

## 직독식 기기를 이용한 양돈작업자의 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출 특성 비교 연구

신소정 · 김효철\* · 김경란 · 서민태 · 박수인 · 김경민 · 김경수

농촌진흥청 국립농업과학원

### A Comparison of PM<sub>10</sub> Exposure Characteristics of Swine Farmers by Body Parts using Direct-reading Instrument

Sojung Sin · Hyocher Kim\* · Kyung-ran Kim · Mintae Seo · Sooin Park · Kyungmin Kim · Kyungsu Kim

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to evaluate the personal exposure to PM<sub>10</sub> by body parts for the development of dust monitoring wearable device for swine farmers.

**Methods:** Tasks were classified by using motion pictures taken by action cameras attached to swine farmers. Concentrations of PM<sub>10</sub> were measured by attaching direct-reading instruments at the head, neck and waist of worker. Differences of PM<sub>10</sub> exposure between body parts were analyzed with linear regression.

**Results:** We identified three tasks(vaccination, moving pigs, and manure treatment). PM<sub>10</sub> concentration during vaccination was the highest among the tasks, and the body part showing the highest concentration of PM<sub>10</sub> was the waist regardless of task. In all tasks, the closer distance between the body parts, the higher were the R-squared values(vaccination 0.4221, moving pigs 0.6990, and manure treatment 0.2164).

**Conclusions:** We presumed that PM<sub>10</sub> concentrations were affected by the parts of the body in which they were measured. In order to develop swine farmer's wearable device for monitoring dust concentration in air, the determination of the positions of monitoring sensor to ensure accurate measurement is essential. Considering the results of this study, wearable sensor should be positioned at the waist.

**Key words:** exposure, PM<sub>10</sub>, swine farmer, wearable device

## I. 서 론


전 세계적으로 농업인의 직업성 질환과 안전사고는 광업, 건설업 수준으로 발생하는 것으로 알려져 있으며 (ILO, 2000), 이로 인해 발생하는 작업능력(work ability)의 손실 및 의료비용의 증가는 농업인의 사회경제적 어려움을 더욱 가중시킬 수 있다(Karttunen & Rautiainen, 2013). 그 중 축산업은 밀폐된 작업환경, 가축의 높은 사육밀도, 미생물이 자라기 좋은 온·습도


등의 환경으로 인해 다양한 형태의 농업인 안전재해가 발생하는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2014).


국내의 돈사 형태는 기본적으로 밀폐 건물(confinement building)이며, 온·습도 조절 및 생산성 향상을 위해 사육면적을 최소화하는 방향으로 운영 되고 있다. 이로 인해, 사육밀도가 높아져 돈사 내 고농도의 가스와 분진이 발생한다(Donham et al., 1986). 돈사 내 발생하는 유기분진은 가축의 사료, 가축의 분비물 등에서 발생하며 그람음성세균, 내독소, 동물의 비듬, 곰팡이


\*Corresponding author: Hyocher Kim, Tel: 063-238-4166, E-mail: hyocher@gmail.com


Department of Agricultural Engineering, 310 Nongsaeangmyeong-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si Jeollabuk-do, 54875, Republic of Korea  
Received: April 26, 2019, Revised: June 17, 2019, Accepted: June 24, 2019


 Sojung Sin <http://orcid.org/0000-0001-5193-3167>


 Kyungran Kim <http://orcid.org/0000-0001-8126-112X>

 Sooin Park <http://orcid.org/0000-0002-4583-9227>

 Kyungsu Kim <http://orcid.org/0000-0001-8585-0773>

 Hyocher Kim <http://orcid.org/0000-0002-8223-0859>

 Mintae Seo <http://orcid.org/0000-0002-6477-4895>

 Kyungmin Kim <https://orcid.org/0000-0002-2566-2049>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

등을 복합적으로 함유 하고 있다(Takai et al., 1998; Chang et al., 2001). 특히 유기분진 속 포함된 내독소(Endotoxin)는 인체의 면역 시스템을 자극시켜 알러지 반응을 일으키며(Kim et al., 2013; Wunschel & Poole, 2016) 돈사의 바닥과 공기 중에 존재하는 분진에 쉽게 흡착이 가능해 작업자 및 돼지의 호흡기계에 영향을 주어 천식, 기관지염 등 여러 가지 질환을 유발시킨다고 알려져 있다(Donham et al., 1989; Olson & Bark, 1996; Bottcher, 2001). 이에, 유럽과 미국에서는 축산작업자의 유기분진 독성증후군, 직업성천식, 농부폐증 등을 농업인의 대표적인 직업병으로 인정하고 있다(Hagmar et al., 1990; Von & Donham, 1999; Donham et al., 2010).

