

하천 홍수 위험 감시를 위한 다중센서 기반 하천 관측 기술 개발

장봉주[†], 정인택^{**}

Development of Multi-Sensor based River Monitoring Technology for River Flood Risk surveillance

Bong-Joo Jang[†], In Taek Jung^{**}

ABSTRACT

This paper proposes a core technology for a micro river monitoring terminal device suitable for flood monitoring in small rivers and valleys. Our proposed device is basically equipped with a 77GHz radar, gyro and accelerometer sensors. To measure the flow velocity and water level, we proposed a signal processing technique that extracts pure water energy components from the observed Doppler velocity and reflection intensity from the radar. And to determine the stability of the river structure equipped with our device, we constantly monitor the displacement of the measured values of the gyro and accelerometer sensors. Experimental result verified that our method detects pure water energy in various river environments and distinguishes between flow velocity and water level well. And we verified that vibration and position change of structures can be determined through a gyro sensor. In future research, we will work to build a secure digital twin river network by lowering the cost of supplying RF-WAV devices. Also we expect our device to contribute to securing a preventive golden time in rivers.

Key words: River, Flood, Surveillance, Multi Sensor

1. 서 론

최근 지구 온난화에 따른 해수 온도 상승의 영향으로 인한 극단적인 악기상이 증가하고 있다. 잦은 빈도로 형성되는 대형 태풍의 위협이 커지고, 종래에 보기 드물었던 갑작스런 폭우와 국지성 호우 등이 지속적으로 발생하고 있다. 더욱이 2020년 여름에는 공식기록 54.3일로 역대 가장 긴 장마를 기록하였으며 강수량 또한, 같은 기간 평년의 두 배에 달하는 평균 687 mm에 육박했다[1]. 태풍 마이삭, 하이선

등과 장마기간이 겹침으로 해서 여름철 수재해 피해를 더 가중시켰다. 최소 50명 이상이 사망 또는 실종되었으며[2], 한탄강 지류, 섬진강, 합천 황강, 낙동강 등지에서 재방이 유실되고 하천이 범람하면서 큰 피해를 발생시켰다[3-6]. 그 외 전국적으로 무수히 많은 피해가 발생하였으며, 특히 하천 관리가 느슨하거나 낙후된 지역에서의 피해가 동시다발적으로 발생했다. 한편, Fig. 1은 2003년 태풍 매미 때 교각이 붕괴되어 경남 의령군 소재 삼동마을 옆으로 흐르던 신반천의 물길이가 마을로 향해 마을의 절반이 침수된

* Corresponding Author: Bong-Joo Jang, Address: (10223) Goyang-daero 283, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea, TEL: +82-31-910-0670, FAX: +82-31-910-0100, E-mail: roachbj@kict.re.kr
Receipt date: Oct. 15, 2020, Revision date: Nov. 1, 2020
Approval date: Nov. 4, 2020

[†] Dept. of Water, Land and Environment Research, KICT

^{**} Planning and Coordination Department, KICT
(E-mail: jungintaek@kict.re.kr)

* This research was supported by the Strategic Research Project of Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (Development of Digital Pairing Core Technology for Water Resource Utilization and Disaster Surveillance)



Fig. 1. Bridge loss site due to typhoon Maemi, Sep. 14, 2003.

때의 사진(저자 직접 촬영)이다. 강한 태풍의 영향과 함께, 나뭇가지, 생활쓰레기 등의 부유물들이 교각에 걸려 교각이 받는 하중을 가중시킨 것도 한 원인으로 지목된다. 강폭이 넓고 평소 유량이 많은 중대형 하천에 비해, 상대적으로 하천 폭이 좁은 지방 소하천이나 계곡의 경우 악기상 시 Fig. 1과 같은 수위 및 유속 증가에 따른 교각 등의 하천 구조물 파손/붕괴에 의한 피해도 빈번히 발생한다.

본 논문은 홍수로 인한 피해는 하천 관리가 느슨하거나 낙후된 지역의 지류 및 계곡에서 주로 발생하는 점에 착안하여 소하천 및 계곡의 홍수 감시에 적합한 초소형 첨단 하천감시 단말장치RF-WAVE (RainFall, Water-level And VELOCITY)의 원천기술을 제안한다. 본 논문에서 소개하는RF-WAVE는 전파(RF Wave) 센서를 포함한 다중 센서를 이용하여 하천의 강수, 수위, 유속을 감시하는 동시에 하천 구조물의 변형 또는 붕괴위험을 사전에 무선망을 통해 경보할 수 있는 시스템의 핵심 요소 기술로 제안된다.

