

## 축산관련차량 이동에 따른 도로의 에어로졸 발생량 분석

서일환 · 이인복\* · 황현섭\* · 배연정 · 배승중 · 문운경\*\*

서울대학교 그린바이오과학기술연구원

\*서울대학교 생태조경·지역시스템공학부, 서울대학교 농업생명과학연구원

\*\*농림축산검역본부 역학조사과

## Aerosol Emission from Road by Livestock Transport Vehicle Movement

Seo, Il-Hwan · Lee, In-Bok\* · Hwang, Hyun-Seob\* · Bae, Yeon-Jeong

Bae, Seung-Jong · Moon, Oun-Kyung\*\*

*Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University*

*\*Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Research Institute for Architecture and Life Science, Seoul National University*

*\*\*Veterinary Epidemiology Division, Animal and Plant Quarantine Agency*

**ABSTRACT** : Most of livestock houses are concentrated in certain area with mass rearing system resulting in rapid spread of infectious diseases such as HPAI (highly pathogenic avian influenza). The livestock-related vehicles which frequently travel between farms could be a major factor for disease spread by means of transmission of airborne aerosol including pathogens. This study was focused on the quantitative measurement of aerosol concentration by field experiment while vehicles were passing through the road. The TSP (total suspended particle) and PM10 (particle matter) were measured using air sampler with teflon filter installed downward the road with consideration of weather forecast and the direction of road. And aerosol spectrometer and video recorders were also used to measure the real-time distribution of aerosol concentration by its size. The results showed that PM2.5 was not considerable for transmission of airborne aerosol from the livestock-related vehicle. The mass generated from the road during the vehicle movement was measured and calculated to 241.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  by means of the difference between TSP and PM2.5. The dispersion distance was predicted by 79.6 m from the trend curve.

**Key words** : Air sampling, CFD (computational fluid dynamics), HPAI, livestock disease

### 1. 서 론

고병원성 조류 인플루엔자 (HPAI, Highly Pathogenic Avian Influenza)는 원천적으로 예방이 매우 어려우며, 질병을 유발하는 병원체가 다양한 경로로 우리나라로 유입 및 확산된다. 우리나라에서는 2000년대 이후로 매우 빈번하게 HPAI가 발생하고 있으며 발생 시기마다 수천억 원의 천문학적인 방역, 살처분, 보상비용이 소요되고 있

는 실정이다. 특히 2008년도 김제에서 발생한 HPAI의 경우 방역, 살처분 및 농가 보조금, 육가공 및 유통단계, 소비자 판매를 위한 외식업, 소매업체 등 최대 1조 2,000 억원의 직간접적 손실이 발생한 것으로 추정된 바 있다 (Woo et al, 2008). 축산 전염성 질병은 질병이 상재되어 있는 국가들과의 지속적인 교류 및 철새의 이동 등으로 인한 바이러스의 유입으로 발생할 가능성이 있으며 동시에 사육환경의 밀집화 및 집단화로 인하여 피해는 점점 커질 것으로 예상되고 있다.

축산관련 전염성 질병의 확산을 예측하고 적절한 대책을 마련하기 위해서는 인적 물적 이동에 따른 직접적

Corresponding author : Lee, In-bok

Tel : 02-880-4586

E-mail : iblee@snu.ac.kr

인 접촉에 의한 전파, 공기를 통한 전파, 야생 조수류, 축산관련차량의 이동을 통한 전파 등 다양한 요인을 고려해야 한다. 일반적으로 축사는 특정지역에 밀집되어 있는 경우가 많기 때문에 인근에 소재한 사료회사, 동물약품, 가축출하차량 등 축산관련차량의 왕래가 매우 빈번하다. 이들 차량의 경우 다수의 농장을 빈번하게 드나들기 때문에 질병에 오염된 농장을 방문하거나 질병에 감염된 가축을 이동시킬 경우 먼지, 분변, 사료 입자 등 바이러스를 포함하는 에어로졸을 대기 중으로 확산시킬 위험이 있다. 또한 이들 차량이 농장에 자주 방문함으로써 상대적으로 방역에 소홀한 경우가 많기 때문에 그 위험성이 크다고 할 수 있다.

일반적으로 HPAI에 감염된 동물은 배설, 기침 등으로 많은 바이러스를 배출하며 이들은 공기 중으로 직접 또는 건조 후 비산된다. 또한 축사에 사료 등으로 인하여 발생하는 에어로졸에 흡착되어 공기 중에서 멀리까지 확산된 후 호흡기를 통하여 공기 중으로 전파될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Wright and Webster, 2001, Webster, 2002, Treanor, 2005). 특히 AI에 감염된 조류는 배설, 기침, 코의 분비물 등으로 많은 양의 바이러스를 배출하며 (WHO, 2007), 이들에 의하여 생성되는 미세 에어로졸은 호흡기의 하위부분까지 직접 침투가 가능하므로 질병의 발생 및 확산에 중요한 역할을 한다. 따라서 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸을 매개로 한 병원체가 도로인근농장으로 줄 수 있는 위험성에 대한 정량적인 연구가 필요하다.

