

## 농업분야 비산먼지 활동도 자료의 시공간 해상도 개선 연구

구태완<sup>1,†</sup> · 신호용<sup>2</sup> · 우지윤<sup>3</sup> · 문수호<sup>4</sup> · 최두선<sup>5</sup> · 김윤관<sup>6</sup> · 전의찬<sup>7</sup>

<sup>1</sup>다산지역발전연구원, 이사장

<sup>2</sup>그린에코스(주), 대리

<sup>3</sup>세종대학교 기후환경융합학과, 박사과정 학생

<sup>4</sup>다산지역발전연구원, 원장

<sup>5</sup>정음, 대표이사

<sup>6</sup>그린에코스(주), 대표이사

<sup>7</sup>세종대학교 기후환경융합학과, 교수

(2022년 2월 5일 접수: 2022년 2월 28일 수정: 2022년 2월 28일 채택)

## A Study on the Improvement of Spatiotemporal Resolution about Fugitive Dust Activity Data in the Agriculture Field

Koo, Tai Wan<sup>1,†</sup> · Shin, Ho Yong<sup>2</sup> · Woo, Jiyun<sup>3</sup> · Mun, Su Ho<sup>4</sup>  
Choi, Doo Sun<sup>5</sup> · Kim, Yoon Kwan<sup>6</sup> · Jeon, Eui-chan<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Chairman of the board of Dasan Region Development Institute, Yongin, Korea

<sup>2</sup>Assistant Manager of Greenecos. Co., Ltd. Guro, Korea

<sup>3</sup>Ph.D. student, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

<sup>4</sup>Director of Dasan Region Development Institute, Yongin, Korea

<sup>5</sup>President of Jungeum, Suwon, Korea

<sup>6</sup>President of Greenecos. Co., Ltd. Guro, Korea

<sup>7</sup>Professor, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

(Received February 5, 2022; Revised February 28, 2022; Accepted February 28, 2022)

**요 약** : 국내 농업 분야 비산먼지의 배출계수와 활동도 자료는 국내의 환경조건(풍속, 습도 등)과 농업의 특성을 반영하지 않고 미국의 인벤토리 체계를 그대로 적용해 왔다. 이 연구에서는, 활동 자료 중 하나인 시간 해상도는 풍속 및 건기일수 적용을 통해 월별 배분계수를 도출하여 지역별로 시간 해상도를 향상시켰고, 공간 해상도는 시·군·구에서 동과 리로 세분화하여 지역별로 공간 해상도를 향상시켰다.

이 연구를 통해, 지금 존재하는 농업분야의 비산먼지의 배출량, 활동도 자료의 개선에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** : 농업분야, 비산먼지, 시간적 해상도, 공간적 해상도

---

<sup>†</sup>Corresponding author  
(E-mail: koo90@naver.com)

**Abstract** : The emission factor and activity data of fugitive dust in the domestic agricultural field have been applied to the US inventory system without reflecting the domestic environmental conditions (wind speed, humidity, etc.) and agricultural characteristics. In this study, the temporal resolution was improved for each region by deriving a monthly distribution factor through the application of wind speed and dry season and the spatial resolution was improved for each region by subdivided into dong and ri from ci-gun-gu.

Through this study, it is judged that it can be used as an important data for improving the emission and activity data of fugitive dust in the agricultural field that currently exist.

**Keywords** : Agriculture Field, Fugitive Dust, Temporal Resolution, Spatial Resolution

## 1. 서론

국가 대기오염물질 배출량에 따르면, 농업분야 오염원 배출량 대부분은 비산업 연소, 비도로이동 오염원, 농업, 비산먼지, 생물성연소 등 5개 분야가 있다. 이중 비산먼지는 도로운행으로 인한 자동차 재비산먼지와 사업장 또는 공정장에서 일정한 배출구 없이 대기로 배출되는 먼지를 의미하며, 건설공사, 나대지, 하역 및 야적, 농업활동, 축산활동, 건설폐기물 재활용으로 인해 발생하는 것을 포함한다.<sup>1)</sup> 2018년 기준 CAPSS 배출량에 따르면, 농업활동 배출원(비산업연소 중 농업, 축산, 수산업, 비도로이동오염원 중 농업기계, 비산먼지 중 농업활동, 축산활동, 생물성연소 중 노천소각, 농업잔재물 소각, 목재난로 및 보일러, 아궁이)의 먼지 계열(TSP+PM10+PM2.5) 발생 비율은 14%이고, 농업 배출원의 암모니아 발생량 비율은 79%로 보고되고 있다.<sup>2)</sup> 농업활동을 통해 1차적으로 발생하는 미세먼지로는 비산먼지가 있으며 주로 봄철 경운시기와 가을철 수확시기에 집중적으로 발생하고 그 외에는 농업잔재물 소각에서 발생한다.

최근 농업분야 미세먼지 관리 측면에서 제기되는 문제점은 첫 번째, 농촌 미세먼지 측정망의 부족, 두 번째, 농업 미세먼지 관련 정보(농업생산활동 영향정보, 농업 미세먼지 발생 정보)의 미비 및 부족, 세 번째, 월경성 미세먼지 영향정보 부족이 제기되고 있다.<sup>1)</sup> 특히, 2021년 기준, 도시 대기 미세먼지 측정망 전체 483개소 중 157개소가 수도권에 편중(32.5%)되어 있고, 전라도, 충청도, 강원도, 경상도 등 농촌지역 측정망은 매우 부족하여 현실적으로 미세먼지 총량 측정에 제약이 많아 미세먼지 특성에 대한 체계적인 대응이 어려운 상황이다.<sup>3)</sup>

현재, 농업분야에서 직접적으로 배출되는 미세먼지 관련 배출원 목록과 발생량 등은 체계적으로 관리가 되고 있지 않은 편이며, 구체적으로, 농업활동에 의한 미세먼지 배출계수는 미국 인벤토리 체계<sup>4), 5)</sup>를 그대로 적용하여 노후되었고 특히 활동도 자료인 시공간 해상도 역시 단순하게 제시되어, 국내의 기후환경(풍속, 습도 등) 및 농촌 특성 등을 반영하지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 농업분야 비산먼지 배출량 산정 고도화를 위한 시공간 해상도의 개선 결과를 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 현재 배출원 분류체계

현재 비산먼지(대분류) 중 농업분야 배출원 분류체계는(Table 1) 미국<sup>6), 7)</sup>과 국립환경과학원의 자료<sup>8)</sup>를 반영하여 경지정리, 수확으로 제시되고 있으며, 비산먼지 배출량 산정방법은 식(1)과 같다. 농업분야 비산먼지 배출계수는 Table 2와 같으며, 특히, PM2.5는 농업분야 PM10의 20%를 경지정리와 수확(모든 작물)에 일률적으로 적용하고 있다. 배출량 산정에 사용되는 농업분야 비산먼지 활동도 자료는 경작면적의 경우 농업면적조사, 작물 재배면적의 경우 농작물 생산조사와 농림어업총조사 자료를 사용하고 있다.<sup>9)</sup> 또한, 농업분야 비산먼지 활동도 자료의 시공간 배분은 경지정리의 경우, 연간/시군구이며, 수확의 경우, 연간 또는 5년/시군구이다. 공간 배분 시 경지면적은 시군단위, 재배면적은 시도단위로 입수되어 지목별 국토면적 자료를 이용하여 시군구별로 배분하여 사용하고 있다.