2. 관련 기술

2.1 하천홍수 관리

국가하천 및 인구가 밀집된 지역의 경우 환경부 한강홍수통제소[7]를 중심으로 집중 모니터링 되고 있다. 홍수통제소는 홍수기 대응체계를 구축하여 홍수 예측, 품질관리 등을 통해 사전 대응이 가능하고 피해가 발생하기 전 예보 상황을 전파하는 역할을 수행한다. Fig. 2는 한강홍수통제소에서 모니터링하고 있는 주요 하천 지점들 중 서울 중랑교를 예로 나타낸 것이다. 또한 한강홍수통제소에서는 홍수 빈도가 높은 주요 하천들에 대해서 실시간 비디오 모니



Fig. 2. River monitoring system operated by Han River Flood Control Office.

터링을 수행함으로써 보다 강도 높은 사전 대응체계를 갖추게 하고 있다.

이처럼 국가하천이나 주요 위험 지점들에 대해서는 홍수 예경보 체계가 잘 갖추어져 있으며, 피해가 발생할 경우 골든타임 확보를 위한 긴밀한 대응이 가능하고 국가자원을 통해 빠른 복구가 가능하다. 하지만 대부분의 지방 소하천이나 계곡지의 경우 관할 지자체 또는 현장 관리소에 의해 관리됨에 따라 긴밀한 대응체계를 구축하는 것에 현실적인 어려움을 가지고 있다. 또한 피해가 발생할 경우 대부분이 사유지 또는 경작지인 이유로 주민 개개인이 피해를 떠안아야 하는 경우가 많다.

제안 기술은 이와 같이 지방 소하천 또는 계곡에서의 홍수 피해를 최소화할 수 있는 최적화된 감시 체계에 대한 방법론을 함께 제시하고자 한다.

2.2 하천 수위 및 유속 측정

하천, 댐 등에서 수위나 유량을 측정하기 위해 주로 사용되는 수위계는 그 측정 방식에 따라, 접촉식 및 비접촉식으로 분류되며, 접촉식 수위계의 경우 부력을 이용한 부자식 수위계와 대기압 차를 이용한 압력식 수위계로 나뉘며, 비접촉식 수위계로써 주로 주파수대역에 따라 레이저식, 레이더식, 초음파식, 음파식 등으로 분류된다. Table 1로부터 다양한 수위계의 상세 분류를 나타내었다[8].

하지만 비접촉식 수위/유속계의 경우 대부분이 유량이 많은 하천 또는 댐에 설치하는 것이 적합하도록 개발되어 왔으며 그에 따라 주변 환경 변화에 따른 간섭효과가 많은 지방천 또는 계곡 설치가 어려운 점이 있으며, 접촉식 수위/유속계 기술들 또한, 유속

Table 1. Various types of water meters according to operation principle

| Division | Type | Description |
|----------------|------------------------|--|
| Direct reading | Staff gauge | Water level readings indicated a staff gauge |
| Float | Float | Water level read by the flute in line with buoyant |
| | Reed switch | Reed contacts used by the buzzer |
| Pressure | Differential pressure | Atmospheric pressure using differential pressure measurement |
| | Air purge | Pressure by using air pressure |
| Electronic | Electrostatic capacity | Capacitance measurement by the dielectric constant of the liquid above |
| | Electrode | Electrical conductivity measured by the electrodes |
| Ultrasonic | Ultrasonic wave | Ultrasonic transit time measurement |
| | Sound wave | Transmission time measurement of the sound wave |
| Radiation | Irradiation | The use of radiation reflected wave |
| | Transmission | Radiation transmittance measurement |
| Microwave | | Transmission propagation time measurement of the microwave |
| Laser | | Transmission time difference measurement of the laser |
| Radar | | Echo time difference measurements of radar signals |

의 변화가 크고 복잡한 환경의 지방천 및 계곡에 설치할 경우 유실될 위험이 크며 유지관리가 어렵다.