현장실험을 통하여 바이러스의 공기 중 전파 메커니즘을 분석하기 위한 노력은 많은 연구진들에 의하여 이루어져 왔으나, 아직까지 명백한 결과를 제시하고 있지는 못한 실정이다. 이는 현장실험을 수행함에 있어서 불안정한 현장의 환경 조건은 물론 공기 중에 매우 미세한 양으로 확산되는 바이러스를 적절하게 포집할 수 있는 획기적인 방안이 없기 때문이며, 또한 바이러스를 직접적으로 다뤄야 한다는 측면에서 안전상의 문제 등이 있기 때문이다. 이를 극복하고자 Ijaz et al. (1987), Tsukamoto et al. (2007) 등은 격리된 실험 공간에서의 공기 중 바이러스의 순환을 통하여 가축의 질병 감염률 및 폐사율을 분석한 바 있다. 또한 현장실험의 한계를 극복하기 위하여 중규모 기상장 모델 또는 전산유체역학 시뮬레이션 등을 활용하여 질병 또는 바이러스의 확산 현상을 모의하고자 하는 연구가 최근 시작되고 있다 (Weber and Stilianakis, 2008, Gloster et al. 2010, Seo et al., 2011). 하지만 대부분의 연구는 발생원을 농장으로 국한시키고 있으며, 이 때 발생원의 농도는 현장 조사를 바탕으로 한 농장의 에어로졸 농도를 사용하는 것이 일

반적이다. 그러나 도로에서 축산관련차량의 이동 시 발생하여 도로 인근으로 확산되는 에어로졸의 확산 메커니즘 및 확산되는 농도를 분석한 사례는 거의 없으며, 관련된 연구도 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도로에서 확산되는 에어로졸의 질병 확산 영향성을 평가하기 위한 전산유체역학 시뮬레이션 모델의 기초자료로 활용하기 위하여, 현장실험을 통하여 축사 인근 도로에서 축산관련차량이 왕래하는 동안 발생하는 에어로졸의 농도를 측정하여 도로 인근으로 병원체를 포함하는 에어로졸이 얼마나 확산될 수 있는지에 대한 연구를 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험대상지역 선정

축산관련차량의 이동에 따른 에어로졸의 발생 및 주풍에 의한 인근 지역 확산을 분석하기 위하여 2008년도 HPAI 발생지인 전북 김제 지역을 방문하여 실험 대상지역을 선정하였다. 해당 지역은 육계, 산란계, 토종닭, 종계, 오리 등의 가금류 농장이 매우 밀집되어 있으며, 다수의 사료 공장 및 대형 도축 시설이 위치해 있으므로 축산관련차량의 이동 빈도가 매우 높다. 실험은 2009년 9월 30일 (실험 1)과 11월 5일 (실험 2) 2차례 전북 익산시 용동면 일대에서 수행하였다. 실험 대상지역은 인근에 다수의 계사가 있을 뿐 아니라 대형 도축장이 소재하고 있어 축산관련차량, 특히 가축운반차량의 통과 빈도가 높은 지역이다 (Fig. 1). 도로에서 축산관련차량이 이동할 때의 에어로졸의 확산을 분석하기 위하여 기상청의 날씨 예보를 바탕으로 해당 실험일의 주풍 방향을 예측한 후 도로망이 주풍에 수직으로 배치되어 있어 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸이 바람에 의하여 풍하측으로 확산되는 농도를 측정할 수 있으며, 안정적인 기류에 의하여 확산되는 에어로졸의 농도 측정을 위하여 인근에 높은 산, 나무 등이 적고, 사람들의 왕래가 적으며, 센서를 설치하기 용이하도록 평지가 도로에 인접해 있는 지역을 선정하였다 (Fig. 2).

### 2. 현장 실험 장비

축산관련차량의 이동시 발생하는 에어로졸의 농도를 측정하기 위하여 기상대, Aerosol spectrometer, 공기 샘플러 등을 사용하였다. 휴대용 자동관측 기상대 (Fig. 3a)는 실험 대상지역 내의 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량과 같은 기상 환경을 실시간으로 측정하여 1분 간격으로 데이



Figure 1 Livestock transport vehicles carrying broilers form livestock farm to slaughter house.



Figure 2 Experimental site 1 (left) and 2 (right) considering the road direction perpendicularly with the principle wind direction which had been forecasted by Korean meteorological administration.

터를 저장하였다. 기상대는 공기 중 에어로졸의 농도를 측정하고 샘플링하는 장소에서 약 5 m 가량 떨어진 곳에 설치하였으며, 주위에 공기의 흐름에 영향을 주는 장애물이 없으며 구름의 영향을 받지 않도록 가급적 열린 공간에 설치하였다. 에어로졸의 농도는 크게 두 가지 방법으로 측정하였다. 소용량 공기 샘플러 (Universal Sample Pump, SKC, USA)는 대기 중에 부유하는 에어로

졸을 샘플링 펌프를 이용하여 필터에 포집하는 장치이다 (Fig. 3c). 본 연구에서는 데시게이터를 사용하여 24시간 이상 건조한 Teflon 필터를 사용하여 에어로졸을 포집한 후 다시 데시게이터에서 24시간 건조한 후 무게를 칭량함으로써 전후의 무게차이를 토대로 대기 중 에어로졸의 농도를 측정하였다. 측정은 각 실험별로 총 4시간동안 수행되었으며, TSP (Total suspended particle)의 경우 카세



Figure 3 The instruments for measuring of the dispersed aerosols from the road from the livestock transport vehicles; a) portable weather station, b) aerosol spectrometer, and c) air sampler with filter.

트 및 Teflon 필터 만 사용하여 2 L/min 의 유량으로, PM10 (Particle matter 10 mm)의 경우 싸이클론을 장착하여 4 L/min 의 유량으로 각각의 용도 및 사용 방법에 따라 포집하였다. 또한 바람이 많이 불 경우 공기 중에 부유하는 에어로졸의 포집율이 떨어지지 않도록 다공성 케이스를 제작하여 포집구의 공기 유속을 떨어뜨리고자 하였다. 동시에 Aerosol spectrometer (Grimm 1.108, Grimm, Germany)를 사용하여 입경별 에어로졸의 농도를 실시간으로 측정하였다 (Fig. 3b). 이 장비는 광 산란 방식 및 중량 측정법으로 동시 측정이 가능하며 TSP, PM10, PM2.5 등과 같이 다양한 입경별 농도를 실시간으로 측정이 가능하다.