Table 1. Classification system of fugitive dust in the agriculture field

| SCC      | Large Classification | Middle Classification | Small Classification          | Sub Classification   |
|----------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|
| 12060100 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Land Preparation              |                      |
| 12060101 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Land Preparation              | Field                |
| 12060102 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Agricultural Land Preparation | Etc                  |
| 12060200 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             |                      |
| 12060201 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Rice Grain           |
| 12060202 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Wheat and Barley     |
| 12060203 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Fruit Tree           |
| 12060204 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Vegetable            |
| 12060205 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Root and Tuber Crops |
| 12060206 | Fugitive Dust        | Agricultural Activity | Harvest Operation             | Etc                  |

$$E = \sum A \times EF \quad (1)$$

E : Emission of Agricultural Activity (g or kg)

A : Area Covered by Crop or Harvest(m<sup>2</sup> or ha)

EF : Emission Factor(g/m<sup>2</sup> or 0.1kg/ha)

Table 2. Emission factor of fugitive dust in the agriculture field

| SCC      | Division          | Classification       | Emission Factor(kg/ha) |       |       | Note                     |  |
|----------|-------------------|----------------------|------------------------|-------|-------|--------------------------|--|
|          |                   |                      | TSP                    | PM10  | PM2.5 |                          |  |
| 12060101 | Land Preparation  | Field                | 9.1                    | 4.1   | 0.82  | PM2.5 = PM10 × 0.2 Apply |  |
| 12060201 | Harvest Operation | Rice Grain           | 22.7                   | 6.5   | 1.3   |                          |  |
| 12060202 |                   | Wheat and Barley     | 22.7                   | 6.5   | 1.3   |                          |  |
| 12060203 |                   | Fruit Tree           | 0.2                    | 0.1   | 0.02  |                          |  |
| 12060204 |                   | Vegetable            | 0.67                   | 0.303 | 0.606 |                          |  |
| 12060205 |                   | Root and Tuber Crops | 0.67                   | 0.303 | 0.606 |                          |  |
| 12060206 |                   | Etc                  | Cereals                | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |
|          |                   |                      | Pulse Crops            | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |
|          |                   |                      | Cash Crops             | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |
|          |                   |                      | Mulberry Field         | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |
|          |                   |                      | Other Watersource      | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |
|          |                   |                      | Other Crops            | 7.01  | 3.14  | 0.628                    |  |

## Monthly Distribution Factor of Land Preparation

$$= \frac{\text{Monthly dry days reflecting the wind speed increase rate for the month}(\text{day})}{\text{Number of dry season days per year reflecting wind speed increase rate}(\text{day})} \times 100 \quad (2)$$

## Monthly Distribution Factor of Harvest

$$= \frac{\text{Work schedule reflecting the wind speed increase rate for the month}}{\text{Total work schedule for one year reflecting wind speed increase rate}} \quad (3)$$

Table 3. Average monthly wind speed and dry season applied.<sup>12)</sup>

| Month | Average Monthly Wind Speed for 10 years(m/s) in Gyeonggi-Do | Average Monthly Wind Speed for 10 years(m/s) in Jeollanam-Do | Average Monthly Dry Season for 10 years(day) in Gyeonggi-Do | Average Monthly Dry Season for 10 years(day) in Jeollanam-Do |
|-------|---|--|---|--|
| 1     | 1.4   | 3.3  | 25  | 21   |
| 2     | 1.6   | 3.3  | 22  | 20   |
| 3     | 1.9   | 3.2  | 24  | 22   |
| 4     | 2.0   | 3.1  | 20  | 19   |
| 5     | 1.7   | 2.7  | 23  | 22   |
| 6     | 1.6   | 2.3  | 20  | 20   |
| 7     | 1.5   | 2.6  | 14  | 18   |
| 8     | 1.5   | 2.5  | 17  | 18   |
| 9     | 1.3   | 2.3  | 21  | 19   |
| 10    | 1.3   | 2.6  | 24  | 23   |
| 11    | 1.4   | 2.7  | 19  | 22   |
| 12    | 1.4   | 3.2  | 22  | 20   |

## 2.2. 활동도 자료 개선

## 2.2.1. 시간 해상도

농업분야 비산먼지의 발생과 확산은 기상조건인 풍속과 습도 등에 지배적인 영향을 받으며 토양의 습도가 높고 농업활동이 적은 시기보다 습도가 낮고 수확 작업 등 농업활동이 많은 시기가 비산먼지 농도가 더 높았다.<sup>10), 11)</sup> 농업분야 비산먼지 시간 해상도 개선을 위해서 경지정리는 최근 10년간(2010~2019) 월평균 풍속과 월별 건기일수를, 수확은 최근 10년간 월평균 풍속과 작물별 농업활동 일정을 고려하여 월별 배분계수(Monthly Distribution Factor)를 재산정하였다. 사용된 경지정리의 월별 배분계수 계산식은 식(2), 적용된 10년간 평균 풍속과 건기일수는 Table 3과 같다. 더불어, 수확 월별 배분계수 계산식은 식(3)과 같으며, 월별 작업일정을 3개 구간으로 나누어 작업일정이 있는 구간은 1점, 작업일정이 없는 구간은 0점으로 가정하였고, 경기도에 적용된 농업활동 정보는 Table 4, 계산과정은 Table 5와 같다.

## 2.2.2. 공간 해상도

CAPSS에서 농업활동의 시·군·구 단위 비산먼지 배출량을 농식품 공간정보 서비스인 팜맵을 활용하여 동·리 단위로 공간배분 하였다. 적용된 팜맵<sup>13)</sup>은 고해상도 항공·위성영상을 활용하여 농경지에 대한 면적과 속성정보를 제공하는 농경지 전자지도이며 웹 GIS 형태이다. 농경지 구분, 농경지 이용면적, 재배면적 등의 정보와 각종 통계 서비스를 제공한다. 팜맵 기반의 웹 GIS 서비스는 시설의 구획경계가 표출되며, 선택 시 판독명(논, 밭, 시설, 과수, 인삼), 판독코드, 지번, PNU 코드 등 해당 지점에 대한 속성정보가 표출된다(Fig. 1).

통계지도서비스 기능을 통하여 팜맵 통계(농경지 면적, 수량) 정보를 포함하여 농업통계(농업기계 보유 현황, 누에사육 규모별 농가구수, 도축장별 축종별 실적 등), 농식품 통계(농업총수입, 논밭 경지면적, 논밭 재배면적, 식량작물 생산량), 조사통계(축산물등급판정, 겸업여부 귀농인수) 통계 및 시각화 서비스, 다운로드 등의 서비스를 제공한다.