또한 최근의 연구에서는 수위 측정 지점에서 수위를 예측하기 위해 두 개의 상류 측정 지점의 수위를 순환신경망을 사용하여 인공 지능 모델을 구축하는 연구가 진행되었다[9]. 이 연구는 하천수위 예측을 위해 인공지능 모델을 적용하였지만, 근본적으로 수위 측정기의 성능에 의존성이 크며, 돌발홍수와 같은 실시간 경보시스템에서의 적용성은 아직 검증되지 않았다. 또 다른 연구에서는 수리학적 모형을 이용하여 과거 홍수사상에 대한 검보정을 실시함으로써 홍수량 규모에서 적합한 조도계수를 추정하고, 검보정된 모형을 이용하여 수위-유량관계 곡선을 외삽하는 방법을 정립하였다[10]. 이 방법은 유량 측정 지점의 결측 시 외삽법을 이용하여 미계측 구간을 추정하는 방법이다. 이 방법 역시 국지성, 개릴라성 호우에 의해 발생하는 돌발홍수에 실시간으로 대응하기에는 한계가 있다.

영상을 이용한 표면영상유속계(SIV, surface image velocimeter)의 경우, 대부분 하천에 감시카메라를 설치한 후, 비강우 시 카메라 영상 상의 참조점을 설정하여 추적입자를 흘려 영상 상에서 추적 입자의 이동 속도를 추정하여 표면유속을 계산 및 검보정한다[11]. 이러한 영상유속계의 경우 조도, 그림자 등

하천의 주변 환경 변화에 민감하며, 하천의 표면 변화가 상대적으로 적은 경우에는 관측 오차가 증가하는 단점이 있다. 또한, 지형의 변화가 크고 하도가 복잡한 경우(곡류 하천)나 하상의 영향으로 하천 표면이 매우 복잡한 경우 역시 관측 오차가 크게 발생할 수밖에 없다.

제안하는 기술은 앞선 예측, 추정 방법론에 비해 보다 직접적인 관측 네트워크를 구축하기 위한 원천 기술이다. 제안 기술은 상대적으로 하천 폭이 좁은 지방천이나 계곡에서 나뭇가지를 포함한 하천 식생과 새, 고라니 등의 동식물이 하천 감시 정확도를 저해하는 요인들을 효과적으로 제거하여 하천의 순수한 수세(水勢, pure water energy)만을 판별하도록 설계되었으며, 지방천의 교각 및 계곡의 간단한 구조물 등에 설치하여 유실의 위험 없이 간단히 운영될 수 있도록 설계되었다.

3. 제안한 방법

3.1 제안한 RF-WAVE 기술 개요

제안하는 RF-WAVE는 호우 시 계곡 및 소하천의 급류, 범람 등이 발생하여 주변 마을과 사람들에게 피해를 줄 위험이 있는 지역의 구조물에 설치하여 하천의 위험수위 및 유속을 실시간 모니터링하면서

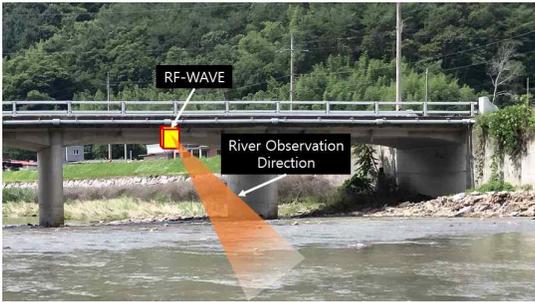


Fig. 3. Concept of proposed RF-WAVE technology.

주변 마을, 지자체, 중앙 재난 관리부처 등에 정보를 제공하고 자체 정보함으로써 수재해 피해를 예방하는 기술이다. 다중센서를 이용함으로써 하천 교각 및 전신주 등의 구조물에 설치하여 하천의 수위와 유속을 측정하는 동시에 구조물의 안정성(급류에 의한 파손 붕괴 등)을 모니터링 할 수 있는 RF-WAVE의 하천 설치 예를 Fig. 3에 나타내었다.