### 3. 실험 방법

실험 1은 2009년 9월 30일 오후 2시부터 6시까지 실험이 진행되었다. Fig. 4는 실험 장비의 설치 상황을 요약한 것으로 총 20대의 소용량 공기 샘플러를 사용하여 TSP와 PM10을 각각 37 mm teflon 필터를 사용하여 포집한 후 무게 칭량을 통하여 에어로졸의 질량을 측정하였다. 장비의 설치 위치는 기상청 데이터를 바탕으로 주

풍으로 예측되었던 북동풍을 기준으로 하여 2차선 도로의 북동쪽 풍상측에 2개의 지점을 선정하여 도로로 유입되는 공기를 포집하였으며, 풍하측에 해당되는 도로의 남서쪽으로 도로에서부터 1 m, 4 m, 7 m, 10 m 거리에 있는 8개의 지점에 각각 2 개씩 공기 샘플러를 설치하여 총 20개의 공기 샘플러를 사용하여 TSP와 PM10을 측정하기 위한 에어로졸을 2시부터 6시까지 총 4시간 동안 포집하였다. 모든 포집기는 바닥의 영향을 최소화하기 위하여 바닥에서 1 m 높이에 설치하였다. 또한 풍하측으로 공기 샘플러를 설치한 4 가지 거리에 따라 Aerosol spectrometer를 사용하여 30분씩 4차례 위치를 바꾸어가면서 실시간 입경별 농도 분포를 측정하였다.

실험 2는 2009년 11월 5일에 바뀐 주풍 방향에 따라서 센서 설치가 용이한 인근 지역을 대상으로 동일한 실험을 수행하였다. Fig. 5는 실험 대상 지역에 설치한 실험 장비의 배치도를 나타낸 것이다. 기상청 날씨 정보를 바탕으로 주풍방향으로 예상되었던 남서풍을 기준으로 하여 도로와 평행하게 풍상측에 3 지점 및 도로의 풍하측에 4열로 총 15개의 측정 포인트를 대상으로 실험을 수행하였다. 바닥에서의 영향을 최소화하기 위하여 포집 샘플러에 연결된 튜브를 지상에서 약 1m 높이에 파이프

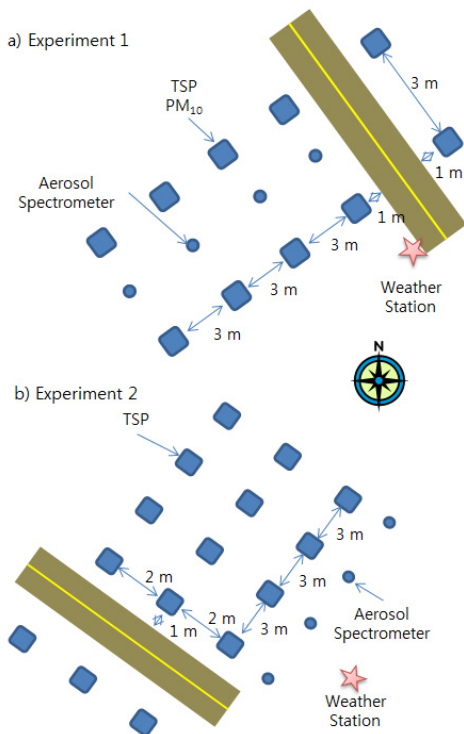


Figure 4 Installation of instruments including weather station, air sampler, and aerosol spectrometer aside from the road for a) experiment 1 on 30th Sep. 2009 and b) experiment 2 on 5th Nov. 2009.



를 사용하여 고정하였으며 오후 2시부터 6시까지 총 4시간 동안 2 L/min 의 유량으로 TSP를 포집하였으며, 유동에 영향을 주지 않을 정도의 인근에 기상대를 설치하였다. 또한 Aerosol spectrometer 는 각 30분 간격으로 위치를 이동해 가면서 입자별 농도 분포를 측정하였으며, 디지털 캠코더를 설치하여 전 실험 기간 동안 설치한 장비의 바로 앞을 지나가는 차량을 촬영하여 차량이 지나가는 순간의 입경별 농도 분포의 변화를 비교 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 실험 1 (2009.09.30.)

실험 1 기간 동안의 풍향은 거의 일정하게 북동풍으로 유지되었으며, 풍속은 2 m/s 이내의 낮은 풍속으로 유지되었다. 기상예보와 동일하게 도로를 기준으로 장비들을 설치한 쪽이 풍하측이 되었으며, 상대 습도는 57 - 73 % 사이로 점차로 증가하는 편이었으며, 온도는 최고 26.2도에서 23.0도로 시간에 따라 점차 감소하였다. Fig. 5는 공기 샘플러를 사용하여 포집한 에어로졸의 농도를 포집 위치에 따라 나타낸 것이다. 도로의 풍상측 농도는 TSP와 PM10는 각각 146, 115  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 도로를 지난 후 TSP의 경우 도로 바로 옆인 1 m 보다 4 m 에서 약 30 % 더 높은 농도를 나타냈다. 이는 차량의 이동에 따라 발생해서 확산되는 에어로졸이 차량의 이동에

의한 돌풍의 영향으로 바닥에서 1 m 높이에서는 도로 바로 옆 보다는 다소 거리가 떨어진 지역으로 먼저 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 PM10의 경우 1~7 m 까지는 거리에 따라 감소되는 경향을 나타내었다. 실험 1의 경우 공사를 위하여 땅을 정리해 둔 곳에 센서를 설치하였으며, 10 m 뒤쪽으로 공사용 차량의 이동이 몇 차례 있었으며, 이 때 바닥의 먼지가 날려 잠시 동안 공기 중 에어로졸의 농도가 높아졌으며, 이로 인하여 10 m 의 공기 포집기로 포집된 에어로졸의 농도가 상대적으로 높은 수치를 보였다.