Table 4. Agricultural activity by crop applied in Gyeonggi-Do.

| Large Classification | Main Crops       | Activity                       | Large Classification | Main Crops                | Activity             |
|----------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Rice Grain           | Rice             | Sowing, Harvesting             | Vegetable            | Leek                      | Sowing, Harvesting   |
| Wheat and Barley     | Rye              | Sowing, Harvesting             |                      | Cabbage                   | Planting, Harvesting |
|                      | Barley           | Sowing, Harvesting             |                      | Yeopgyeong Vegetables Etc | Planting, Harvesting |
| Root and Tuber Crops | Sweet Potato     | Sowing, Harvesting             |                      | Lettuce                   | Planting, Harvesting |
|                      | Potato           | Sowing, Harvesting             |                      | Spicy Cabbage             | Sowing, Harvesting   |
| Fruit Tree           | Pear             | Planting Seedlings, Harvesting |                      | Pumpkin                   | Planting, Harvesting |
|                      | Grape            | Cutting, Harvesting            |                      | Cucumber                  | Planting, Harvesting |
|                      | Japanese Apricot | Pruning, Harvesting            |                      | Leek                      | Sowing, Harvesting   |
|                      | Peach            | Planting Seedlings, Harvesting |                      | Radish                    | Sowing, Harvesting   |
| Vegetable            | Apple            | Planting, Harvesting           |                      | Bok Choy                  | Sowing, Harvesting   |
|                      | Dried Peppers    | Sowing, Harvesting             |                      | Tomato                    | Planting, Harvesting |
|                      | Spinach          | Sowing, Harvesting             |                      | Balloon Flower            | Sowing               |
|                      | Pickled Radish.  | Sowing, Harvesting             |                      | Garlic                    | Sowing, Harvesting   |

Table 5. Process for calculating emissions of harvest in Gyeonggi-Do(example for Rice Grain)

|   |                 |  |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|-----------------|--|------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Rice Grain Work Schedule   | Rice Grain      | Rice(machine transplanting cultivation)  |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | January  | February   | March      | April      | May                 | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December   |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 |  |            |            | sow        | planting            | planting   |            |            |            | harvest    |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | a dry-field rice plant(Jeju-do)  |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | January  | February   | March      | April      | May                 | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December   |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 |  |            |            | sow        | weeding a dry field |            |            |            | harvest    |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| *note   |                 | sow : lunar calendar March(spring)<br>a dry-field rice plant(Jeju-do) : a month after sow<br>harvest : lunar calendar July(autumn) |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2. Rice Grain Area Rate   | crop            | area(ha)   | rate       | January    | February   | March               | April      | May        | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Rice Grain      | Rice   | 75,442.77  | 99.94      |            |                     |            | sow        |            |            |            |            |            | harvest    |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | crop            | area(ha)   | rate       | January    | February   | March               | April      | May        | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Rice Grain      | Rice   | 75,442.77  | 99.94      |            |                     | 1          | 1          | 1          |            |            |            | 1          | 1          | 1             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3. Monthly Distribution Factor Considering Average Wind Speed and Work Schedule | Month           | January  | February   | March      | April      | May                 | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December   |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Wind Speed(m/s) | 1.4  | 1.6        | 1.9        | 2.0        | 1.7                 | 1.6        | 1.5        | 1.5        | 1.3        | 1.3        | 1.4        | 1.4        |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | ALL SUM         | 1.30   |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | 8%   | 23%        | 46%        | 54%        | 31%                 | 23%        | 15%        | 15%        | 0%         | 0%         | 8%         | 8%         |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | 2.308  |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Month           | January  | February   | March      | April      | May                 | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December   |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Work Schedule   | 0               | 0  | 0          | 0          | 0          | 0                   | 1          | 1          | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SUM   | 0               | 0  | 0          | 3          | 0          | 0                   | 0          | 0          | 0          | 0          | 3          | 0          | 0          |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | 0.08            | 0.23   | 0.46       | 4.60       | 0.31       | 0.23                | 0.15       | 0.15       | 0.08       | 3.0        | 0.08       | 0.08       |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| ALL SUM   | 9.46            |  |            |            |            |                     |            |            |            |            |            |            |            |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Weight Factor   | 0.008  | 0.024      | 0.049      | 0.498      | 0.033               | 0.024      | 0.016      | 0.016      | 0.008      | 0.317      | 0.008      | 0.008      |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | 0.008  | 0.024      | 0.049      | 0.498      | 0.033               | 0.024      | 0.016      | 0.016      | 0.008      | 0.317      | 0.008      | 0.008      |            |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4. Emission Calculation   |                 | Month  | January    | February   | March      | April               | May        | June       | July       | August     | September  | October    | November   | December   | Monthly Total |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | TSP             | Present  | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11          | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 148,274.11 | 1,779,289     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | Advanced   | 14,461.06  | 43,383.19  | 86,766.38  | 86,766.38           | 57,844.25  | 43,383.19  | 28,922.13  | 28,922.13  | 15,039.51  | 563,981.48 | 14,461.06  | 14,461.06  | 1,779,289     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | PM10            | Present  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16           | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 42,512.16  | 510,146       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   |                 | Advanced   | 4,146.18   | 12,438.54  | 24,877.07  | 24,877.07           | 16,584.72  | 12,438.54  | 8,292.36   | 8,292.36   | 4,312.03   | 161,700.98 | 4,146.18   | 4,146.18   | 510,146       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | PM2.5           | Present  | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43            | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 8,502.43   | 102,029       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Advanced        | 829.24   | 2,487.71   | 4,975.41   | 4,975.41   | 3,316.94            | 2,487.71   | 1,658.47   | 1,658.47   | 862.41     | 32,340.20  | 829.24     | 829.24     | 102,029    |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

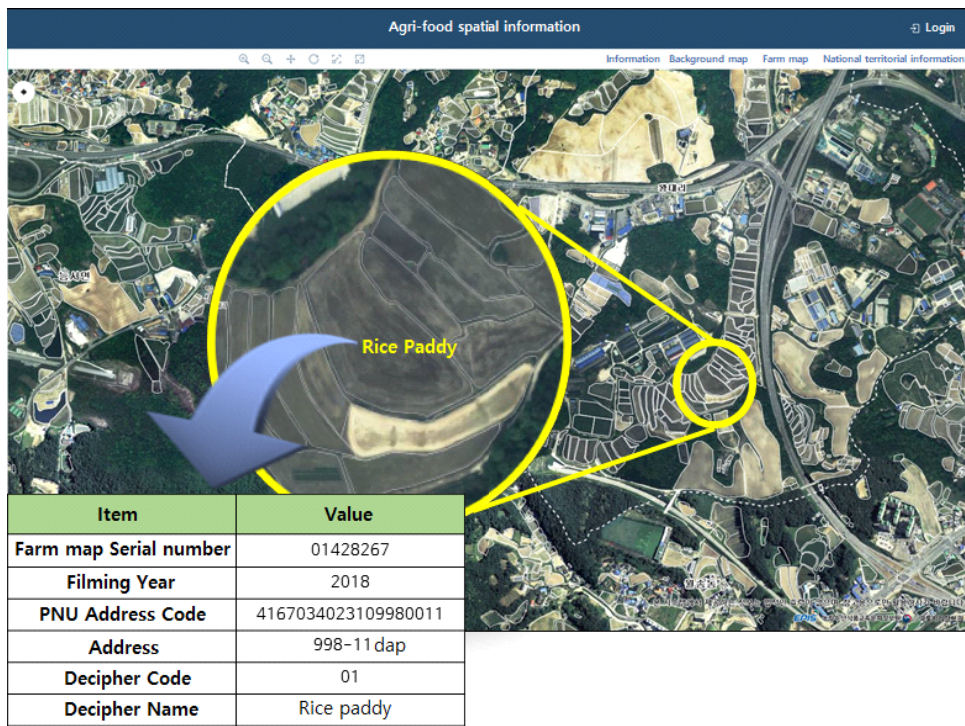


Fig. 1. Farm Map inquiry information.