돈사에서 발생하는 내독소를 포함한 미세먼지(Particulate matter, PM)는 주로 2.5~10  $\mu\text{m}$  입자 크기의 먼지에서 발생량이 많으며(Takai et al., 1998) 주된 발생원은 사료, 분변, 체모 등으로 알려져 있다(Cambra-lópez et al., 2011; Xu et al., 2016). 그러나 현재 돈사 내 미세먼지와 관련된 국내 노출기준은 연구되고 있지 않으며, 제조업이 아닌 농업에 속한 양돈 작목에 대해 산업안전보건법에 근거한 작업환경측정은 거의 이루어지고 있지 않은 상황이다.

작업장내 환경 관리를 위해 농업부문에서는 비닐하우스 및 축사에 ICT(Information and Communication Technologies)를 접목하여 원격 자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적절하게 유지·관리할 수 있는 농장으로 정의되는 스마트팜에 대한 연구가 활성화되고 있다(Smartfarm). 특히 동·식물의 생육환경을 최적화하기 위해 온·습도, 가스 등을 실시간으로 측정하고 ICT기술을 활용하여 농장주가 환경을 조절하는 시스템 등이 개발되어 활용되고 있다(Anurag et al., 2008; Nugroho et al., 2013; Lee et al., 2014). 또한 현재 미국, 일본 등 많은 국가에서 IoT(Internet of Thing) 기술을 접목한 웨어러블 센서를 이용하여 작업자 및 주변환경 파악과 작업자의 동작 보조를 위한 시스템의 개발 및 연구를 진행하고 있다(Fukatsu & Nanseki, 2009; Patil et al., 2015; Mishra et al., 2017).

본 연구는 양돈작업자의 웨어러블 센싱 장비 개발과제의 일환으로 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출량을 평가 및 비교하여 웨어러블 센싱 장비의 규격 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

방역상의 문제로 인해 본 연구에서는 전라북도 영광군 불갑면에 소재하는 농장을 선정하였으며 사육 규모는 약 15,000두로 다른 돈사들에 비해 두수 당 1m<sup>2</sup>의 넓은 사육밀도를 가졌다. 돈사의 형태는 무창돈사로 계열에 상관없이 모두 기계식 강제 자동 환기 시스템에 의해 운영되었다. 사료는 기존의 분말사료와는 달리 Gel형 사료로 급이 되었으며, 사료 및 급수는 작업자의 참여가 최소화되는 자동 급이 시스템이었다. 분뇨 처리는 슬러리 방식으로 돈방 전체가 슬러리 피트 형태였으며 비육돈사는 콘크리트 및 플라스틱, 자돈사는 플라스틱 슬러리로 구성되어 있었다. 대상 농가의 작업자 수는 약 20명으로 주로 3인 1조로 작업이 진행되었으며, 작업의 정도와 강도에 따라 작업자의 수가 다르게 운용되었다. 작업 별 작업자수는 돼지 선별 및 이동 2명, 분뇨 처리 2명, 분뇨 처리장 관리 3명 등으로 이루어져 있었다.

### 2. 측정 및 분석방법

측정 대상 작업은 작업자에게 액션캠을 부착하여 촬영한 데이터를 바탕으로 분류하였으며, 돈사 내부, 복도, 야외 등 작업위치나 작업 행동의 연속성을 근거로 하여 기준을 설정한 후 작업 확인 및 구분하였다.

작업에 따라 발생하는 작업자의 PM<sub>10</sub> 노출량은 기존 문헌에서 미세먼지를 측정하기 위해 사용된 Sidepak personal aerosol monitor(AM520, TSI, USA) 장비를 활용하여 측정하였다(Song et al., 2018; Kowalska et al., 2019; Zakaria et al., 2019). 측정을 위해 사용된 직독식 장비의 측정 범위 및 정밀도는 Table 1과 같다.

작업자의 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출량 차이를 알아보기 위해, 작업자의 신체부위별로 측정 기구를 부착하였다. 측정기구의 본체는 배낭에 삽입하였으며 공기 및 분진 흡입구는 작업자의 머리, 목, 허리 총 3곳에 위치하도록 하였다(Figure 1). 측정은 작업자의 작업시간에 따라 시행되었고 1초마다 PM<sub>10</sub> 노출량을 측정하였다. 각각

**Table 1.** Range and resolution of direct reading instrument for Sidepak

	Range	Resolution
PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	0.001-100	0.001



Figure 1. Measurement of PM<sub>10</sub> using direct-reading instrument

의 대상작업의 측정 시간은 10분을 기준으로 설정 하였으며, 10분 이상 측정이 되었다면 완료된 작업으로 판단하였다.

작업에 따른 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출량은 평균과 표준편차로 나타냈으며, 본 연구에서 수집된 데이터는 SPSS 18.0 및 Sigmaplot 10(SPSS, Chicago, USA)을 이용하여 분석하였다. 동일 신체 부위에서 각 작업간의 차이 및 동일 작업에서 각 신체부위별 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였고, 신체 부위간(머리-목, 목-허리, 머리-허리) PM<sub>10</sub> 농도 차이를 알아보기 위해 선형 회귀분석(Linear Regression)을 실시하였다.