Fig. 6은 공기 샘플러를 설치한 것과 동일한 위치인 도로에서 1, 4, 7, 10 m 떨어진 위치에서 Aerosol spectrometer를 사용하여 30분씩 실시간으로 입경별 에어로졸의 농도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 도로에서 1m 떨어진 곳에서 측정한 실험 결과 최대 446.4 - 최소 32.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보이고 있으며 총 2차례의 농도 상승이 있었다. 해당 지역은 왕복 2차선 도로로 차량이 드물게 한 대씩 통과하는 경향을 보이는 한적한 지역으로 각각 2번의 농도 상승은 차량의 이동 시기와 일치하는 것으로 판단된다. 도로에서 4m 떨어진 곳에서 측정한 실험 결과 최대 292.3 ~ 최소 37.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 약 5차례의 농도 상승 구간이 발생하였다. 도로에서 7m 떨어진 곳에서 측정한 실험 결과 최대 277.4 - 최소 38.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 총 2차례의 농도 상승이 발생하였다. 도로에서 10m 떨어진

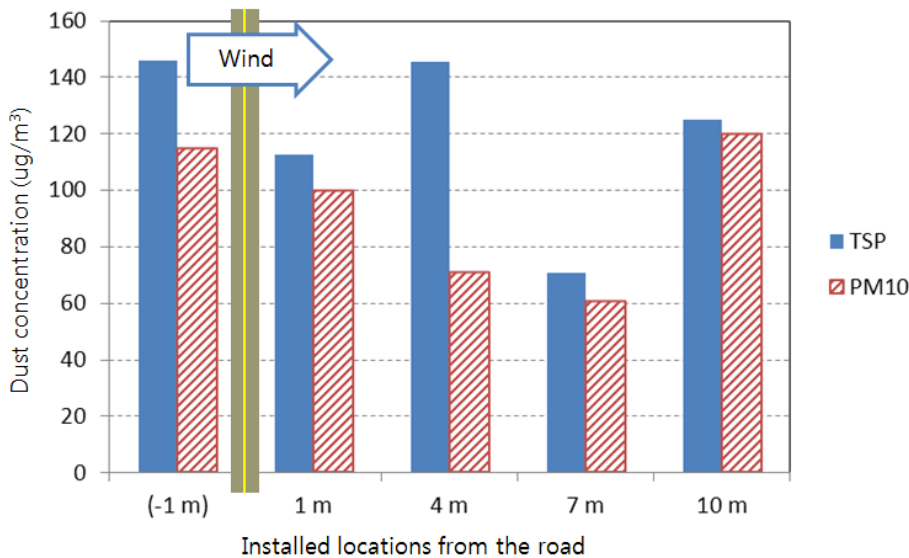


Figure 5 Dust concentration of TSP and PM10 gathered by air sampler with teflon filter downwind and upwind from the road during experiment 1.

곳에서 측정된 실험 결과 최대 197.6 - 최소 61.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 분포를 보였으며, 총 4차레의 농도 상승이 발생하였다. 이들 농도의 전체 측정 시간동안의 평균 TSP, PM10, PM2.5 등의 농도를 비교 분석하는 것은 한번에

한 곳에서만 측정이 가능하였기 때문에 큰 의미를 부여하기가 어렵다. 반면 특정 시기 즉, 축산관련차량이 지나가는 순간에 에어로졸의 농도가 증가하는 순간을 기준으로 하여 거리에 따른 축산차량 통과 시점의 농도 변화를 비

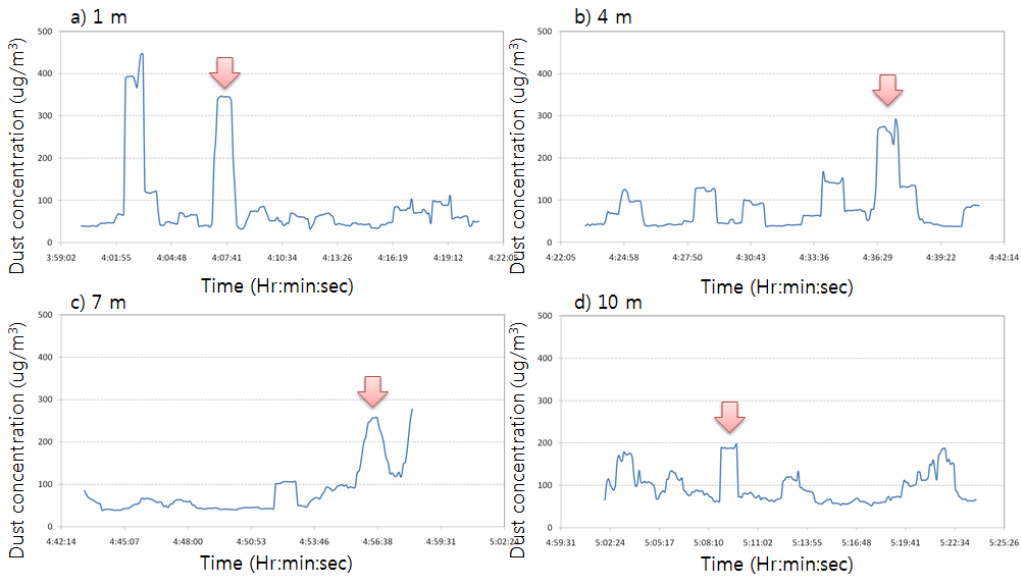


Figure 6 Real time dust concentration distributions measured by aerosol spectrometer for each 30 minutes at each point which was same distance from the road with installed air sampler during experiment 1: each arrow represent the time when livestock transport vehicles were passed through the road.