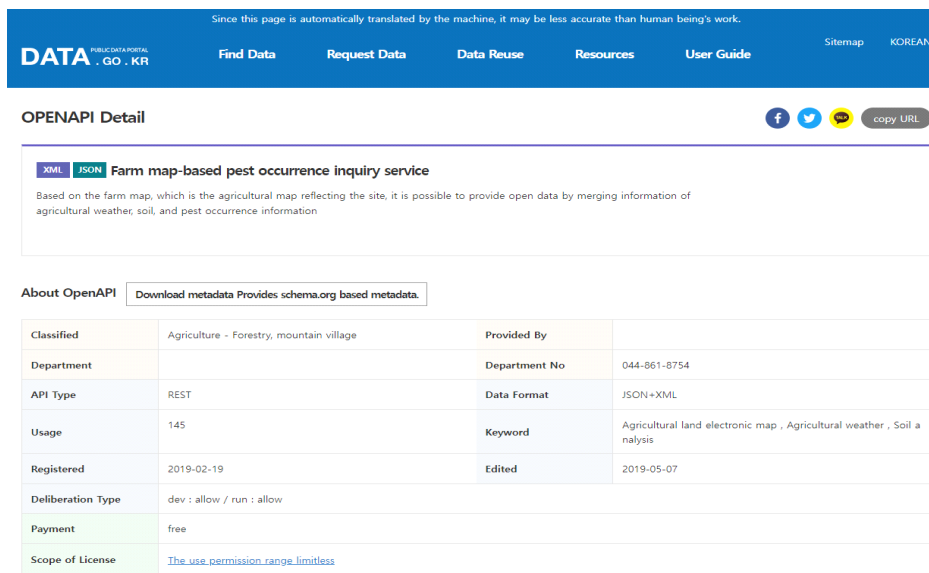


Fig. 2. Public data portal inquiry screen.<sup>14)</sup>

또한 공공데이터포털의 오픈 API 서비스를 통해 대용량의 파일을 제공하며 개방 정보의 주요

항목은 팜맵기반의 농업기상 정보, 토양분석 정보, 병해충 발생정보로 제공화면은 Fig. 2와 같다.

본 연구에서 경지정리는 팜맵의 밭 면적을, 수확의 과수는 팜맵의 과수 면적을 동·리 단위로 공간배분을 하였고 별도로 수확의 미곡, 맥류, 채소, 서류, 기타의 경우는 공간 구분이 되지 않으므로 팜맵의 동·리별 전체 농경지 면적을 활용하여 공간배분을 하였다(Fig. 3).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 시간 해상도 개선

경지정리의 시간 해상도 개선 방법은 최근 10년간(2010~2019) 월별 평균 풍속의 세기 비율과 광역시도별 건기일수를 고려하여 지역별, 월별 배분계수를 산정하였다. 현재 CAPSS에서 사용 중인 배출량 산정방법과 개선된 산정방법은 Table 6과 같다. 예시로 경기도 지역을 대상으로 월별 배분계수를 고려해 배출량을 재산정한 결과는 Table 7과 Fig. 4와 같다.

이와 같은 방법으로 월별 배분계수에 따라 경지정리 비산먼지 배출량 재산정 작업은 현행 일률적인 시기를 구분하지 않고 1~12월까지 균등하게 배출량을 배분하는 방식에 비해 시간 해상도를 개선할 수 있다. 지역별 풍속과 건기일수는 동일함에 따라 산정되는 배분계수 값은 TSP, PM10, PM2.5에도 동일하게 적용된다. 더불어, 경기도와 전라남도에 적용한 현재와 개선된 월별 배분계수 결과는 Table 8과 같다. 산정된 배출총

량은 차이가 없으며, 개선된 월별 배분계수에 따라 월별 배출량의 변화로 시간 해상도가 개선됨을 보여주고 있다. 구체적으로, 경기도 지역의 경지정리는 1~5월, 전라남도 지역의 경지정리는 1~5월과 10~12월에 현재 월별 배분계수보다 증가하였고, 경기도 지역의 증가 순위는 1순위 3월, 2순위 4월, 3순위 5월이었고, 전라남도 지역의 증가 순위는 1순위 3월, 2순위 1월, 3순위 2월로 경기도와 차이가 있었다. 이는 지역별 풍속 세기와 건기일수 차이에 따른 지역별 특성을 반영한 결과로 판단된다.

수확의 시간 해상도 개선 방법은 최근 10년간(2010~2019) 월별 평균 풍속의 세기 비율과 광역시도별 작물 대분류별 대표 품목의 농작업 일정을 고려하여 지역별, 월별 배분계수를 산정하였다. 현재 CAPSS에서 사용 중인 배출량 산정방법과 개선된 산정방법은 Table 9와 같다.

전국 광역시도 작물별 재배면적은 최근 CAPSS 배출량과 비교를 위하여 2017년 자료가 사용되었고 지역별 작물 대분류별 대표 품목은 재배면적 비율을 80% 수준을 적용하였다. 최근 10년간(2010~2019) 월별 평균 풍속 비율과 농림축산식품부의 농업경영체 등록정보 조회 서비스<sup>15)</sup>의 전국 작물별 재배면적 자료(대표 품목 농업활동 일정)를 검토하여 해당 지역의 작물 대분류별로 월별 배분계수를 산정(Fig. 5) 한 후, 현재 CAPSS에서 사용 중인 배출량 산정방법과 개선된 산정방법을 경기도에 적용하여 월별 배출량을 비교하였다.

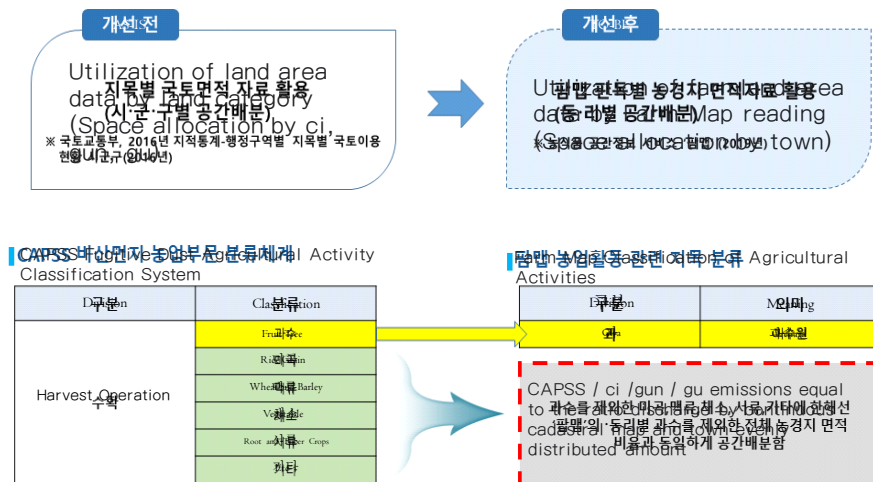


Fig. 3. Spatial allocation methodology in harvest operation.