하천의 유속, 수위 등을 측정하기 위한 RF-WAVE에는 77GHz 레이더 센서, 자이로 및 가속도 센서를

기본적으로 탑재된다. Jang 등[12]은 초소형 산업용 W밴드 FMCW(frequency modulated continuous wave) 레이더를 이용하여 강우를 관측하고 강우강도를 추정하는 연구를 진행한 바 있다. 본 연구에서는 [12]에서 사용된 것과 같은 산업용 레이더와 자이로 센서를 사용하여 유속과 수위를 측정하는 한편, 자이로 및 가속도 센서값의 변위를 측정함으로써 하천구조물의 안정성을 모니터링 한다. Fig. 4는 제안하는 RF-WAVE 단말 기술의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

Fig. 4의 각 블록으로 나타낸 바와 같이 제안 기술은 하천의 수위와 유속을 측정하는 부분과, 구조물 안전성을 모니터링 하는 부분 및 데이터를 서버에 전송하고 위험을 판단하여 경보하는 세 부분으로 나누어진다. 자세한 내용은 다음 절 및 실험결과를 통해 자세히 살펴보기로 한다. 레이더 센서의 도플러 신호와 반사 강도를 통해 순수 하천 에너지를 검지하고, 자이로 센서로부터 계산된 방향값을 이용해 하천의 표면 유속과 수위를 측정한다. 한편 자이로 센서

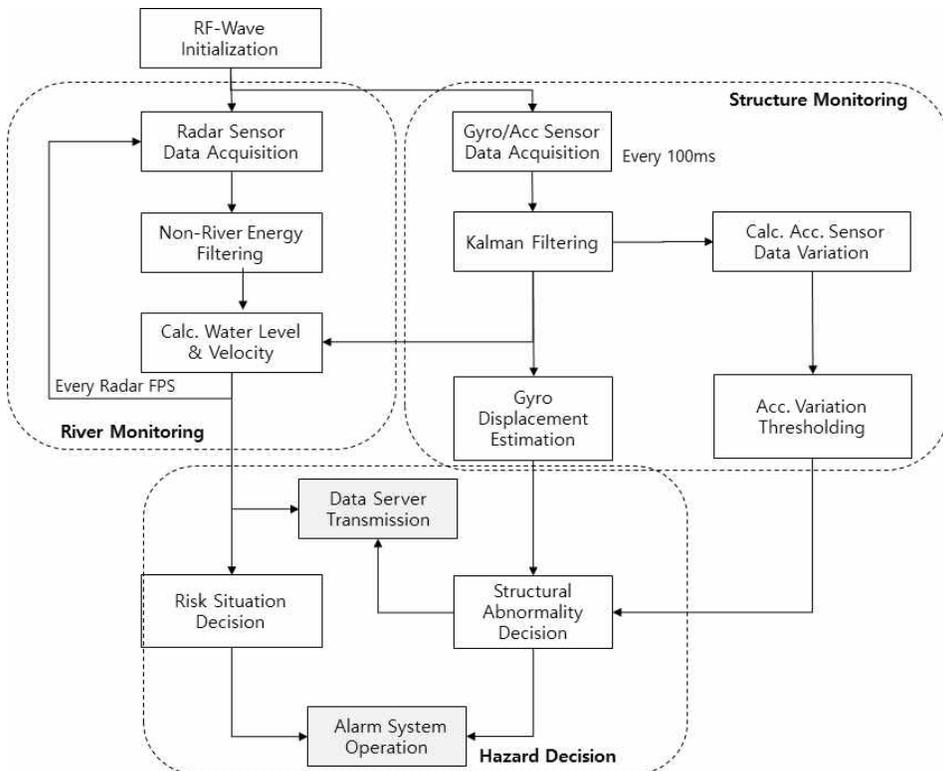


Fig. 4. Flowchart for proposed RF-WAVE system.

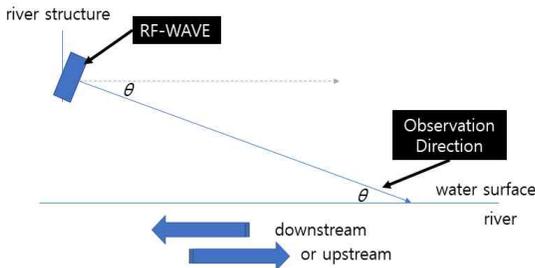


Fig. 5. Vertical side view of proposed RF-WAVE when installing the river.