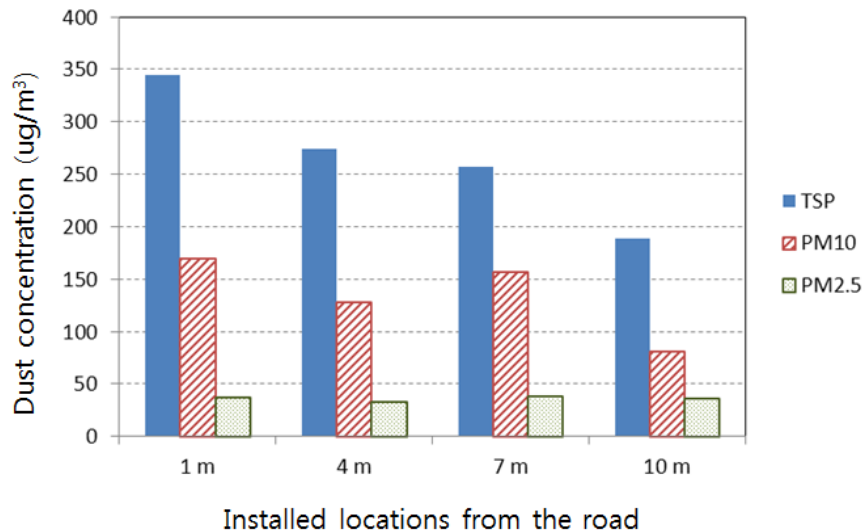


Figure 7 Dust concentration of TSP, PM10, and PM2.5 according to the distance of measuring point from the road when livestock related vehicle was passed through during experiment 1.

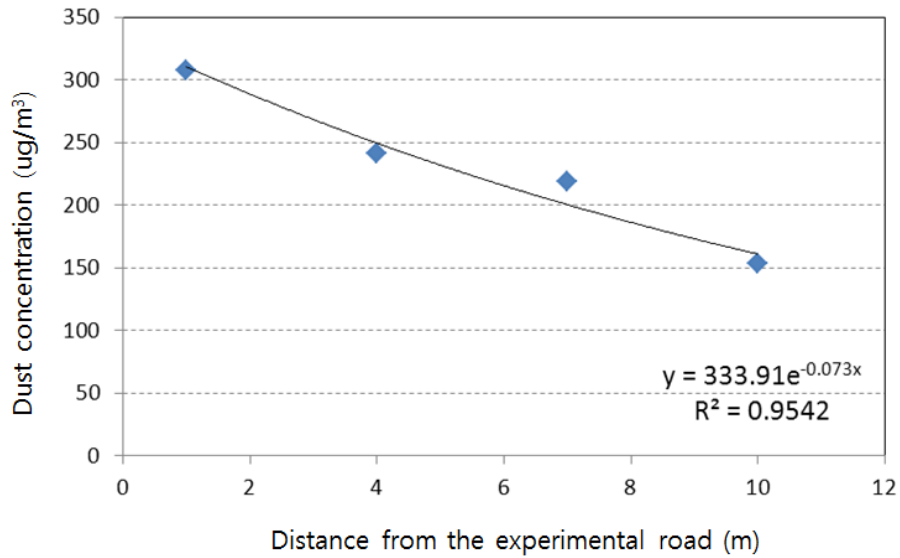


Figure 8 Dust concentration with over 2.5  $\mu\text{m}$  size of aerosols according to the distances from the road.

교분석하고자 하였다. Fig. 7은 Fig. 6의 화살표로 표시한 축산관련차량이 지나가는 순간의 입경별 에어로졸의 농도를 TSP, PM10, PM2.5로 나타낸 결과이다. TSP와 PM10은 도로 바로 옆인 1 m 떨어진 곳에서부터 10 m 떨어진 곳으로 이동하는 동안 각각 약 45.2 % 와 52.3 % 감소되는 경향을 보였으며, 대체적으로 거리에 따라서 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 PM2.5의 경우 거리에 따라서 농도의 변화가  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이내로 거의 변화가 나타나지 않았다. 이를 바탕으로 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸은 대체로  $10 \mu\text{m}$  전후의 입자로 예측할 수 있었다. 이를 바탕으로 Fig. 8은 축산관련차량이 통과하는 순간의 TSP와 PM2.5 사이의 에어로졸의 농도값을 나타낸 것으로 이를 바탕으로 농도가 0 이 되는 순간을 축산관련차량이 영향을 미치는 거리로 가정하여 일반적인 농도 감소를 나타내는 로그 추세선을 바탕으로 하여 계산한 결과 약 79.6 m 의 거리만큼 영향을 미칠 것으로 예상되었다. 이는 발생하는 에어로졸의 상당수가  $10 \mu\text{m}$  보다 큰 입경을 가질 것으로 예상되어 발생하는 에어로졸의 농도 (TSP-PM10)가 중력에 의하여 빠른 시간에 지면으로 강하하였기 때문으로 판단된다.

## 2. 실험 2 (2009.11.05.)

실험 2 기간 동안의 풍향은 기상청 예보와 유사하게 남서풍을 유지하였으며, 평균 1.2 m/s의 낮은 풍속이 관

측되었으며, 상대 습도는 48 - 51 %, 온도는 20.7에서 19.8도로 시간에 따라 점차 감소하였다. Fig. 9는 공기 샘플러를 사용하여 도로의 풍상측 및 풍하측에 거리별로 각각 3지점, 총 15지점에서 4시간 동안 Teflon 필터를 사용하여 포집한 TSP의 농도를 나타낸 것이다. 도로에서 풍하측으로 1 m 떨어진 지점에서 3반복으로 측정된 TSP 농도는  $90.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  였으며, 4 m 떨어진 지점에서의 농도가 약 70.5 % 높은  $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 결과를 보였다. 이는 도로에서 1 m 떨어진 센서의 설치위치 바로 앞쪽으로 도로변에 잡초가 약 50 cm 높이로 자라 있었는데 이들이 일종의 방풍벽의 역할을 하여 바로 뒤에 설치되어 있는 공기 샘플러 쪽으로 직접적으로 유입되는 공기를 흐름을 방해하였기 때문으로 판단된다. 따라서 풍상측으로 1 m 떨어진 지점에서 측정된  $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$  농도 보다 약 23.5 % 낮은 에어로졸이 포집되었다. 이와 같은 이유로 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸은 1 m 의 센서를 넘어 4 m 이후로부터 영향을 주는 결과를 보였으며, 4 m 이후로는 에어로졸의 농도가 감소하는 경향을 보여 10 m 떨어진 곳에서는 4 m 지점보다 약 27.5 % 농도가 감소하는 결과를 보였다.