Table 6. Emission equation of present and advanced fugitive dust in land preparation

| Present Emission Equation  | Advanced Emission Equation   |
|--|--|
| $E = A \times EF$ <p>E : Emission of Agricultural Activity(g or kg)<br/>                     A : Cultivated Area(m<sup>2</sup> or ha)<br/>                     EF : Emission Factor(g/m<sup>2</sup> or 0.1kg/ha)</p> | $E = A \times MDF \times EF$ <p>E : Emission of Agricultural Activity(g or kg)<br/>                     A : Cultivated Area(m<sup>2</sup> or ha)<br/>                     MDF : Monthly Distribution Factor<br/>                     EF : Emission Factor(g/m<sup>2</sup> or 0.1kg/ha)</p> |

Table 7. Fugitive dust emission of land preparation in Gyeonggi-Do(2017 year)

| Month | TSP(kg/year) |            | PM10(kg/year) |            | PM2.5(kg/year) |           |
|-------|--------------|------------|---------------|------------|----------------|-----------|
|       | Present      | Advanced   | Present       | Advanced   | Present        | Advanced  |
| 1     | 58,372.33    | 62,975.55  | 26,299.62     | 28,373.60  | 5,259.92       | 5,674.72  |
| 2     | 58,372.33    | 63,335.41  | 26,299.62     | 28,535.73  | 5,259.92       | 5,707.15  |
| 3     | 58,372.33    | 82,048.14  | 26,299.62     | 36,966.74  | 5,259.92       | 7,393.35  |
| 4     | 58,372.33    | 71,972.05  | 26,299.62     | 32,426.97  | 5,259.92       | 6,485.39  |
| 5     | 58,372.33    | 70,352.68  | 26,299.62     | 31,697.36  | 5,259.92       | 6,339.47  |
| 6     | 58,372.33    | 57,577.64  | 26,299.62     | 25,941.57  | 5,259.92       | 5,188.31  |
| 7     | 58,372.33    | 37,785.33  | 26,299.62     | 17,024.16  | 5,259.92       | 3,404.83  |
| 8     | 58,372.33    | 45,882.18  | 26,299.62     | 20,672.19  | 5,259.92       | 4,134.44  |
| 9     | 58,372.33    | 49,120.93  | 26,299.62     | 22,131.41  | 5,259.92       | 4,426.28  |
| 10    | 58,372.33    | 56,138.20  | 26,299.62     | 25,293.04  | 5,259.92       | 5,058.61  |
| 11    | 58,372.33    | 47,861.41  | 26,299.62     | 21,563.93  | 5,259.92       | 4,312.79  |
| 12    | 58,372.33    | 55,418.48  | 26,299.62     | 24,968.77  | 5,259.92       | 4,993.75  |
| Sum   | 700,467.96   | 700,467.96 | 315,595.44    | 315,595.44 | 63,119.04      | 63,119.04 |

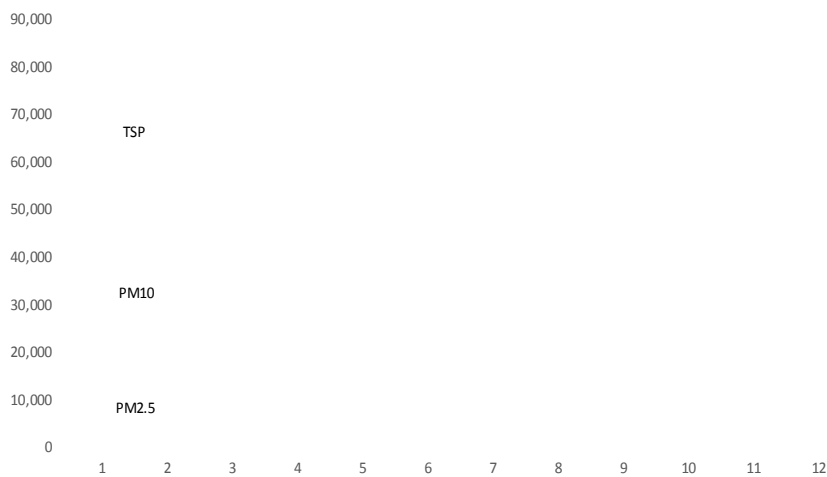


Fig. 4. Fugitive dust emission of land preparation in Gyeonggi-Do(2017 year).



Table 8. Comparison of present and advanced Monthly Distribution Factor.

| Month | Gyeonggi-Do                         |                                      |                        | Jeollanam-Do                        |                                      |                        |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|       | Present Monthly Distribution Factor | Advanced Monthly Distribution Factor | Increase/Decrease Rate | Present Monthly Distribution Factor | Advanced Monthly Distribution Factor | Increase/Decrease Rate |
| 1     | 0.083                               | 0.090                                | 8.4%                   | 0.083                               | 0.101                                | 21.7%                  |
| 2     | 0.083                               | 0.090                                | 8.4%                   | 0.083                               | 0.096                                | 15.7%                  |
| 3     | 0.083                               | 0.117                                | 41.0%                  | 0.083                               | 0.102                                | 22.9%                  |
| 4     | 0.083                               | 0.103                                | 24.1%                  | 0.083                               | 0.086                                | 3.6%                   |
| 5     | 0.083                               | 0.100                                | 20.5%                  | 0.083                               | 0.086                                | 3.6%                   |
| 6     | 0.083                               | 0.082                                | -1.2%                  | 0.083                               | 0.067                                | -19.3%                 |
| 7     | 0.083                               | 0.054                                | -34.9%                 | 0.083                               | 0.068                                | -18.1%                 |
| 8     | 0.083                               | 0.066                                | -20.5%                 | 0.083                               | 0.065                                | -21.7%                 |
| 9     | 0.083                               | 0.070                                | -15.7%                 | 0.083                               | 0.063                                | -24.1%                 |
| 10    | 0.083                               | 0.080                                | -3.6%                  | 0.083                               | 0.087                                | 4.8%                   |
| 11    | 0.083                               | 0.068                                | -18.1%                 | 0.083                               | 0.086                                | 3.6%                   |
| 12    | 0.083                               | 0.079                                | -4.8%                  | 0.083                               | 0.093                                | 12.0%                  |

Table 9. Emission equation of present and advanced fugitive dust in harvest operation

| Present Emission Equation   | Advanced Emission Equation  |
|---|---|
| $E = A \times EF$ <p>E : Emission of Agricultural Activity(g or kg)<br/>                     A : Cultivated or Harvested Area(m<sup>2</sup> or ha)<br/>                     EF : Emission Factor(g/m<sup>2</sup> or 0.1kg/ha)</p> | $E = A \times MDF \times EF$ <p>E : Emission of Agricultural Activity(g or kg)<br/>                     A : Cultivated or Harvested Area(m<sup>2</sup> or ha)<br/>                     MDF : Monthly Distribution Factor<br/>                     EF : Emission Factor(g/m<sup>2</sup> or 0.1kg/ha)</p> |

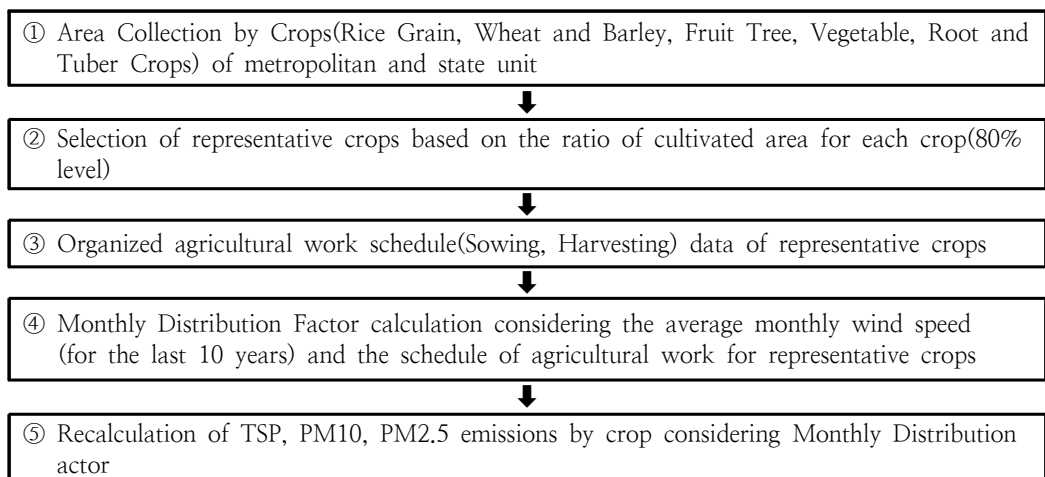


Fig. 5. Flow chart about advancement of temporal resolution in harvest operation.