### III. 연구결과

측정 대상 작업은 주로 비육사와 자돈사에서 이루어졌으며 액션캠을 이용하여 분류된 작업 중 기준에 맞는 대상작업은 3개로 나타났다(Table 2). 해당 작업들은 오후 2시~5시 사이에 진행되었으며 백신투여 작업의 측정 시간이 가장 길었고 돼지몰이, 분노처리 순으로 낮아졌다. 백신투여 작업은 돈방 내부에서 이루어졌으며 비육사의 경우, 돼지들을 돈방 구석으로 몰아 1명의 작업자가 백신을 투여하였고 자돈사의 경우, 작업자 1명이 돼지를 몰거나 돼지를 잡아 다른 작업자에게 주면 해당 작업자가 백신을 투여하는 방식이었다. 돼지몰이 작업은 2인 1조로 진행되었고 주로 돼지의 돈방 간 이동을 말하며 출하 시 돼지몰이도 포함되어있다. 분노처리 작업은 1~2명의 작업자가 진행하였고 슬러리로 빠져나가지 못한 분노들은 작업자가 각 돈방에서 제거하여 수레에 담은 후 분노처리장으로 운반하였다.

측정 대상 작업 중 신체부위별 PM<sub>10</sub> 농도는 백신투여 작업이 가장 높게 나타났으며, 3가지 대상 작업의 신체부위별 노출량은 작업에 관계없이 모두 허리의 PM<sub>10</sub> 노출량이 가장 높았으며 목, 머리 순으로 낮아졌다(Table 3).

동일 신체부위에서 각 작업간의 차이 및 동일 작업에서 각 신체부위별 비교 결과는 Table 3과 같다. 측정

Table 2. Classification of task used an action camera in pig house and measured time

Task	Measurement time(min)	Description of task
Vaccination	100.9	Injection of vaccine
Moving pigs	62.03	Transfer pigs to other pig room and move pig at shipment
Manure treatment	11.88	Removal of manure

Table 3. Concentration of PM<sub>10</sub> in body parts of each task

Task	Head( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Neck( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Waist( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$p$ -value <sup>1)</sup>
Total	57.94±38.22	64.60±46.33	65.88±58.82	< 0.01
Vaccination	62.64±43.33	70.93±53.38	71.63±60.48	< 0.01
Moving pigs	54.09±30.13	58.54±34.29	60.39±56.96	< 0.01
Manure treatment	38.16±12.41	42.52±15.36	45.74±45.45	< 0.01
$p$ -value <sup>2)</sup>	< 0.01	< 0.01	< 0.01	

Data are represented as Mean ± Standard Deviation

<sup>1)</sup> $p$ -value: Comparison of body parts in the same task (One-way ANOVA)

<sup>2)</sup> $p$ -value: Comparison of tasks on the same body part (One-way ANOVA)

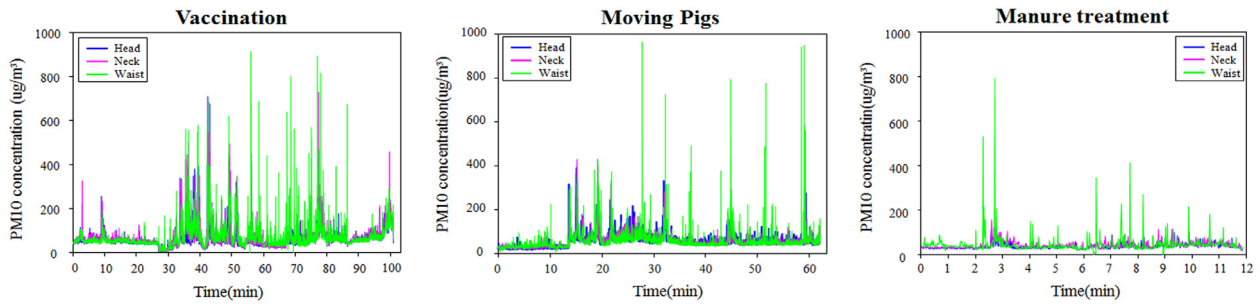


Figure 2. Variation of PM<sub>10</sub> concentration on time based among the tasks