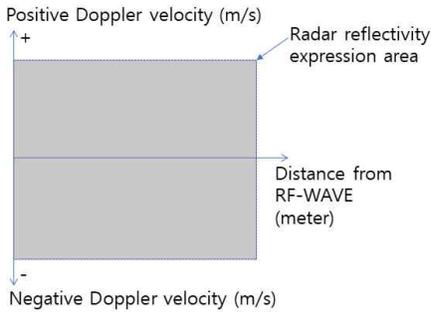


Fig. 6. Radar reflectivity expression area according to Doppler velocity and distance.

와 가속도 센서 자료의 변위와 편차를 상시 모니터링 하면서 하천 구조물의 이상 징후를 검지하여 서버에 전달하고 자체 경보시스템을 발동할 수 있도록 설계 되었다.

3.2 유속 측정

제안한 RF-WAVE를 이용하여 하천의 표면유속

을 측정하기 위해 Fig. 5와 같이 RF-WAVE를 하천 교각(또는 구조물)에 설치하는 것을 가정하였다.

RF-WAVE는 최적의 관측 정확도를 얻기 위해 하천 상류 또는 하류를 수직축으로 정면(Roll, Yaw 축 0°)으로 바라보게 구조물에 설치하되 수면을 바라보는 임의의 각도(Pitch 축, θ)로 설치하도록 한다. RF-WAVE 장치와 수면과의 거리 r 에 대한 레이더 반사 신호로부터 계산되는 하천 표면의 도플러 속도 d_r 와, 고안 장치에 내장된 자이로 센서로부터 측정되는 Pitch 각도 θ 를 이용하여 하천의 표면 유속을 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$v_r = d_r / \cos\theta \quad (1)$$

한편, 식 (1)의해 계산 된 거리에 따른 하천 표면의 도플러 속도 및 반사 강도를 2차원 분포도로 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 7으로부터 Fig. 6에 표현된 RF-WAVE의 하천 관측 데이터 표현을 예로 나타내었다. Fig. 7은 RF-WAVE의 설정을 유효 관측거리 10 m, 거리해상도 0.1 m로 설정하고, 유효 도플러 속도 관측 범위를 ± 3 m/s 및 속도 해상도를 0.1 m/s로 설정했을 때, 하천의 하류 방향 약 30도 각도로 관측 실험 상황과 그 결과 데이터를 2차원 데이터로 표현한 것이다.

Fig. 7-(a)로부터 관측된 레이더 관측거리 상의 도플러 속도에 대한 반사강도(dB) 분포를 (b)와 같이 표현하여 나타낸 결과, 고안 장치를 하류 방향으로 측정하였으므로 레이더의 도플러 속도에 대해 + 방향으로 큰 반사강도(dB) 값들이 많이 분포하는 것을 알 수 있다. 이 반사 강도의 분포에 대해, RF-WAVE

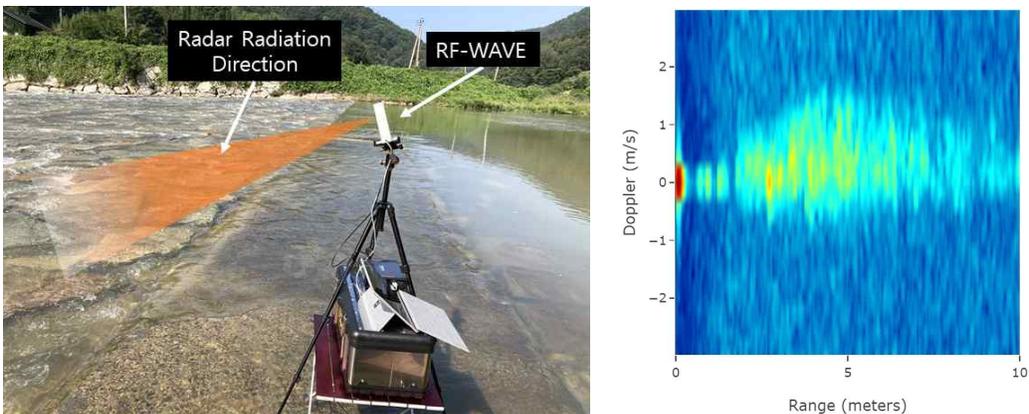


Fig. 7. (a) River observation Site using RF-WAVE, and (b) 2D representation of observation results.

로부터 약 2 m거리로부터 (+) 방향의 도플러 속도에 큰 값을 나타내며, 약 4 m 거리에서 최대 유속 약 $1.5 \text{ m/s} / \cos(30^\circ) = 1.7 \text{ m/s}$ 로 관측되는 것을 알 수 있다.

