

1D3)

태풍 우사기와 나리 통과 후 부산지역 미세먼지 농도 급상승에 관한 연구

Sudden Rise of Fine Particle Concentration after Typhoon USAGI and NARI(2007) Passage in Busan

전병일 · 황용식¹⁾ · 김명우²⁾

신라대학교 환경공학과, ¹⁾부산대학교 석면중피종연구센터,

²⁾Ohio University Air Quality Center

1. 서 론

태풍은 단일 기상현상 중에 가장 강력하여 집중호우, 폭풍 및 해일 등의 악기상을 유발하며, 우리나라는 매년 2~3개의 태풍이 상륙하여 막대한 경제적 피해와 인명 피해를 미치고 있다. 최근에는 지구온난화로 인해 태풍의 규모가 대형화되는 추세를 보이고 있어, 이에 대한 방재대책이 시급히 요구되는 실정이다. 따라서 이러한 막대한 경제적 손실과 인명피해를 저감하기 위해서는 태풍에 대한 예보의 필요성과 중요성이 더욱 증대되고 있다. 본 연구에서는 2007년 우리나라에서 발생한 태풍 중 부산지방과 가장 가까운 지역으로 진로를 형성한 우사기(USAGI)와 나리(NARI)를 선정하여 이 태풍이 부산지역 인근을 통과할 때 나타나는 미세먼지농도의 특성을 고찰하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 미세먼지농도를 비롯한 대기오염농도는 부산광역시에서 운영하는 장림동의 자료이다. PM₁₀과 PM_{2.5}를 동시에 측정하는 지점으로 장림동외에 연산동, 기장읍, 좌동이 있지만, 본 연구에서는 태풍 내습 시 가장 측정이 양호하고 부산지방기상청에서 가장 가까운 장림동을 선택하였다. 기상자료는 부산지방기상청에서 관측한 지상기상자료와 위성사진 그리고 지상일기도를 사용하였다. 고농도 미세먼지 발생 시의 기원을 고찰하기 위해 부산지방에 영향을 준 공기덩어리를 알아보기 위해 미국 NOAA에서 제공하는HYSPLIT4를 이용하여 backward trajectory 분석(Draxler and Rolph, 2003)을 하였고, 또한 고농도 발생 시 대기경계층의 특성을 알아보기 위해 NOAA에서 제공하는 대기경계층고도를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 2007년 제5호 태풍인 우사기와 제11호인 나리의 진로를 나타낸 것이다. 우사기는 7월 29일 15시 미국 괌 북쪽 약 510 km에 부근 해상에서 약한 소형 태풍으로 발생한 후, 8월 2일 15시 일본 가고시마 동쪽 약 130 km 부근에 도달하였고 8월 3일 03시 부산 동남동쪽 약 230 km 부근에 도달하여 빠른 속도로 북동진하여 8월 4일 09경 일본 삿포로 남서쪽 약 330 km 부근 해상에서 온대성 저기압으로 변질되면서 소멸하였다. 우사기의 진로가 우리나라와 많이 떨어져 있어서 전국적으로 강수와 바람에 의한 피해는 없었다. 부산지방은 우사기가 8월 3일 새벽에 부산지역과 가장 근접하였으나 강수량은 0.3 mm로 매우 작았다. 최대풍속이 새벽 1시경 6.1 m/s이었고, 순간최대풍속은 1시 14분에 10.9 m/s이었다. 최저기압은 2시 19분에 999.4 hPa이었다. 나리는 9월 13일 15시경 일본 오키나와 남동쪽 약 660 km 부근 해상에서 비교적 고위도에서 약한 소형태풍으로 발생하였으며, 9월 16일 06시에 서귀포 남쪽 약 180 km 부근 해상에 도달하였고, 같은 날 18시 15분경 전라남도 고흥반도로 상륙하였다. 상륙당시 기압은 980 hPa, 중심부근 최대풍속은 27 m/s이었고 시속 25 km로 북북동진하였다. 상륙전후의 장반경은 160 km, 단반경은 북서쪽으로 140 km이었다. 9월 17일 00시 안동 남서쪽 약 80 km 부근 육상에서 온대성 저기압으로 변질되어 소멸되었다(차은정 등, 2008).