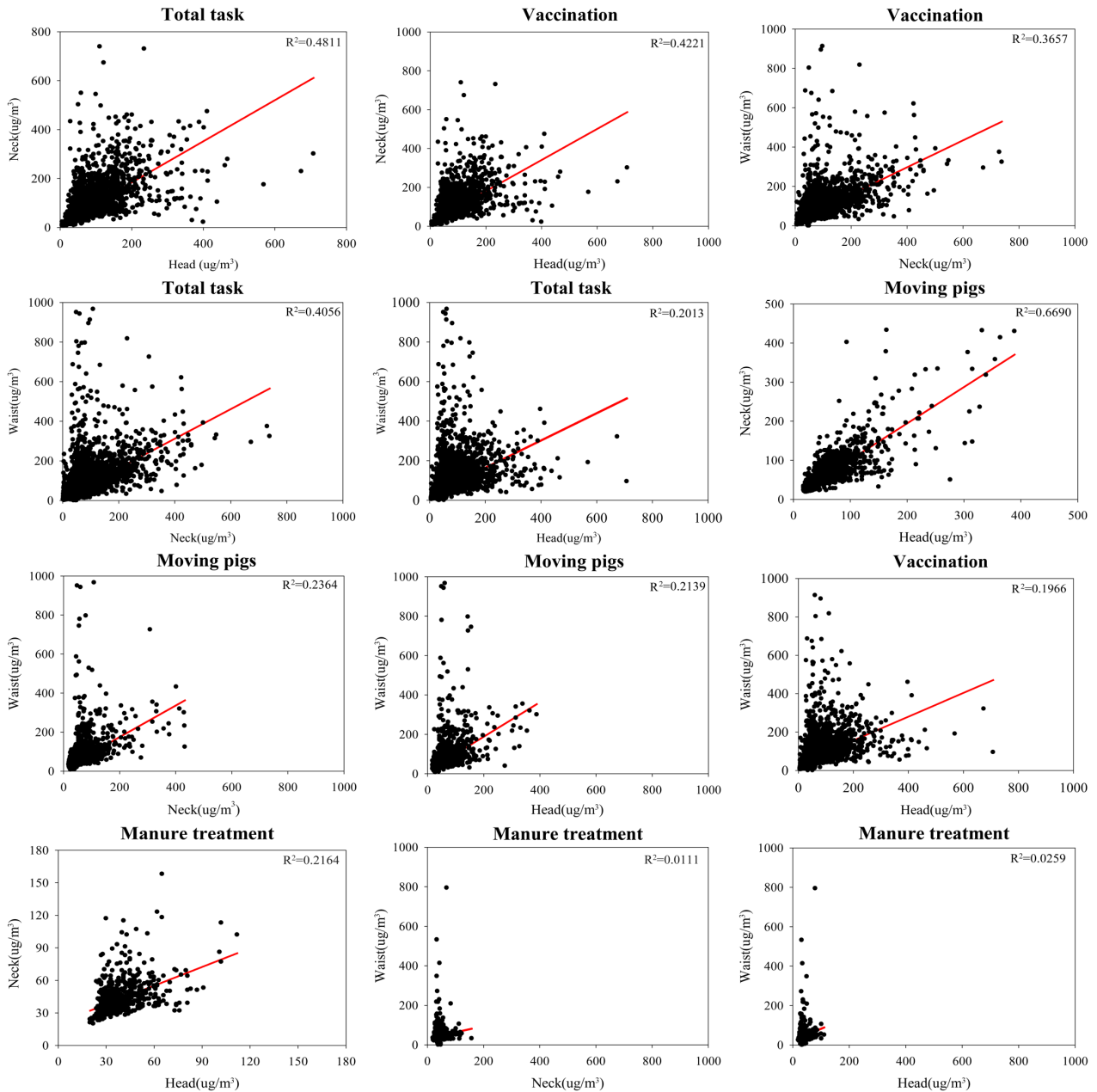


Figure 3. Comparison of R<sup>2</sup> between body parts(Head-Neck, Neck-Waist, Head-Waist) by tasks



대상 작업에서 머리-목, 목-허리, 머리-허리의 신체부위간 비교했을 때, 3가지 작업 모두 통계적으로 유의하였다. 또한 머리, 목, 허리의 각 신체부위에서 백신투여-돼지몰이, 백신투여-분뇨처리, 돼지몰이-분뇨처리의 작업간 차이는 모든 신체부위에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다.

작업에 따른 머리, 목, 허리의 시간대별 PM<sub>10</sub> 노출량 변화는 Figure 2와 같다. 동일 시점에서 3가지 측정작업의 PM<sub>10</sub> 농도는 대부분 허리에서 가장 높았으며, 각 작업별 허리 부위의 PM<sub>10</sub> 농도범위는 백신투여 작업 5~912  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 돼지몰이 작업 7~966  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 분뇨처리 작업 2~794  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 또한 호흡기 반경 30 cm 이내인 목 부위의 PM<sub>10</sub> 농도범위는 백신투여 작업 6~739  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 돼지몰이 작업 19~433  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 분뇨처리 작업 20~158  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

각 작업에 따른 신체부위간 PM<sub>10</sub> 노출량 비교 결과는 Figure 3과 같다. 3가지 대상작업을 합친 전체적인 신체부위간 비교 결과, 머리-목의 결정계수( $R^2=0.4811$ )가 가장 높았으며, 목-허리( $R^2=0.4056$ ), 머리-허리( $R^2=0.2013$ )로 신체부위간 거리가 멀수록 결정계수가 낮아졌다. 백신투여, 돼지몰이, 분뇨처리 작업도 머리-목의 결정계수( $R^2=0.4221$ ,  $R^2=0.6690$ ,  $R^2=0.2164$ )가 가장 높게 나타났다.

