

바람에 의한 강우감소율 산정에 관한 연구

박 무 중¹⁾ / 김 정 환²⁾ / 김 응 석³⁾
Park, Moo Jong / Kim, Jeong Hwan / Kim, Eung Seok

1. 서론

우리나라의 경우 특히 하절기인 6~8월에 발생하는 열대성저기압 혹은 태풍 등에 의한 강수는 강한 바람을 동반하게 되는 경우가 대부분이다. 또한, 자동우량경보시설과 같이 강우의 규모만을 이용하여 경보를 발령하는 경우, 대부분의 우량계 설치 위치가 산악으로 이는 평탄한 지역과는 다른 환경조건에 직면하게 된다. 즉, 바람의 규모에 따라 측정된 강우량과 실제 발생한 강우량의 규모는 상이할 것이다. 그럼에도 불구하고 바람의 속도, 즉 풍속에 따른 감소효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

기존의 강우량 측정에 관한 연구내용은 다음과 같다. Neff(1977)는 대기중에 노출된 표준형이 매립형과 비교하여 5~15%정도 감소하는 것을 발견하였으나 바람과 감소율과의 관계를 수립할 수 있는 일관성은 없는 것으로 나타났다. Helvey와 Patric(1983)은 풍속이 Neff(1977)의 실험보다 작은 것으로 예상되는 숲에 위치한 표준형 우량계에서 2.3~3.4%의 감소가 있음을 보고하였다. Guo 등(2001)은 기존의 연구결과를 이론식을 이용하여 바람의 영향을 수학적으로 증명하였다.

본 연구에서는 바람에 의한 우량계 관측자료의 변동성을 분석하고자 한다. 따라서, 우량관측시 영향을 미치는 바람에 의한 우량 감소효과를 실험을 통하여 산정하였다. 그러나, 강우나 바람은 자연적 현상으로 실험에 필요한 결과를 얻기 위해서 실내 실험을 통하여 그 효과를 추정하였다. 또한 바람에 의한 강우감소율을 기존의 실험 및 문헌 등을 바탕으로 정리하여 이론식에 의한 감소율을 산정하여 그 결과를 실험에 의한 실측값과 비교하여 실험의 타당성을 검증하였다. 실험실내에서 자연현상을 그대로 재현해 내는 것은 물리적으로 불가능하나 가장 유사한 조건이 되도록 실험을 수행하였으며 그 결과를 이론식과 비교하여 실험의 적정성을 확인할 수 있었다. 또한 연구 결과는 강우량 자료의 일관성을 유지할 수 있는 체계적인 방법으로 사용 가능할 수 있다고 판단된다.

2. 이론식에 의한 풍속에 따른 강우감소율 산정

2.1 강우의 낙하속도

낙하하는 강우입자에는 3개의 힘이 작용한다. 자중에 의해 발생하는 중력방향의 힘, 강우입자 배제하는 공기 에 의한 부양력, 강우와 공기사이에 발생하는 항력이다. 이때, 강우가 응집하여 입자의 형태로 낙하를 시작하면 강우입자는 종말속도(terminal velocity) v 는 식(1)과 같다.

$$v = \left[\frac{4gd}{3c_d} \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

식(1)은 강우의 입자가 1mm 이하의 구형인 경우에 적절하다. 이 크기 이상에서는 강우입자의 바닥이 평평해

1) 한서대학교 토목공학과 조교수

Assistant Professor., Department of Civil Engineering., Hanseo University., Choongnam, 356-820, Korea
(E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr)

2) 고려대학교 부설 방재과학기술연구원 선임연구원

Senior Researcher, Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea University, Seoul 136-701
(E-mail : hydrokes@empal.com)

3) 고려대학교 부설 방재과학기술연구원 선임연구원

Senior Researcher, Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea University, Seoul 136-701
(E-mail : hydrokes@empal.com)

져 투영면적이 넓어진다. 따라서, 이는 실제 강우의 직경과 같은 체적을 차지하는 강우의 체적에 대한 상당직경으로 변환되어야 한다(Pruppacher와 Klet, 1978). 강우입자는 6mm까지 존재가능하나, 강우강도가 작은 경우에는 3mm이상은 거의 발생하지 않는다(Chow 등, 1988). 직경 0.1mm 이하의 작은 강우입자의 경우에는 항력은 Stokes의 법칙에 따르게 되며 이때 항력계수 $C_d = 24/Re$ 이다. Re 는 Reynolds 수로 $\rho_a VD/\mu_a$ 이며, μ_a 는 공기의 점성계수이다.