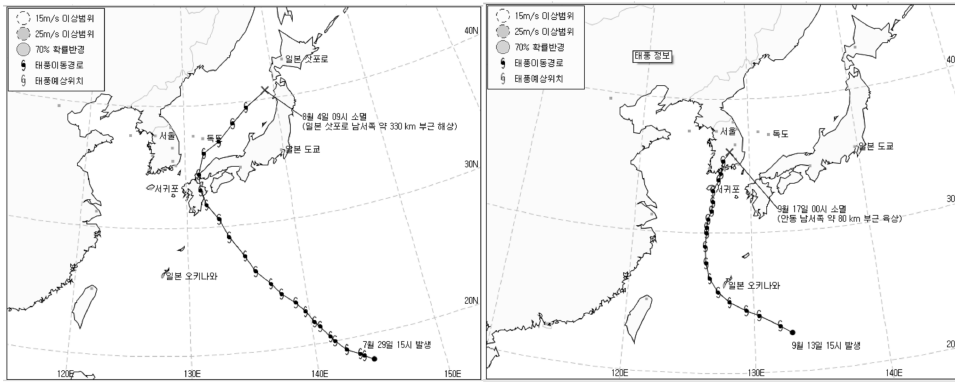


Fig. 1. Routes of USAGI(right) and NARI(left) in 2007.

그림 2는 2007년 제5호 태풍인 우사기가 우리나라에 영향을 주었을 때 부산의 장림동에서 측정된 PM₁₀, PM_{2.5}의 농도 변화를 나타낸 것이다. 우사기가 일본 남쪽 해상에 있을 때인 8월 1일과 8월 2일의 미세먼지의 일변화는 출·퇴근에 높고 혼합고가 높은 주간에는 낮은 전형적인 일변화 패턴을 나타내었다. 그러나 태풍이 부산지방에 가까이 온 8월 3일의 경우를 보면, 태풍의 전면에서 발생한 구름대에서 발생한 강수에 의해 미세먼지농도가 낮았고, 비가 그치자 09시에 PM₁₀농도가 일시적으로 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하였다가 이후 상승과 하강을 반복하였다. 그 이후 우사기가 부산지방을 완전히 빠져나간 후인 21시에 PM₁₀농도가 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었고 8월 4일 09시에 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타낼 때까지 12시간 동안 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도를 나타내었다. PM_{2.5}인 초미세먼지도 PM₁₀과 같은 농도변화를 나타내었다. 특히 8월 4일 1시부터 8시까지 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 고농도가 발생하였다. 즉 8월 3일 21시부터 8월 4일 오전 9시까지 12시간 동안 고농도 미세먼지가 발생한 것이다. 이기간 동안 PM₁₀농도는 평균 156.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}는 평균 106.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 PM_{2.5}/PM₁₀ 비는 0.68이었다. 무엇이 이 시간대에 고농도 미세먼지를 발생한 것일까? 미세먼지는 일반적으로 출퇴근시간대의 높은 자동차통행량에 의해 고농도가 나타나고 야간에는 저농도를 나타내는 것이 일반적이다. 그리고 여름철의 장림동의 PM₁₀의 일변화를 보면 저녁 8시 이후 동일한 농도를 유지하고 타 계절에 비해 낮은 농도를 나타내고 있다. 다만, PM_{2.5}/PM₁₀의 비가 여름철의 평균비(0.67)와 거의 동일하게 나타났다.

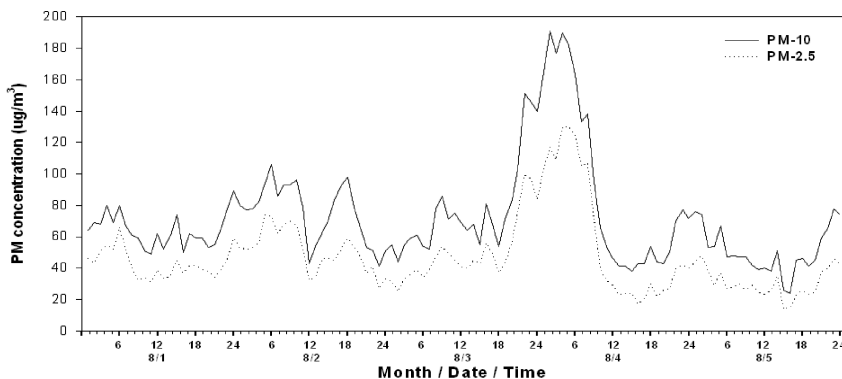


Fig. 2. Variation of PM₁₀ and PM_{2.5} concentration during Typhoon USAGI in Busan.