#### IV. 고 찰

국내·외적으로 돈사에서 발생하는 PM<sub>10</sub> 노출량에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. Oh et al.(2008)은 개방형 비육돈사에서 PM<sub>10</sub>의 발생량을 측정된 결과, 0.12  $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 농도를 보고하였다. Viegas et al.(2013)는 7개의 돈사에서 입자크기 별 분진의 농도를 측정했을 때, 모든 농장에서 PM<sub>10</sub>은 1.913~5.289  $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 노출 수준으로 가장 높은 것을 확인하였으며, Xu et al.(2016)는 계절별로 PM<sub>10</sub>의 농도를 측정된 결과, 봄 0.96±0.63  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 여름 0.34±0.14  $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 노출농도를 보고하였다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 지역시료의 PM<sub>10</sub> 농도만 확인하였으며, 양돈작업자의 개인노출에 대한 측정결과는 없었다.

본 연구에서 측정된 PM<sub>10</sub>의 개인노출 농도는 모두 0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ 이하로 확인되었으며, 기존 문헌과 비교하였을 때 매우 낮은 수준의 노출농도였다. 이러한 결과는 측정 시기가 7월 ~ 9월 초의 여름철로 돈방 내 온도를

낮추기 위하여 모든 팬과 덕트가 작동하였고 창문도 모두 개방된 상태였다. 또한 측정 대상 돈사는 일반 돈사의 분말 사료형태와 달리 Gel형의 사료를 사용하였고 환기 시스템이 타 농장에 비해 높은 기준(열량지수 1500 기준의 환기 시작점 설정)으로 환기량을 유지하여 분진 농도가 낮았던 것으로 판단된다.

돈사에서 분진 노출량은 측정 시기와 작업의 형태 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 겨울철에는 축사 내 온도 저하를 막기 위해, 환기 시스템의 작동을 최소화 하여 분진의 농도가 높아진다. 또한, 고농도의 분진이 발생하는 작업을 수행할 때 미세분진의 노출량이 증가하는 것으로 알려져 있다. Paik & Kim.(2013)의 연구에 따르면 사료 급이 업무를 수행하는 작업자의 분진 노출량은 총분진 2.14  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 호흡성분진 0.61  $\text{mg}/\text{m}^3$ 로 사료 급이 업무에 참여하지 않은 작업자(총분진: 1.81  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 호흡성분진: 0.53  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 보다 높게 나타났다. 본 연구에서는 축사 방역 정책으로 인해 측정 장소(비육돈사 및 자돈사)와 측정 기회가 제한되었고, 한정된 연구 인력 및 장비로 인하여 계절별 측정, 출하, 사료급여 작업 등에 대해 확장된 측정을 수행하지 못했다. 향후, 축산작업자의 PM<sub>10</sub> 개인 노출 특성에 대한 정확한 파악을 위해 돈사 내 고농도의 분진 발생량을 가진 축사환경(재래식 돈사)이나 돈사에서 이뤄지는 모든 작업에 대한 개인 노출량 연구가 필요할 것으로 생각된다.

측정 대상 작업 중, PM<sub>10</sub> 노출량은 신체부위에 상관 없이 백신투여 작업에서 가장 높게 나타났다. 백신투여 작업은 주로 돈방 안에서 행해지며 특정 돼지에게 주사를 놓기 위하여 돼지가 도망치지 못하게 돼지우리 문을 닫은 채로 진행된다. 이로 인해 제한된 공간에서 작업자

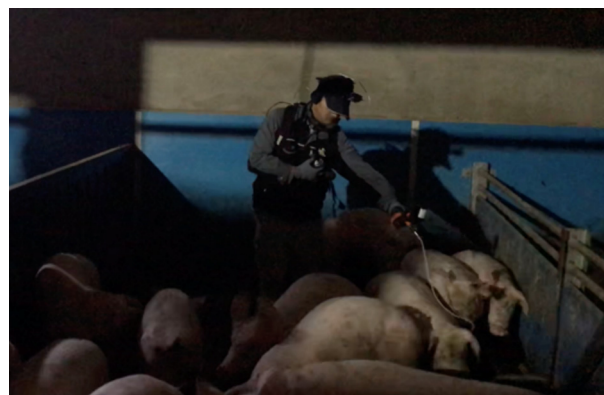


Figure 4. Vaccination in pig room

를 피해 도망치는 돼지의 움직임이 많아져 미세분진의 발생량이 증가된 것으로 생각된다(Figure 4).

