최소 조정 범위
③	SIP 위치

Figure 6. Minimum Requirement of Seat Travel

4. Conclusion

본 연구에서는 버추얼 평가를 통해 크롤러 굴삭기 작업 시 착좌 자세의 안락성 평가를 수행하여 각 대표 인체 모델의 안락한 착좌 위치를 도출하였다. 또한 Cabin 개발 시 고려되는 모든 대표 인체 모델의 착좌 위치를 통해 Seat travel의 최소 범위를 도출할 수 있다. 이 범위는 Seat 위치 조정 시 대표 인체 모델이 안락하게 앉을 수 있는 최소 범위를 나타내며, 설계 시 Seat의 전후, 상하 등 조정 범위를 정하는데 활용할 수 있다. 나아가 Cabin 설계 및 법규 인증의 기준이 되는 SIP의 위치를 도출할 수 있다.

향후 본 연구 내용을 기반으로 휠 굴삭기 및 휠로더의 착좌 위치 및 Seat travel 도출에 대한 기술 개발을 진행할 예정이다. 나아가 대표 인체 모델의 인체 특성과 작업 환경, 착좌 위치 등을 고려하여 건설 장비의 작업 시야, 주요 조작 장치의 최적 배치 등 편의성 향상을 위한 연구를 지속적으로 할 계획이다.

References

- ISO Home Page*, <http://www.iso.org>, Earth-moving machinery – Zones of comfort and reach for controls, ISO6682, 1986
- ISO Home Page*, <http://www.iso.org>, Earth-moving machinery, and tractors and machinery for agriculture and forestry – Seat index point, ISO5353, 1995

Author listings

Hoiju Jung: hoiju.jung@doosan.com

Highest degree: MS, Department of Mechanical Engineering, KU

Position title: Assistant Research Engineer, Ergonomics Part, VPD Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore

Areas of interest: Human Factors in Constructive Equipment Design, HMI, EMG, Usability Test

Sanghyuk Lee: sanghyuk.lee@doosan.com

Highest degree: BS, Department of Industrial Engineering, SNU

Position title: Assistant Research Engineer, Ergonomics Part, VPD Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore

Areas of interest: Human Factors in Constructive Equipment Design, HMI

Hyunsoo Park: hyunsoo4.park@doosan.com

Highest degree: MS, Department of Mechanical Engineering, PNU

Position title: Chief Research Engineer, Ergonomics Part, VPD Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore

Areas of interest: Human Factors in Constructive Equipment Design, HMI

Kwangho Jung: kwangho1.jung@doosan.com

Highest degree: BS, Department of Mechanical Engineering, DU

Position title: Chief Research Engineer, Virtual Design Validation Part, VPD Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore

Areas of interest: Human Factors in Constructive Equipment Design, Usability Test

Hyungjoon Kim: hyungjoon3.kim@doosan.com

Highest degree: MS, Department of Mechanical Engineering, KU

Position title: Chief Research Engineer, Ergonomics Part, VPD Team, Corp. R&D Division, Doosan Infracore

Areas of interest: Human Factors in Constructive Equipment Design, HMI