Table 10. Comparison of present and advanced Monthly Distribution Factor by crops in Gyeonggi-Do

| Month | Rice Grain |       |        | Wheat and Barley |       |        | Root and Tuber Crops |       |        | Fruit Tree |       |        | Vegetable |       |        |
|-------|------------|-------|--------|------------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|------------|-------|--------|-----------|-------|--------|
|       | PDF        | ADF   | IDR    | PDF              | ADF   | IDR    | PDF                  | ADF   | IDR    | PDF        | ADF   | IDR    | PDF       | ADF   | IDR    |
| 1     | 0.083      | 0.008 | -90.4% | 0.083            | 0.005 | -94.0% | 0.083                | 0.003 | -96.4% | 0.083      | 0.045 | -45.8% | 0.083     | 0.017 | -79.5% |
| 2     | 0.083      | 0.024 | -71.1% | 0.083            | 0.014 | -83.1% | 0.083                | 0.009 | -89.2% | 0.083      | 0.003 | -96.4% | 0.083     | 0.078 | -6.0%  |
| 3     | 0.083      | 0.049 | -41.0% | 0.083            | 0.029 | -65.1% | 0.083                | 0.117 | 41.0%  | 0.083      | 0.061 | -26.5% | 0.083     | 0.092 | 10.8%  |
| 4     | 0.083      | 0.488 | 488.0% | 0.083            | 0.033 | -60.2% | 0.083                | 0.021 | -74.7% | 0.083      | 0.170 | 104.8% | 0.083     | 0.146 | 75.9%  |
| 5     | 0.083      | 0.033 | -60.2% | 0.083            | 0.162 | 95.2%  | 0.083                | 0.052 | -37.3% | 0.083      | 0.004 | -95.2% | 0.083     | 0.145 | 74.7%  |
| 6     | 0.083      | 0.024 | -71.1% | 0.083            | 0.229 | 175.9% | 0.083                | 0.147 | 77.1%  | 0.083      | 0.068 | -18.1% | 0.083     | 0.117 | 41.0%  |
| 7     | 0.083      | 0.016 | -80.7% | 0.083            | 0.071 | -14.5% | 0.083                | 0.138 | 66.3%  | 0.083      | 0.112 | 34.9%  | 0.083     | 0.073 | -12.0% |
| 8     | 0.083      | 0.016 | -80.7% | 0.083            | 0.010 | -88.0% | 0.083                | 0.138 | 66.3%  | 0.083      | 0.144 | 73.5%  | 0.083     | 0.036 | -56.6% |
| 9     | 0.083      | 0.008 | -90.4% | 0.083            | 0.005 | -94.0% | 0.083                | 0.120 | 44.6%  | 0.083      | 0.180 | 116.9% | 0.083     | 0.063 | -24.1% |
| 10    | 0.083      | 0.317 | 281.9% | 0.083            | 0.371 | 347.0% | 0.083                | 0.040 | -51.8% | 0.083      | 0.124 | 49.4%  | 0.083     | 0.079 | -4.8%  |
| 11    | 0.083      | 0.008 | -90.4% | 0.083            | 0.067 | -19.3% | 0.083                | 0.129 | 55.4%  | 0.083      | 0.045 | -45.8% | 0.083     | 0.136 | 63.9%  |
| 12    | 0.083      | 0.008 | -90.4% | 0.083            | 0.005 | -94.0% | 0.083                | 0.086 | 3.6%   | 0.083      | 0.045 | -45.8% | 0.083     | 0.017 | -79.5% |
| sum   | 1          | 1     | -      | 1                | 1     | -      | 1                    | 1     | -      | 1          | 1     | -      | 1         | 1     | -      |

PDF : Present Monthly Distribution Factor  
 ADF : Advanced Monthly Distribution Factor  
 IDR : Increase/Decrease Rate

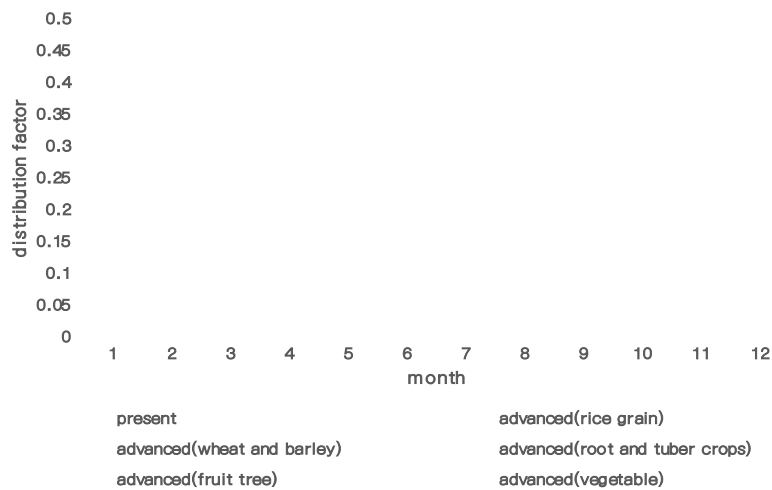


Fig. 6. Comparison of present and advanced Monthly Distribution Factor by crops in Gyeonggi-Do.

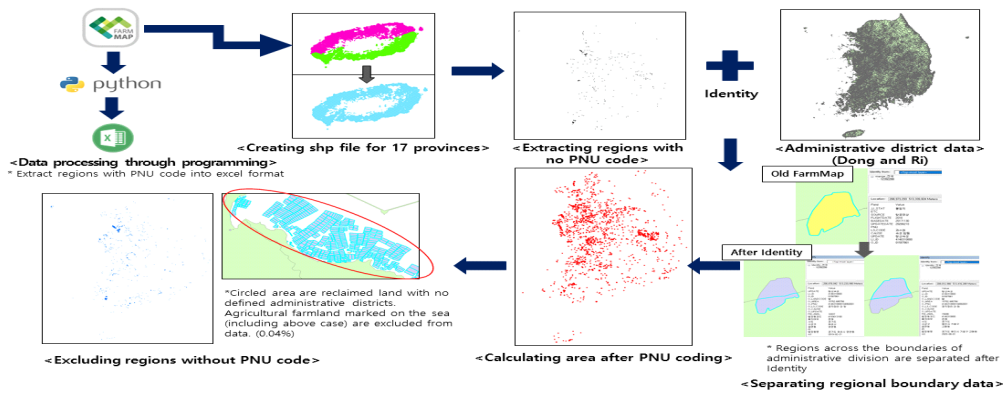


Fig. 7. Farm Map GIS DB to excel GIS DB transformation flowchart.