반면 돼지몰이 작업은 돈방의 문을 모두 개방한 후 돼지를 이동시키기 위해 주로 돈사의 복도에서 진행되며, 분뇨처리 작업 또한 돈방의 문을 열어 놓은 상태에서 진행되고 돈방 내 돼지가 없을 때 주로 이뤄진다. 따라서 두 작업 모두 개방된 공간에서 진행되어 상대적으로 백신투여 작업보다 미세먼지의 농도가 낮게 나타난 것으로 보인다.

작업에 따른 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출량 차이는 모든 작업에서 허리, 목, 머리 순으로 높게 나타났다. 이는 백신투여, 돼지몰이, 분뇨처리 작업의 분진 발생원은 주로 돼지의 이동과 분뇨 등으로 돼지 이동 및 작업자의 움직임이 이루지는 허리 아래 위치에서 분진이 발생하여 허리 부위의 노출량이 높게 나타난 것으로 생각된다.

작업장에서 발생하는 미세먼지는 작업자들의 호흡기계에 영향을 주어 건강장애를 유발하므로 호흡기에서의 노출 평가는 필수적이다. 현재 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 작업자의 개인 노출평가를 위해 작업자의 호흡기를 중심으로 반경 30 cm 이내의 호흡위치에서 측정해야 한다고 규정하고 있다. 따라서 작업자의 개인노출을 평가할 때 적절한 위치에서 측정하는 것이 중요하다. Goller & Paik(1985)은 용접 작업자의 흠(Fume) 노출량을 알아보기 위해 신체 4부위(왼쪽 어깨, 오른쪽 어깨, 가슴 부위, 헬멧 안쪽)의 개인노출을 평가했다. 흠 농도는 헬멧 안쪽보다 왼쪽 어깨 2.8배, 오른쪽 어깨 1.7배, 가슴 부위 1.8배로 높게 나와 헬멧 안의 실제 호흡부위의 흠 농도는 헬멧 외부의 농도보다 36% 감소된 결과를 나타냈다.

본 연구에서는 기존의 분진 개인노출 평가 방법인 호흡기 반경 30 cm 이내인 목 부분을 중심으로 머리와 허리 위치에서의 PM<sub>10</sub> 노출량 편차를 측정된 결과, 신체부위간 거리가 멀어질수록 결정계수(머리-목: 0.4811, 목-허리: 0.4056, 머리-허리: 0.2013)가 떨어지는 경향을 보였다. 또한 백신투여(머리-목: 0.4221, 목-허리: 0.3657, 머리-허리: 0.1966), 돼지몰이(머리-목: 0.6690, 목-허리: 0.3893, 머리-허리: 0.2139), 분뇨처리(머리-목: 0.2164, 목-허리: 0.0111, 머리-허리: 0.0259)의 각 작업에 따른 결정계수도 신체부위간 거리가 멀어질수록 낮아지는 것을 확인하였다.

현재 농업에서 개발되고 있는 스마트팜에서는 농장의

환경을 관리하고 평가하기 위해 고정식의 가스 및 분진 센서를 도입하여 많이 사용하고 있지만, 고정형 센서는 부식 등으로 인한 센서 수명의 단축으로 내구성 문제가 제기되고 있는 상황이다. 또한 작업자를 대상으로 한 환경 측정 센서 및 관련 시스템의 개발은 현재 진행되고 있지 않다. 그러나, 센서의 수명 해결 및 작업자를 위해 기존의 측사환경 시스템과 연계한 개인노출 측정 시스템의 웨어러블 센싱 장비를 개발한다면 센서 수명의 연장뿐만 아니라 작업자의 노출 환경을 상시로 쉽게 평가할 수 있어 양돈작업자의 효율적인 건강 안전 관리가 이루어질 것이라고 판단된다.

웨어러블 센싱 장비 설계 시, 예상되는 문제점은 분진 센서의 크기 및 무게, 센서와 배터리간의 거리 및 연결방법, 작업자의 착용성, 센싱의 지속 시간, 정확도 및 신뢰도 등이 있다. 이 중, 작업자가 불편함을 느끼지 않고 작업을 방해하지 않는 착용성이 가장 중요한 요소이다. 웨어러블 장비에서 가장 무게가 많이 나가는 배터리의 위치를 인체 무게중심인 허리에 가깝게 위치하도록 해야 하지만, 센서와 배터리간의 거리가 멀어진다면 각각을 연결해주는 전선의 길이가 길어져 웨어러블 센싱 장비의 내구성에 문제가 생길 수 있다. 이와 관련하여 현재 고정형 센서를 대체하는 기술 개발 과제를 통해 양돈작업자를 위한 웨어러블 센싱 장비의 내구성 확인과 센서의 정확도 및 정밀도에 관한 연구가 진행 중에 있다.