도로에서 풍하측으로 1, 4, 7, 10 m 떨어진 지점에서 실시간으로 입경별 공기 중 에어로졸의 농도를 측정함과 동시에 디지털 레코더를 설치하여 녹화한 비디오를 분석하여 지나가는 차량의 종류 및 축산관련차량의 통행 빈도를 추적하고, Aerosol spectrometer의 농도값이 상승하

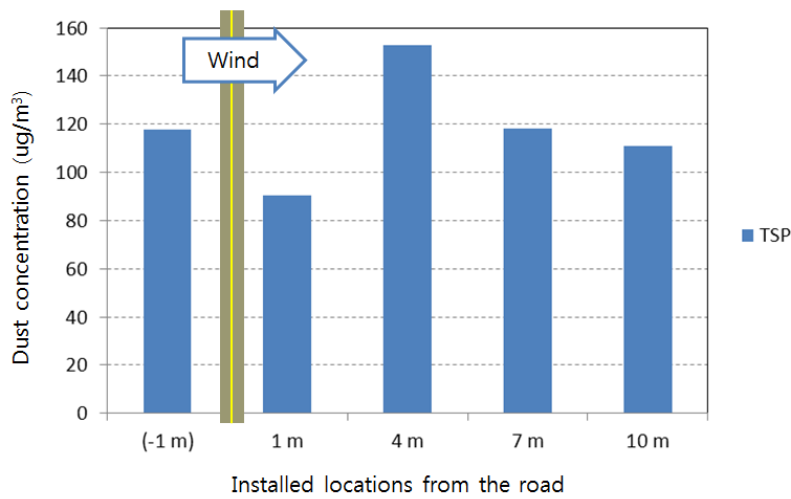


Figure 9 Dust concentration of TSP gathered by air sampler with teflon filter downwind and upwind from the road where livestock transport vehicles had been passed through during experiment 2.

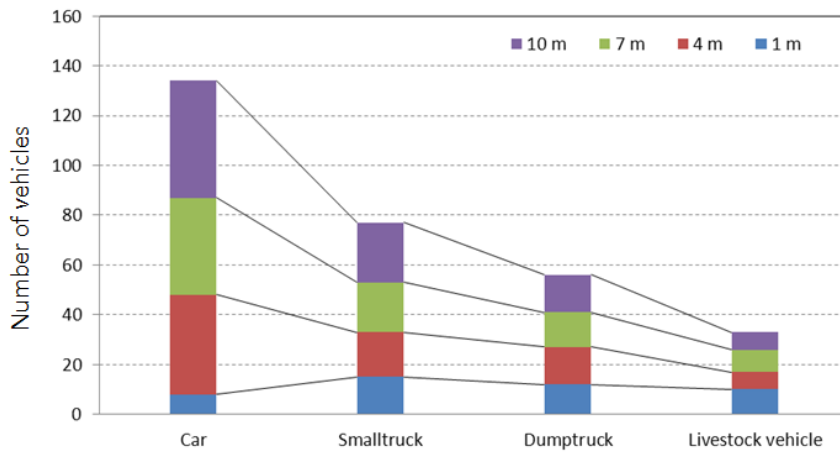


Figure 10 Number of vehicles pass through the road during the measuring period using aerosol spectrometer every 30 min at each distance from the road. .

는 원인이 되는 차량을 추적하고자 하였다. Fig. 10은 도로에서 풍하측 거리별로 30분씩 Aerosol spectrometer로 실시간 입경별 에어로졸 농도 분포를 측정할 시기에 대상 도로를 통과한 차량의 종류별 대수를 분석한 결과이다. 가장 먼저 측정된 1 m 지점에 대한 실험 도중 통과한 차량은 총 45대로 이중 축산관련차량은 10 대로 22.2%를 차지하였다. 동일한 방법으로 4, 7, 10 m 지점에 대한 실험 도중 도로를 통과한 차량은 각각 80, 82, 93 대로 평균 75 대가 30분 동안 통과하여 평균적으로 약 24초당 한 대씩 지나갔으며, 실제 비디오에서는 교통 신호등의 원인으로 다수의 차량이 통과한 후 공백기가 발생

한 후 다시 다수의 차량이 지나갔다. 승용차를 제외하고 1 톤 트럭과 공사용 덤프트럭의 통과 빈도가 높았으며, 축산관련차량 (어리장차, 사료차) 의 경우 전체의 약 12.4%의 비율로 통과하였다.

Fig. 11은 도로에서 각각 1, 4, 7, 10 m 떨어진 지점에서 실시간으로 30분씩 측정된 입경별 에어로졸의 농도 분포를 나타낸 것이다. 1 m 지점에서는 앞에서 언급한 TSP의 농도와 같이 상대적으로 가장 낮은 농도 분포를 보였으며, 특별히 농도가 상승하는 경향이 나타나지 않았다. 이는 차량의 통과 빈도가 낮은 이유도 있으나 센서가 설치된 지점과 도로 사이의 50 cm 정도의 잡초가