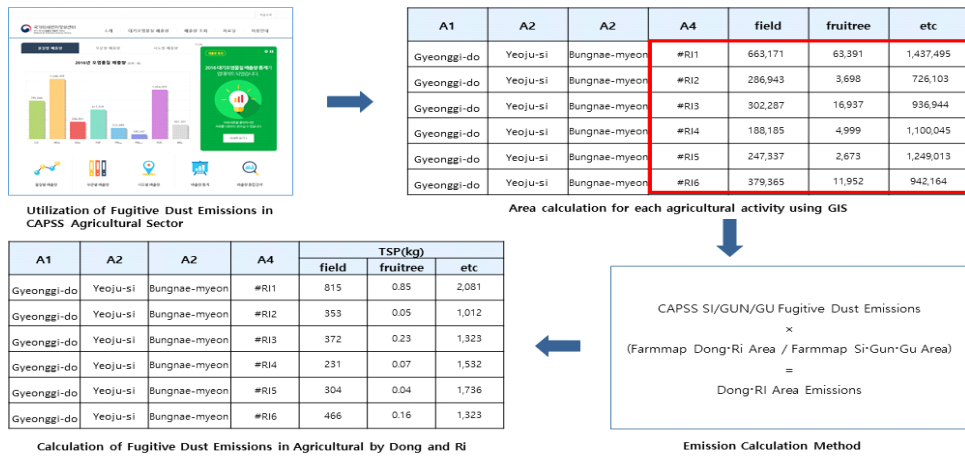


Fig. 8. Flow chart of emission calculation.

3.2. 공간 해상도 개선

팜맵을 활용한 경지정리, 수확의 기초자료 가공 방법은 팜맵 주제도를 활용하여 프로그래밍 데이터 가공기법을 통해 PNU를 보유한 면적 지점을 동·리별 면적 단위 형태로 가공하였으며, GIS 프로그램으로 PNU 누락지역을 판별하여 행정구역도의 동·리 자료 결합을 통해 누락지역의 면적을 재산정하였다. GIS 판독을 통해 간척지 등의 행정구역이 정의되지 않은 지역 및 해상에 표기되는 지역을 판독하였고 전체 대상 지역 중 0.04% 정도로 이 부분을 제외하고 동·리 단위의 농경지 면적정보를 구축하였으며 GIS DB 배분 흐름도는 Fig. 7과 같다.

구축한 동·리 단위의 농경지 면적정보를 적용한 경지정리, 수확의 시·군·구 비산먼지 배출량을

동·리 단위로의 공간배분 방법은 Fig. 8과 같다. 공간배분을 통한 경기도 경지정리의 비산먼지 배출량을 동·리 단위로의 공간배분 결과는 Fig. 9와 같으며, 경기도 여주시를 대상으로 팜맵의 동·리별 밭 면적을 활용하여 경지정리의 비산먼지 배출량을 계산한 결과는 Table 11과 같다. 더불어, 공간배분을 통한 전라남도 수확의 비산먼지 배출량을 동·리 단위로의 공간배분 흐름도는 Fig. 10과 같으며, 전라남도 나주시를 대상으로 팜맵의 동·리별 과수 및 농경지 면적을 활용하여 수확의 비산먼지 배출량을 계산한 결과는 Table 12와 같다. 이와 같은 방법으로 전국 경지정리 및 수확의 시·군·구 단위 CAPSS 비산먼지 배출량을 동·리 단위로 배분이 가능하다.

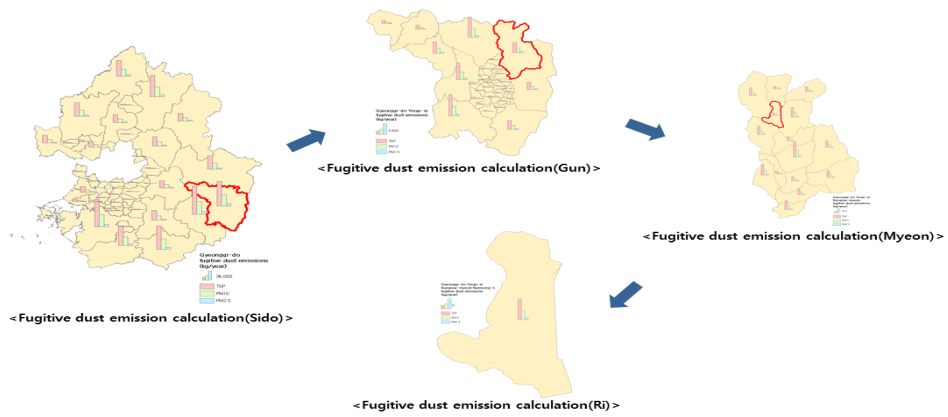


Fig. 9. Flow chart of land preparation spatial resolution improvement in Gyeonggi-Do.

Table 11. Calculation of land preparation fugitive dust emissions in agricultural by dong and ri(Yeouj-Ci)

| Sido        | Ci·Gun·Gu | Eup·Myeon·Dong | Ri    | Fugitive Dust Emissions |      |       |
|-------------|-----------|----------------|-------|-------------------------|------|-------|
|             |           |                |       | TSP                     | PM10 | PM2.5 |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri1  | 153                     | 69   | 14    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri2  | 576                     | 259  | 52    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri3  | 441                     | 199  | 40    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri4  | 143                     | 64   | 13    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri5  | 403                     | 182  | 36    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri6  | 123                     | 55   | 11    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri7  | 268                     | 121  | 24    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri8  | 523                     | 236  | 47    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri9  | 213                     | 96   | 19    |
| Gyeonggi-Do | Yeouj-Ci  | Bungnae-Myeon  | #Ri10 | 815                     | 367  | 73    |

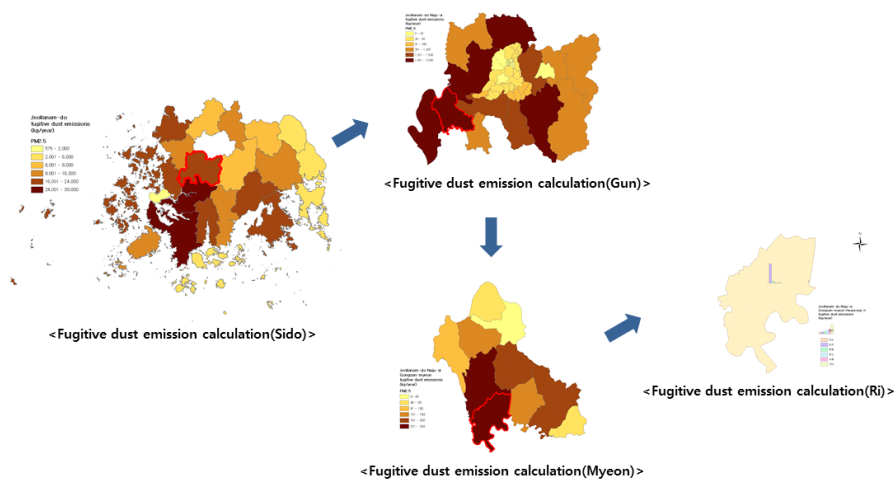


Fig. 10. Flow chart of harvest operation spatial resolution improvement in Jeollanam-Do.