본 연구에서는 양돈작업자의 웨어러블 장비 개발을 위해 착용성 등 앞서 언급한 조건을 고려하여 머리, 목, 허리에 센서를 위치시켜 PM<sub>10</sub> 노출량을 확인하였고 이를 기존 개인노출 평가 위치인 호흡부위에서 측정된 PM<sub>10</sub> 노출량과 비교 및 평가를 하였다. 또한 작업에 따른 머리-목, 목-허리, 머리-허리의 신체부위간 PM<sub>10</sub> 노출량을 비교하였다. 3가지 측정 대상작업에서 측정 부위의 기준점인 목을 중심으로 측정값을 비교했을 때, 신체부위간 거리에 따라 측정값이 영향을 받는 것으로 나타나 신체부위간 거리가 짧아질수록 결정계수가 높아진다는 경향성을 확인할 수 있었다. 또한 각 작업에 따른 PM<sub>10</sub> 노출량은 허리에서 가장 높아 모든 작업에서 비슷한 경향이 나타났다. 작업자를 위한 분진의 개인노출 평가 위치는 호흡기 반경 30 cm 이내로 정의되고 있지만, 본 연구의 신체부위에 따른 PM<sub>10</sub> 개인노출에 대한 결과와 웨어러블 장비 착용성 등의 고려사항을 생각할 때 측정 센서를 허리에 위치시켜 PM<sub>10</sub>의 노출량 예측

이 가능할 것으로 생각된다. 향후 양돈작업자의 다양한 작업에 대해 목과 허리 부위의 PM<sub>10</sub> 개인노출 평가를 실시하여 신체부위별 연계성을 확인하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 양돈작업자의 웨어러블 장비 개발을 위해 작업에 따른 신체부위별 및 신체부위간 PM<sub>10</sub> 노출량 차이를 비교하였다.

1. 양돈작업자의 머리, 목, 허리의 신체부위별 PM<sub>10</sub> 노출량 차이는 3가지 대상 작업 중 백신투여 작업(머리: 62.64±43.33 µg/m<sup>3</sup>, 목: 70.93±53.38 µg/m<sup>3</sup>, 허리: 71.63±60.48 µg/m<sup>3</sup>)이 가장 높았고, 측정 대상 작업 모두 허리(백신투여: 65.88±58.82 µg/m<sup>3</sup>, 돼지몰이: 60.39±56.96 µg/m<sup>3</sup>, 분뇨처리: 45.74±45.45 µg/m<sup>3</sup>)에서 PM<sub>10</sub> 노출량이 높게 나타났다.

2. 신체부위간 PM<sub>10</sub>의 노출량 차이는 백신투여, 돼지몰이, 분뇨처리 작업에서 머리-목의 신체부위간 거리가 짧을수록 결정계수(R<sup>2</sup>=0.4221, R<sup>2</sup>= 0.6690, R<sup>2</sup>=0.2164)가 높았으며, 신체부위간 거리가 멀어질수록 결정계수가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

양돈작업자를 위한 분진 웨어러블 센싱 장비 개발에 있어 정확한 측정을 위한 측정 센서의 올바른 위치 선정은 필수적이다. 본 연구는 양돈작업자를 위한 웨어러블 장비 개발의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 측정 센서의 위치에 관한 확장연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 가스상 물질 등 다양한 유해요인을 스마트팜의 환경관리 시스템과 연계하여 작업자의 개인 노출을 측정할 수 있는 기술의 개발 및 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 성과물은(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ012782042018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

Anurag D, Roy S, Bandyopadhyay S. AGRO-SENSE : Precision agriculture using sensor-based wireless

mesh networks. First ITU-T Kaleidoscope Acad Conf 2008. p. 383-388

Bottcher R W. An environmental nuisance : odor concentrated and transported by dust. Chem Senses 2001; 26(3): 327-331

Cambra-lópez M, Torres A G, Aarnink A J A, Ogink N W M. Source analysis of fine and coarse particulate matter from livestock houses. Atmos Environ 2011; 45(3): 694-707 (<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.10.018>)

Chang C W, Chung H, Huang C F, Su H J. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydro-gen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses. Ann Occup Hyg 2001; 45(6): 457-465 ([https://doi.org/10.1016/S0003-4878\(00\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0003-4878(00)00081-8))

Donham K, Haglund P, Peterson Y, Rylander R, Belin L. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. Br J Ind Med 1989; 46(1): 31-37

Donham K J, Lange J L, Kline A, Rautiainen R H, Graff L. Prevention of occupational respiratory symptoms among certified safe farm intervention participants. J Agromedicine 2010; 16(1): 40-51 (<https://doi.org/10.1080/1059924X.2011.532761>)

Donham K J, Scallon L J, Pependorf W, Treuhaft M W, Roberts R C. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. Am Ind Hyg Assoc 1986; 47(7): 404-410