3.3 수위 측정

수위 측정 역시 유속 측정 과정과 유사한 방법으로 수행된다. 레이더는 주파수 특성 상 수면에서 반사되는 신호를 명확한 관측 대상으로 인식하기 어려운 점이 있다. 하지만, 제한한 유속 측정 방법으로부터 지속적으로 유속이 관측되는 거리를 가장 가까운 수면과 RF-WAVE와의 거리 r_{\min} 로 판단할 수 있다. 그 후 자이로 센서 데이터 값 θ 와 식 (2)를 통해 Fig. 8과 같이 레이더로부터 하천과의 수직거리 h 를 계산할 수 있다.

$$h = r_{\min} \cdot \sin\theta \quad (2)$$

3.4 순수 수세 검출 및 수위/유속 검지

Fig. 7-(b)를 통해 하천의 수세 정보를 동시에 검출할 수 있음을 보였다. 하지만, 실제 소하천 및 계곡 환경은 고라니, 새, 산돼지 등과 같은 동물들이 자주 출몰하며, 하천에 분포하는 나무, 풀 등의 식생과 바람의 영향으로 하천 수위 및 유속의 오점치 빈도가 증가할 수 있다. 제한한 RF-WAVE는 이 문제를 ‘강물은 흐르지만 움직이지 않는다.’는 하천의 속성을 이용하여 간단한 통계적 필터링 기법을 적용함으로써 해결하였다. Fig. 9로부터 그 과정을 나타내었다.

Fig. 9와 같이 RF-WAVE는 링 버퍼를 이용하여 최근 입력된 N 개의 자료들에 대해 모든 해당 좌표 (d, k) 의 모든 반사도 값들이 임계치 th 를 만족하는 경우에만 해당 값을 순수한 하천 에너지로 판단한다. 이것은 앞서 언급한 바와 같이 동식물에 의한 반사도

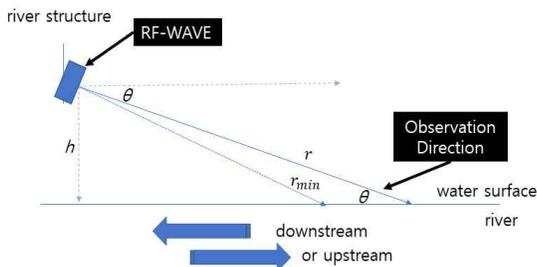


Fig. 8. River water level measurement using RF-WAVE.

및 도플러 속도는 한 지점에서 지속적으로 관측될 확률이 낮다는 점과 이와 반대로 하천 에너지는 N 개의 자료가 관측되는 동안 지속적으로 동일한 지점에서 동일한 도플러 속도를 가지는 점을 이용한 것이다. 여기서 N 과 th 는 해당 하천의 유량 증가 속도 및 수면과의 거리 등을 고려하여 현장에 맞게 설정할 수 있다.

최종적으로 검지된 하천에너지를 Blob Labeling 알고리즘[13]을 통해 군집화 한 후 수위 및 유속 정보를 검출한다. 검출된 하천 수위 및 유속 정보만으로도 하천의 위험도를 추정할 수 있지만, Fig. 6의 표현 방식으로 나타낼 경우, 하천 에너지 분포를 이용하여 통계적 분석을 통해 해당 관측 지점에서의 Fig. 10과 같은 위험지수를 개발하여 최적화된 위험 경보를 수행할 수 있다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 장에서는 제안하는 RF-WAVE의 성능 검증을 위해 각기 다른 유속을 갖는 지점 및 수위 변화를 가정한 다양한 높이에서의 관측 실험을 수행한 결과에 대해 다루고자 한다. Fig. 11~14는 실제 2003년

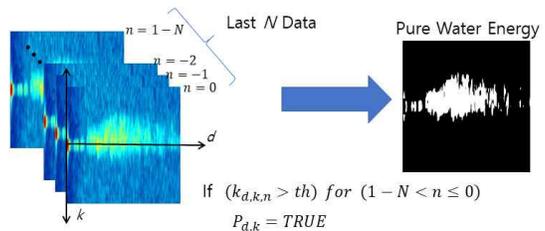


Fig. 9. Non water energy Filtering Processing of RF-WAVE.