실험 당시에는 영향이 적을 것으로 예상하였으나, 실험 결과에서는 일종의 방풍효과를 만들어 유입되는 에어로졸의 농도가 낮게 측정되었던 것으로 판단된다. Fig. 11b는 도로와 4 m 떨어진 지점에서 실시간으로 측정된 에어로졸의 입경별 농도 분포로써 그림과 같이 비디오 분석결과 트럭이 지나가는 시점에서 TSP의 농도가 최대 약 580  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 순간적으로 상승하는 결과를 보였다. 동일한 방법으로 7 m, 10 m 지점에서 분석한 결과 역시 트럭이 지나가는 시점으로 최대 약 690, 660  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 TSP 농도를 보였다. 도로를 통과하는 차량의 이동 빈도가 높은 상황에도 불구하고 Aerosol Spectrometer를 사용하여 측정된 실시간 입경별 농도 분포에서의 농도상승 지점은 상대적으로 적게 나타나는 결과를 보인다. 이는 센서의 공기유입부로 에어로졸이 들어오기 위해서는 차량의 통과에 의한 에어로졸의 발생, 적절한 바람의 세기, 바람의 방향 등의 요인이 복잡하게 성립되어야 한다. 또한 가장 높은 농도를 보이는 지점은 순간적으로 다수의 축산관련차량 및 일반 차량, 트럭 등이 연속적으로 지나가는 경우로 판단하여, 두 번째로 높은 농도를 보이는

점을 바탕으로 하여 차량이 통과하는 순간에 거리별 입경별 농도의 분포를 분석하였다. 그 결과 Fig. 12와 같이 PM2.5의 경우 최소 100 ~ 최대 114  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실험 1에서와 같이 모든 지점에서 거의 비슷한 수치를 보였으며, 실험2를 수행한 장소는 상대적으로 실험 1에 비하여 차량의 왕래가 많은 지역인 관계로 평균 약 3.0 배 더 높은 농도를 보였다. 모든 측정 지점에서 유사한 농도를 보이는 PM2.5를 배경 농도로 생각하여 PM10과 PM2.5의 차이를 계산한 결과 76.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실험 1의 97.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와는 약 22 %의 차이를 보인 반면에, TSP와 PM2.5의 차이를 계산한 결과 252.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실험1의 230.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 10 % 이내로 유사한 결과를 보였다. 이는 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸의 입자 크기가 10  $\mu\text{m}$ 를 전후의 분포를 가지고 있으며 상대적으로 10  $\mu\text{m}$  보다 큰 입자들이 많을 것으로 추측할 수 있다. 따라서 도로에서 축산관련차량에 의하여 발생하는 에어로졸은 TSP와 PM2.5의 평균 차이인 241.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 축산관련차량의 이동 빈도인 12.4 %를 고려할 경우 평균 29.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 예측할 수 있다.

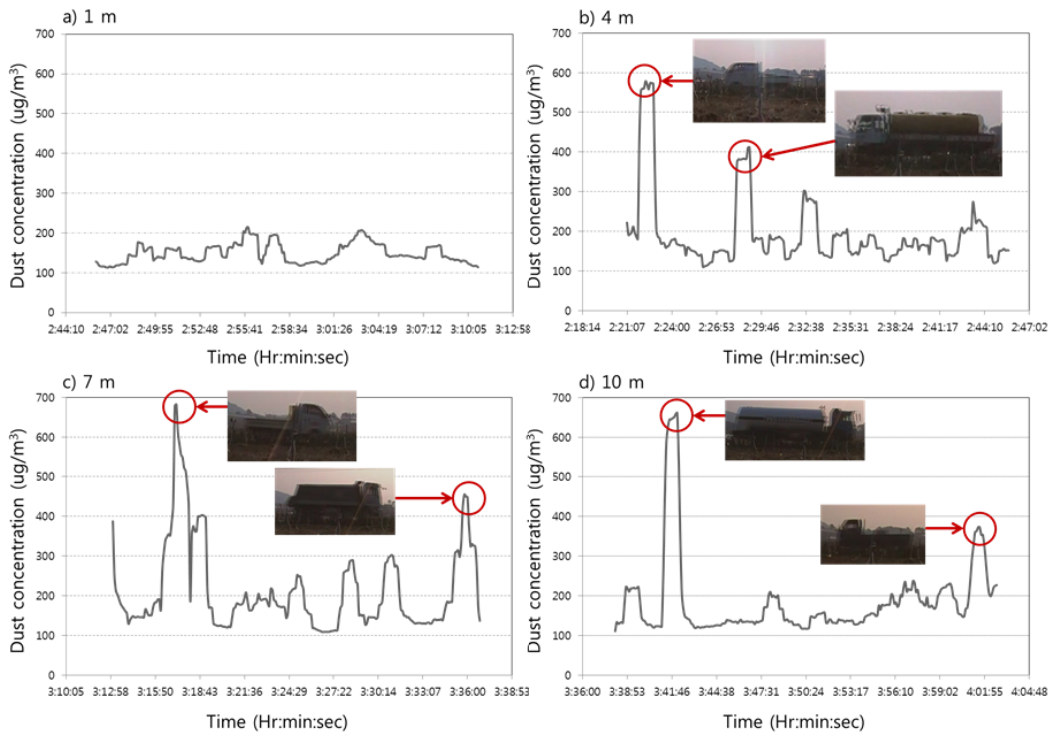


Figure 11 Real time aerosol concentration measured by aerosol spectrometer for each 30 minutes at each point which was same distance from the road with installed air sampler during experiment 2: each picture represent the captured image from the video analysis when livestock transport vehicles were passed through the road.