Table 12. Calculation of harvest operation fugitive dust emissions in agricultural by dong and ri(Jeollanam-Do)

| Sido         | Ci·Gun·Gu | Eup·Myeon·Dong | Ri    | Fugitive Dust Emissions PM2.5 |            |                 |           |                      |      |
|--------------|-----------|----------------|-------|-------------------------------|------------|-----------------|-----------|----------------------|------|
|              |           |                |       | Fruit Tree                    | Rice Grain | Wheat and Barly | Vegetable | Root and Tuber Crops | Etc  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri1  | 0.1                           | 143.9      | 15.0            | 4.9       | 0.7                  | 7.2  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri2  | 0.4                           | 158.2      | 16.5            | 5.4       | 0.8                  | 7.9  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri3  | 0.0                           | 36.5       | 3.8             | 1.3       | 0.2                  | 1.8  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri4  | 0.0                           | 71.8       | 7.5             | 2.5       | 0.3                  | 3.6  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri5  | 0.2                           | 127.7      | 13.3            | 4.4       | 0.6                  | 6.4  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri6  | 0.0                           | 114.7      | 11.9            | 3.9       | 0.5                  | 5.8  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri7  | 0.4                           | 194.9      | 20.3            | 6.7       | 0.9                  | 9.8  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri8  | 0.1                           | 200.2      | 20.8            | 6.9       | 1.0                  | 10.1 |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri9  | 0.2                           | 160.8      | 16.7            | 5.5       | 0.8                  | 8.1  |
| Jeollanam-Do | Naju-Ci   | Gongsan-Myeon  | #Ri10 | 0.1                           | 66.0       | 6.9             | 2.3       | 0.3                  | 3.3  |

#### 4. 결론

농업분야 비산먼지 배출량 산정 고도화를 위한 활동도 자료의 시공간 해상도 개선 연구 결론은 다음과 같다.

기존 농업분야 비산먼지 활동도 자료인 시공간 해상도는 국내의 기후환경 및 농촌 특성을 반영하지 못하고 있는 문제점이 지적되고 있어 이에 대한 개선이 필요함을 보여주고 있다. 구체적으로 시간 해상도는 연중 작물별 농업활동 일정을 반영하지 않고 연간 배출량이 균일하게 배출되는 가정하에 이루어지고 있으며, 이는 현실적으로 농업활동 일정, 수확 시기, 월별 배출량의 변화를 반영하지 못하고 있다. 더불어, 공간해상도는 현재 시·군·구 단위로 공개를 하고 있으나 비산먼지 영향에 대한 정책 마련 및 모델링 기초자료의 활용을 위해서는 세분화된 동·리 단위가 요구되고 있다.

본 연구를 통해, 경지정리의 시간 해상도 개선은 최근 10년간 월별 평균 풍속의 세기와 광역시도별 건기일수를 고려하여 지역별, 월별 배분계수를 산정하여 경기도와 전라남도에서 적용하였다. 경기도는 1~5월, 전라남도는 1~5월과 10~12월에 현재 월별 배분계수보다 증가하였고, 경기도의 증가순위는 1순위 3월, 2순위 4월, 3순위 5월이었고, 전라남도의 증가순위는 1순위 3월, 2순위 1월, 3순위 2월로 경기도와 차이가 있었으며 이는

지역별 풍속 세기와 건기일수 차이에 따른 지역별 특성을 반영한 결과로 두 지역 모두 시간 해상도가 향상되었다. 수확의 시간 해상도 개선은 최근 10년간 월별 평균 풍속 세기와 농림축산식품부의 농업경영체 등록정보 조회 서비스의 작물별 재배면적 자료(작물별 농업활동 일정)와 작물별 대표작물의 월별 배분계수를 산정한 후, 현재 CAPSS에서 사용 중인 배출량 산정방법과 개선된 산정방법을 적용하여 월별 배출량을 비교하였다. 경기도의 시간 해상도는 미곡류 4월과 10월, 맥류 5~6월과 10월, 서류 3월, 6~9월, 11~12월, 과수 4월, 7~10월, 채소 3~6월, 11월이 현재 월별 배분계수보다 증가하였으며 이는 지역별 풍속 세기와 대표작물의 농작업 일정 차이에 따른 지역별 특성을 반영한 결과로 경기도의 작물별 시간 해상도가 향상되었다.

경지정리와 수확의 공간 해상도 개선은 경지정리의 경우 팜팜의 밭 면적을, 수확의 경우 과수는 팜팜의 과수 면적을 동·리 단위로 공간배분을 하였고 별도로 수확의 미곡, 맥류, 채소, 서류, 기타의 경우는 공간 구분이 되지 않으므로 팜팜의 동·리별 전체 농경지 면적을 활용하여 기존 시·군·구 단위를 동·리 단위로 확대함으로써 공간 해상도가 향상되었다.

본 연구를 통해 시간 해상도는 월별 동일한 배출량이 아닌 지역과 기상, 농업활동 시기 등을 적용하여 개선된 배출량 특성을 확보하였고, 공간

해상도는 동·리 단위까지 그 영역을 확대하였다. 이를 통해 기존 농업분야 비산먼지 배출량 활동도 자료를 개선하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 “미세먼지 배출량 산정 고도화를 위한 농축산분야 활동도 자료 개선 및 GIS기반 활동도 DB 구축(과제번호: PJ0149092021)” 의 지원으로 수행되었습니다.

### References

1. Rural Development Administration, Analysis on the impact of particle matter on agriculture due to climate change and the trends of related technology, pp.10-15, (2018).
2. National Institute of Environmental Research, Standard work procedures for establishment of basic data on national air pollutant emissions, pp.45-50, (2018).
3. National Institute of Environmental Research, 2018 National Air Pollutant Emissions, pp.28-35, (2020).
4. CARB(California Air Resources Board), Agricultural Harvest Operation, pp.6-7, (2007).
5. CARB(California Air Resources Board), Agricultural Land Preparation, pp.9-10, (2007).
6. US EPA. Midwest Research Institute, Background document for revisions to fine fraction ratios used for ap-42 fugitive dust emission factor, pp.120-125, (2006).
7. National Institute of Environmental Research, National air pollutant emission calculation method handbook(Ⅲ), pp.37-40, (2013).
8. US. EPA, SPECIATE 4.0 Speciation Database Development Documentation, pp.26-28, (2006).
9. National Institute of Environmental Research, Standard work procedures for establishment of basic data on national air pollutant emissions, pp.48-52, (2019).
10. H.S. Hwang, I.B. Lee, M.H. Shim, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Ryu, S.K. Lee, “Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms : monitoring in gunsan”, *Journal of korean society of agricultural engineers*, Vol.50, No.4 pp.39-50, (2008).
11. H.S. Hwang, I.B. Lee, M.H. Shim, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Ryu, J.P. Bitog, K.S. Kwon, Y.H. Kim, “Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms : monitoring in gim-je”, *Journal of korean society of agricultural engineers*, Vol.51, No.2 pp.59-67, (2009).
12. National Statistics Portal, Available From: <https://kosis.kr>. (accessed Sep., 7, 2020)
13. Farmland Potal System Map Service, Available From: <https://agis.epis.or.kr>. (accessed Oct., 19, 2020)
14. Public Data Portal OPEN API Service, Available From: <https://www.data.go.kr>. (accessed Oct., 21, 2020)
15. Agricultural Business Registration Information Statistical Service, Available From: <https://uni.agrix.go.kr>. (accessed Sep., 16, 2020)