Fukatsu T & Naseki T. Monitoring system for farming operations with wearable devices utilized sensor networks. Sensors 2009; 9(8): 6171-6184 (<https://doi.org/10.3390/s90806171>)

Goller J & Paik N. A Comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets. Am Ind Hyg Assoc 1985; 46(2): 89-93

Hagmar L, Schlitzl A, Hallberg T, Sjöholm A. Health effects of exposure to endotoxins and organic dust in poultry slaughter-house workers. Int Arch Occup Environ Health 1990; 62(2): 159-164

International Labor Office(ILO). Safety and Health in Agriculture, 2000

Karttunen J P, Rautiainen R H. Distribution and characteristics of occupational injuries and disease among farmer: A retrospective analysis of workers' compensation claims. Am J of Ind Med 2013; 56(8): 856-869 (<https://doi.org/10.1002/ajim.22194>)

Kim HA, Kim JY, Shin KM, Jo JH, Roque K, et al. Relationship between endotoxin level of in swine

- farm dust and cellular immunity of husbandry workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013; 23(4): 393-401
- Kim K, Kim I, Kim H, Lee K, Chae H. A survey on the present state of occurrence of safety accidents and safety and health management levels among swine farmers. *J Environ Heal Sci* 2014; 40(5): 413-424
- Kowalska M, Mainka A, Mucha W. The usefulness of an optical monitor for the assessment of human exposure to fine dust in indoor air. *Med Pr* 2019; 70(2): 213-20 (<https://doi.org/10.13075/mp.5893.00780>)
- Lee CY, Park GJ, Lee Y H. Growth environments analysis and control technologies for the increasing of the mushroom productivity based on ICT. *J People Plants Environ* 2014; 17(87): 351-356
- Mishra R K, Hubble L J, Mart A, Kumar R, Bar A, Kim J, et al. Wearable flexible and stretchable glovebio-sensor for on-site detection of organophosphorus chemical threats. *Am Chem Soc* 2017; 2(4): 553-561 (<https://doi.org/10.1021/acssensors.7b00051>)
- Nugroho A P, Okayasu T, Inoue E, Hirai Y, Mitsuoka M. Development of actuation framework for agricultural informatization supporting system. *IFAC Proceedings Volumes* 2013; 46(4): 181-186 (<https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00041>)
- Oh IH, Kim WG, Lee HS. An air cleaning efficiencies of wet air cleaner in the swine finishing winch curtain stall. *J. Lives & Env* 2008; 14(2): 75-80
- Olson D K, Bark S M. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. *AAOHN J* 1996; 44(4): 198-204
- Paik JM, Kim KY. Comparison of dust exposure levels among farmers with and without feeding. *J Korean Soc of Occup Environ Hyg* 2013; 23(2): 103-107
- Patil P A, Jagyasit B G, Ravalt J, Warke N, Vaidya P P. Design and development of wearable sensor textile for precision agriculture. *ACS Sensors* 2015. p. 1-6 Smartfarm. <http://smartfarmkorea.net>
- Song XY, Lu QC, and Peng ZR. Spatial distribution of fine particulate matter in underground passageways. *Int J Environ Res and Public Heal* 2018; 15(8): 1574 (<https://doi.org/10.3390/ijerph15081574>)
- Takai H, Pedersen, S, Johnsen J O, Metz J H M, Groot Koerkamp P W G, et al. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agri Eng Res*, 1998; 70(1): 59-77(<https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0280>)
- Viegas S, Mateus V, Almeida-Silva M, Carolino E. Occupational exposure to particulate matter and respiratory symptoms in portuguese swine barn workers. *J Toxicol Environ heal Part* 2013; 76(17): 1007-1014(<https://doi.org/10.1080/15287394.2013.831720>)
- Von E S & Donham Kelley. Illness and injury in animal confinement workers. *Occup Med* 1999; 14(2): 337-350
- Wunschel, J, & Poole, J A. Occupational agriculture organic dust exposure and its relationship to asthma and airway inflammation in adults. *J assthma* 2016; 53(5): 471-477 (<https://doi.org/10.3109/02770903.2015.1116089>)
- Xu, W, Zheng, K., Meng, L, Liu, X, Hartung, E, et al. Concentrations and emissions of particulate matter from intensive pig production at a large farm in North China. *Aerosol and Air Qual Res* 2016; 16(1): 79-90(<https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.02.0078>)
- Zakaria M F, Ezani E, Hassan N, Ramli N A, Wahab M I A. Traffic-Related Air Pollution(TRAP), air quality perception and respiratory health symptoms of active commuters in a university outdoor environment. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2019; 228(1): 012017 (<https://doi.org/10.1088/1755-1315/228/1/012017>)

#### <저자정보>

신소정(석사후연구원), 김효철(농업연구사), 김경란(농업연구관), 서민태(농업연구사), 박수인(농업연구사), 김경민(연구원), 김경수(농업연구사)