2.2 바람에 의한 강우감소 효과 산정 기법

우량계에 대한 바람의 영향은 강우입자의 종말속도가 45° 방향으로 유입하는 것으로 종종 가정된다. 실제로 강우입자의 낙하방향은 강우 벡터에 영향을 미치는 속도성분에 따라 결정된다(Guo 등, 2001). 강우입자에 대한 공기흐름의 모멘트가 수평방향과 항력과 같다는 가정(Liggett, 1994)아래 우량계로 유입되는 강우입자의 낙하속도는 식 (2)과 같다.

$$V = [\vec{V}] = \sqrt{K^2 U^2 + v^2} \quad (2)$$

여기서, K 는 수평방향 속도비이다. 또한 강우지속시간 T_d 동안의 평균강우강도 I 는 식 (3)과 같다.

$$I = \frac{S}{AT_d} = CV \frac{A_e}{A} = CV \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 = CV [(1-k) \sin \theta]^2 \quad (3)$$

여기서, D 는 우량계 직경, D_e 는 강우 입자가 우량계에 입사하는 유효직경, A_e 는 강우입자가 우량계에 떨어질 때의 우량계 유효면적, A 는 우량계의 개구면적, S 는 강우지속시간 동안 포집되는 강우의 체적, C 는 강우입자의 공간적 밀도도, T_d 는 강우의 지속시간, θ 는 강우 입사각이다.

따라서, 우량계의 감소비율은 우량계에 바람이 불지 않고 식생의 영향도 없다면 $u=0$, $k=0$, 그리고 $\theta=90^\circ$ 가 되면 식 (4)이 성립된다.

$$V_0 = v \quad \text{및} \quad I_0 = CV \quad (4)$$

이때 V_0 와 I_0 가 참값이라고 가정하면 강우포착율 R 은 다음 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{I}{I_0} = \frac{V}{v} [(1-k) \sin \theta]^2 \quad (5)$$

즉, 따라서 강우감소율은 $r = 1 - R$ 로 나타낼 수 있다.

3. 실험에 의한 풍속에 따른 강우감소율 산정

실험실에서 강우를 발생하기 위해서, 직경이 0.5mm의 콘형 노즐을 사용하였다. 인공강우의 강도는 1시간당 최소 84mm~최대 228mm 까지 발생가능 하였다. 실제 강우시에는 바람의 방향 즉, 풍향과 풍속이 연속적으로 변화하게 된다. 그러나, 본 연구에서는 바람의 규모에 의한 강우의 관측값의 변동성을 연구하는 것이므로 일정한 강우강도가 계속되고 이때, 바람의 풍속도 일정하게 유지하여 풍속에 의한 포착율을 측정하였다. 본 연구에서는 회전형 프로펠러가 아닌 원통형 임펠러를 가진 시로코 블로우어를 사용하고 팬 앞에 덕트(duct)와 정류판을 4열로 설치하여 자연적인 바람과 유사한 조건이 되도록 하였다.