그림 3은 2007년 제11호 태풍인 나리가 우리나라에 영향을 주었을 때 부산의 장림동에서 측정된 PM₁₀, PM_{2.5}의 농도 변화를 나타낸 것이다. 나리가 우리나라에 상륙하기 전인 9월 14일의 장림동의 미세

먼지 농도는 09시와 10시에 $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 농도를 나타내었고, $\text{PM}_{2.5}$ 도 $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내었다. 이후 감소하여 오후 3시에서 4시경에는 최저농도를 나타내는 전형적인 일변화 특성을 나타내었다. 9월 14일 경우 태풍전면에서 발생한 구름대의 영향으로 약한 강수가 있었지만 미세먼지 변화에는 큰 영향을 미치지 못했다. 9월 15일의 경우, 오전에는 부산지방이 태풍의 전면에 있었으나 풍속이 약하여 PM_{10} 농도가 $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 농도가 나타났고 $\text{PM}_{2.5}$ 는 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 농도가 나타나 상대적으로 $\text{PM}_{2.5}$ 농도가 낮았고, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 의 비가 0.5로 나타났다. 12시부터 시작된 강수로 인하여 미세먼지는 급격히 하강하였고, 18시경부터 약해진 강수와 퇴근차량의 영향으로 PM_{10} 은 18시에 $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 21시에 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 유지하였고, $\text{PM}_{2.5}$ 도 동반상승하여 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 비도 0.7로 장립동 본래의 모습이였다. 9월 16일의 경우, 새벽부터 나리의 영향으로 부산지방은 북동풍의 강한 바람이 불기 시작하였으며 강수현상도 산발적으로 나타났다. 따라서 오전의 장립동 PM_{10} 농도는 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 낮은 농도를 나타내었고, $\text{PM}_{2.5}$ 도 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 농도를 나타내었다. 그러나 9월 16일 23시에 $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 9월 17일 0시에 $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내면서 급격히 증가하였다. 하지만 $\text{PM}_{2.5}$ 는 PM_{10} 과는 동반상승하지 않았다. $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 비가 0.24로 매우 낮았다. 이때 부산지방의 기상요소의 경우, 20시부터 북동풍에서 동남동풍으로 급격한 풍향변화가 있었고, 풍속도 약 6 m/s 에서 약 10 m/s 대로 강화되었다. 강수현상은 새벽에 4 mm 정도의 약한 비가 있었고, 오후 2시부터 5시까지 6 mm , 저녁 7시부터 11시까지 11 mm 의 강수가 있었다. 강수가 끝나고 고농도의 PM_{10} 이 3시간 동안 발생한 것이다.

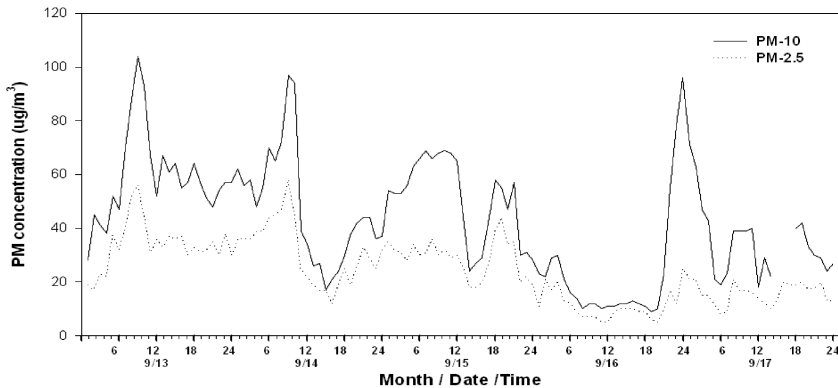


Fig. 3. Variation of PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ concentration during Typhoon NARI in Busan.

참 고 문 헌

- 차은정, 박윤호, 권혁조 (2008) 2007년 태풍 특징, 대기, 18(3), 183-197.
- Fang, G.C., S.J. Lin, S.Y. Chang, and C. Chou (2009) Effect of typhoon on atmospheric particulates in autumn in central Taiwan, Atmospheric Environment, 43, 6039-6048.
- Feng, Y., A. Wang, D. Wu, and X. Xu (2007) The influence of tropical cyclone Melor on PM_{10} concentrations during an aerosol episode over the Pearl River Delta region of China: Numerical modeling versus observational analysis, Atmospheric Environment, 41, 4349-4365.