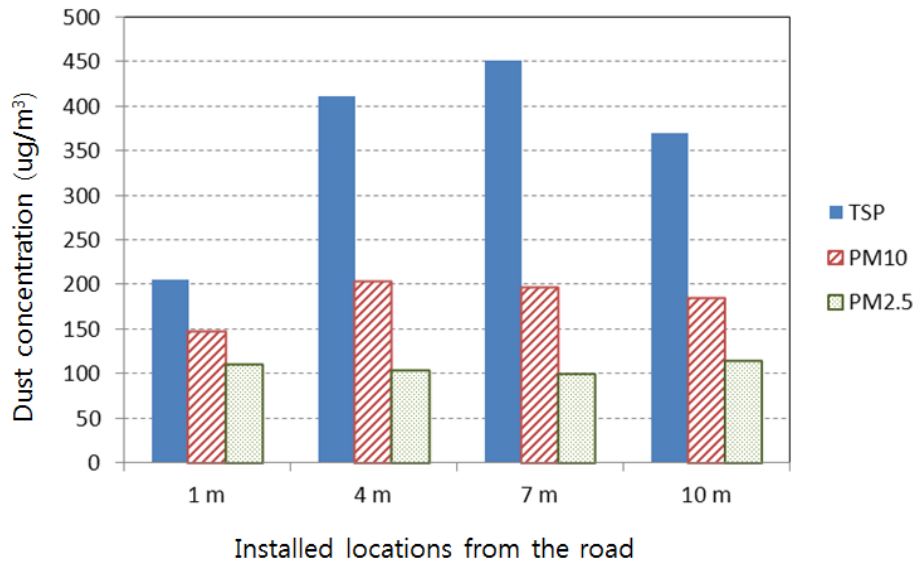


Figure 12 Dust concentration of TSP, PM10, and PM2.5 according to the distance of measuring point from the road when livestock related vehicle was passed through during experiment 2.

## VI. 결 론

질병의 공기 중 확산을 분석하기 위한 기초데이터를 마련하기 위하여 축산관련차량이 지나갈 때 도로에서 발생하는 에어로졸의 농도를 측정하였다. 비디오 분석을 통하여 결과 데이터와의 상호 분석을 통하여 차량이 이동하는 순간의 입경별 농도 분석을 바탕으로 축산관련차량에서 발생하는 에어로졸의 농도를 추정할 수 있었다. 도로에서 축산관련차량이 통과하는 순간의 입경별 공기 중 에어로졸의 농도분포를 분석한 결과 PM2.5의 농도는 거리에 따른 차이가 없는 것으로 보아 대부분의 에어로졸의 크기가 2.5  $\mu\text{m}$  보다 큰 것으로 추정할 수 있으며, 이를 바탕으로 도로에서 1 m 떨어진 곳의 TSP와 PM2.5의 평균 차이인 241.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 차량이 도로를 통과하면서 발생하는 양으로 예측하였으며, 축산관련차량의 이동빈도인 12.4 %를 고려할 경우 평균 29.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 예측할 수 있었다. 또한 실험 1을 토대로 하여 약 도로에서 79.6 m 까지 에어로졸이 확산될 것으로 예측되며, 실제로는 작은 입자들의 경우 더 멀리까지 확산될 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 추후 해당 지역의 축산 전염성 질병의 확산을 예측하기 위한 시뮬레이션 모델을 설계 시 도로에서 발생 및 확산 가능한 양을 예측하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 “농림축산식품분야 온실가스 인벤토리 활용 정보화 전략계획 수립 및 파일럿시스템 개발” (과제번호: PJ009885)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 참고문헌

1. 서일환, 이인복, 문운경, 홍세운, 황현섭, J.P. Bitog, 권정석, 김기연, 2011, 고병원성 조류인플루엔자 (HPAI)의 에어로졸을 통한 공기 전파 예측을 위한 공기유동학적 확산 모델 연구, 한국농공학회지, 53(1), 29-36.
2. 우병준, 이형우, 황윤재, 김진년, 2008, 고병원성 조류인플루엔자 발생의 경제적 피해 계측, 한국농촌경제연구원 보고서 정책연구, P102.
3. 윤하정, 박지용, 박최규, 이윤정, 하진경, 정승교, 이용주, 정지원, 이수두, 권준현, 문운경, 이상진, '03/'04 및 '06/'07 H5N1 고병원성 조류인플루엔자 유행의 역학적 특성, 한국수의공중보건학회지, 32(2), 109-116.
4. Gloster, J., A. Jones, A. Redington, L. Brugin, J. H. Sorensen, R. Turner, M. Dillon, P. Hullinger, M. Simpson, P. Astrup, G. Garner, P. Stewart, R.

5. D'Amours, R. Sellers, and D. Paton, 2010, Airborne spread of foot-and-mouth disease-model intercomparison, *The Veterinary Journal*, 183, 278-286.
6. Ijaz, M. K., Y. G. Karim, S. A. Satar, and C. M. Johnson-Lussenburg, 1987, Development of methods to study the survival of airborne viruses. *Journal of Virological Methods*, 18(2-3), 87-106.
7. Treanor, J. J., 2005, Influenza Virus in *Principles and Practice of Infectious Diseases*, 6th ed, (Eds Mandell, Bennett and Dolen).
8. Tsukamoto, K., T. Imada, N. Tanimura, M. Okamatsu, M. Mase, T. Mizuhara, D. Swayne, and S. Yamaguchi, 2007, Impact of different husbandry conditions on contact and airborne transmission of H5N1 highly pathogenic avian influenza virus to chickens. Summarized from *Avian Diseases*, 51(1), 129-32.
9. Weber, T. P., and N. I. Stilianakis, 2008. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review, *Journal of Infection*, 57(5), 361-73.
10. Webster, R. G., 2002, The importance of animal influenza for human disease, *Vaccine*, 20, S16-S20.
11. WHO, 2007. Avian Influenza, Including Influenza A (H5N1), in *Humans: WHO Interim Infection Control Guideline for Health Care Facilities*.
12. Wright, P. F. and R. G. Webster, 2001, Orthomyxoviruses. In: *Fields Virology*, 4th ed. (D.M. Knipe and P.M. Howley, eds.). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp1533-1579.

---

접 수 일: (2013년 11월 25일)

수 정 일: (1차: 2013년 11월 27일)

게재확정일: (2013년 11월 27일)

■ 3인 익명 심사필