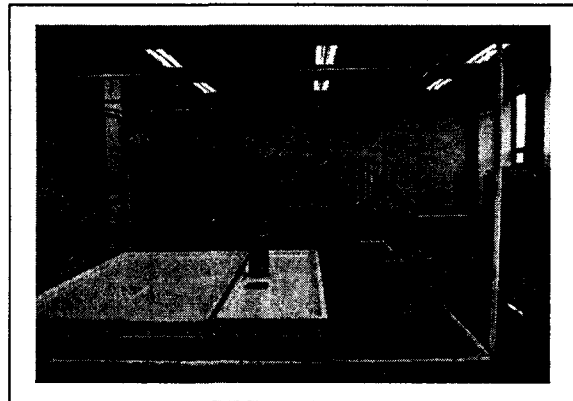


그림 1. 실험장치 구조

실험실 전체 구조는 그림 1과 같다. 바람발생장치 및 강우발생장치를 이용한 전체 실험은 시간에 의한 영향을 최소화하기 위해 강우강도 및 풍속별로 1시간을 기준으로 수행하였다.

4. 적용 및 결과

4.1 이론식의 적용 및 결과

이론식을 바탕으로 강우의 직경 및 풍속에 따른 강우낙하속도, 강우의 입사각을 고려한 낙하속도, 입사각, 유효직경, 포착율, 감소율을 대표적인 강우의 직경인 2mm에 대해 산정하여 풍속에 따른 감소율을 그림 2에 나타내었다. 직경 5mm 규모의 강우가 발생하는 경우에는 바람에 의한 영향은 직경 0.2mm 규모의 강우가 발생하는 경우에 비하여 강우감소율은 5배정도 차이가 발생한다.

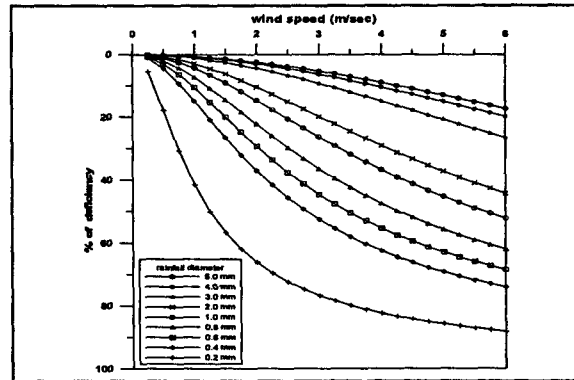


그림 2. 강우 직경별 풍속에 따른 감소율

4.2 실험결과

바람의 영향에 의한 강우량의 감소율을 5가지(84, 120, 150, 186, 228)의 강우강도(mm/hr)각각에 대해 풍속 0.0~6.0m/sec에 관해 실험하였다. 실험결과에서 강우강도와 관계없이 대부분 비슷한 감소율을 나타내었다. 이는 강우의 감소율은 풍속의 영향이 중요하며, 강우강도와는 거의 연관성이 없음을 알 수 있었다. 그림 3-(a)는 강우강도 조건 5가지에 대한 각각의 감소율을 보여주고 있다. 또한 그림 3-(b)는 전체 5가지 실험으로 회귀분석을 유추한 것으로 다차항식을 선정하였다. 이때 2차 함수를 적용한 감소율 곡선은 상관계수 $R=0.97$ 로 그림 3-(b)의 실선으로 나타내었으며 이론식 계산에 의한 점선의 감소율 곡선과도 매우 유사하게 나타나고 있다.

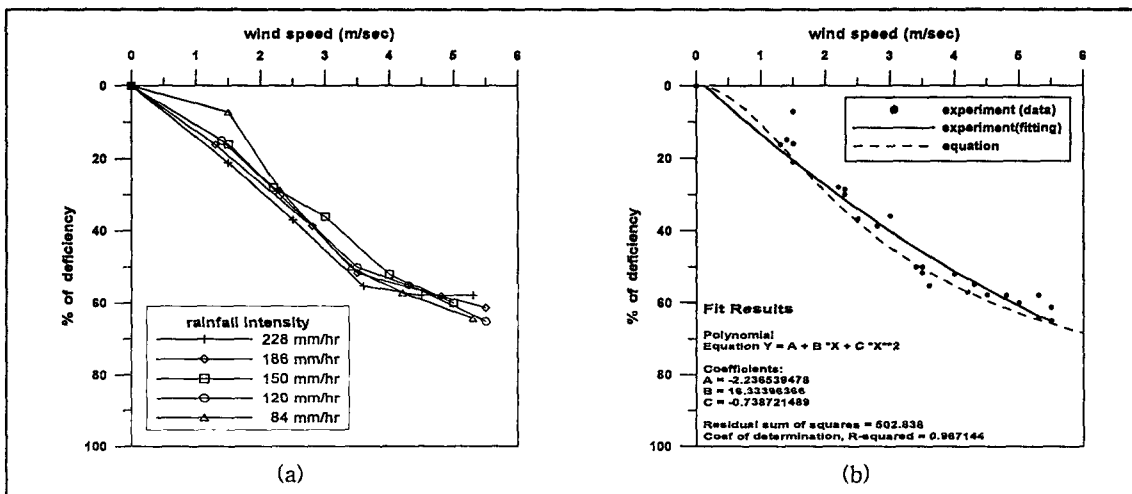


그림 3. 강우강도별 풍속에 의한 강우량 감소율 (강우직경 0.5mm)

본 연구에서 실시한 실험 결과인 그림 3-(b)와 이론식을 바탕으로 강우의 직경에 따른 감소율을 나타낸 그림 7의 직경 0.5mm 인 경우의 결과가 거의 유사하게 나타났다. 실험결과 그림 3-(a)에서는 다양한 강우강도별 강우의 풍속에 따른 감소율의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

따라서 풍속에 의한 강우의 감소율은 강우강도보다는 강우의 직경에 의해 산정 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 일반적으로 발생하는 강우의 직경이 2mm로 가정한다면 강우의 감소율을 풍속에 의해서만 결정될 수 있

다. 강우직경이 2mm 일 때의 강우의 낙하속도는 6.48m/sec 이며 이때의 감소율을 이론식을 이용하여 정리하면 다음 식 (6)과 같다.

$$\text{강우감소율(\%)} = \left[1 - \frac{v'_t}{v_t} \times \sin^2 \left(\tan^{-1} \left(\frac{v_t}{v_{\text{wind}}} \right) \right) \right] \times 100 \quad (6)$$

여기서, v_t 는 강우 직경에 따른 낙하속도, v_{wind} 는 풍속, $v'_t = \sqrt{v_{\text{wind}}^2 + v_t^2}$ 이다.

5. 결론

본 연구에서는 풍속에 의해 우량계에 측정되는 강우의 감소율을 모형실험을 통하여 산정하고 이를 이론식에 의한 결과와 비교하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 강우의 감소율은 풍속의 규모가 증가할수록 증가하는 추세를 보이며, 가장 큰 영향인자는 강우의 낙하속도와 풍속의 규모이다.

(2) 강우의 감소율은 강우강도와는 거의 상관이 없다. 따라서, 단위시간당 발생하는 강우총량보다는 강우의 입자에 의한 영향이 가장 크다.

(3) 가장 일반적으로 발생하는 강우입자 2mm에 대한 감소율은 제안한 식(6)을 이용하여 산정 할 수 있다.

(4) 실험에 의한 강우감소율은 이론식에 의한 강우감소율과 거의 유사하게 나타나고 있다. 따라서 강우감소율은 강우의 입사각 변화에 따른 유효면적의 감소에 의해 주로 발생함을 알 수 있었다.

참고문헌

- Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, pp.64~71.
- Guo, J. C. Y., Urbonas, B. and Stewart, K. (2001). "Rain Catch Under Wind and Vegetal Cover Effects", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 29~33.
- Helvey, J. D., and Patric, J. H. (1983). "Sampling accuracy of pit vs. standard rain gage on the Fernow Experiment Forest", *Water Resources Bulletin*, Vol. 19, pp.87~89.
- Liggett, J. A., (1994). *Fluid mechanics*, McGraw-Hill, New York.
- Neff, E. L. (1977). "How much rain does a rain gage?", *Journal of Hydrology*, Vol.35. pp. 213-220.
- Pruppacher, H. R., and Klett, J. D. (1978). *Microphysics of Clouds and Precipitation*, D. Reidel, Dordrecht, Holland.