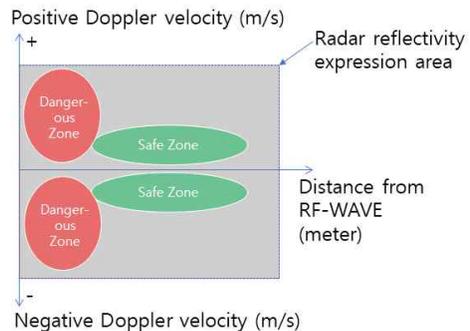


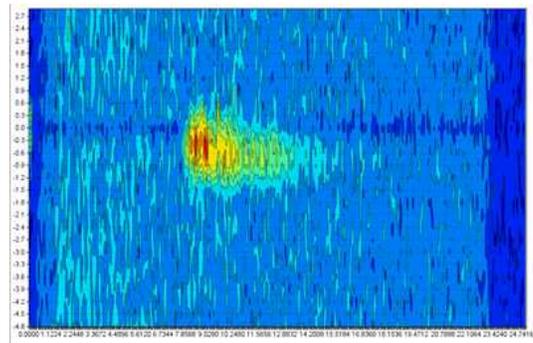
Fig. 10. Non water energy Filtering Processing of RF-WAVE.

태풍 메미의 영향으로 제방 붕괴 및 하천 범람으로 인해 큰 피해를 입었던 경남 봉수면 삼동마을 일대의 신반천에서 실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 현실적으로 하천의 수위 변화를 단시간에 검지하기 힘든 이유로, 하천 수위가 낮을 때를 가정하여 Fig. 11

및 12와 같이 비교적 하천과의 거리가 먼 교량 위에서 관측 실험을 수행하였다. 반대로 하천 수위가 높은 때를 가정하여 Fig. 13 및 14와 같이 하천의 수중보와 제방 및 유속이 빠른 곳을 찾아 관측을 수행하였다.



(a)

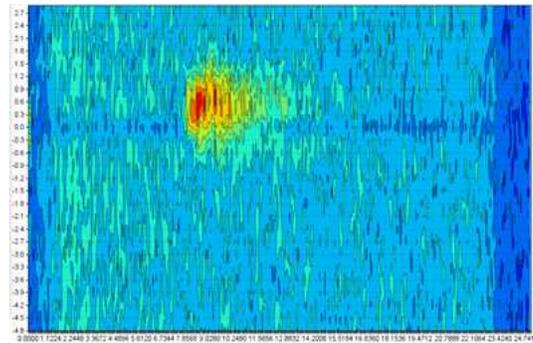


(b)

Fig. 11. RF-WAVE installed upstream on the river bridge, (a) test site, (b) observed signal.



(a)

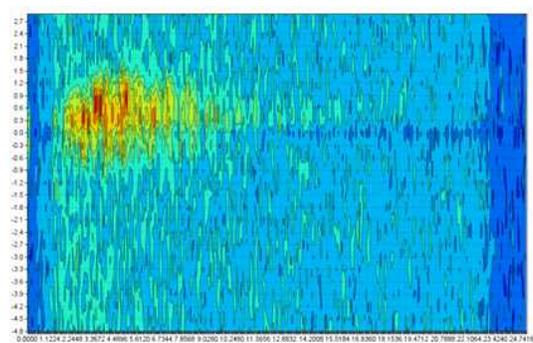


(b)

Fig. 12. RF-WAVE installed downstream on the river bridge, (a) test site, (b) observed signal.



(a)



(b)

Fig. 13. RF-WAVE installed downstream direction above a small underwater dam in a river, (a) test site, (b) observed signal.

Fig. 11~14의 각 (a)는 RF-WAVE를 이용한 하천관측 환경을 나타낸 것이며, 각 (b)는 각 환경에서의 관측된 레이더 신호를 Fig. 6의 형식으로 나타낸 것이다. 각각의 환경에서 관측하면서 Fig. 9의 알고리즘을 통해 실시간으로 순수 물 에너지를 검지하여 최종적으로 RF-WAVE로부터의 수직거리 및 최대 유속을 측정된 결과를 Fig. 15의 (a)~(d)로 나타내었다. Blob Labeling을 통해 RF-WAVE 하우징에 의한 잡음 등을 제거한 순수 하천 에너지로부터 최대 유속 및 최단거리를 자동으로 검출한 결과이다.

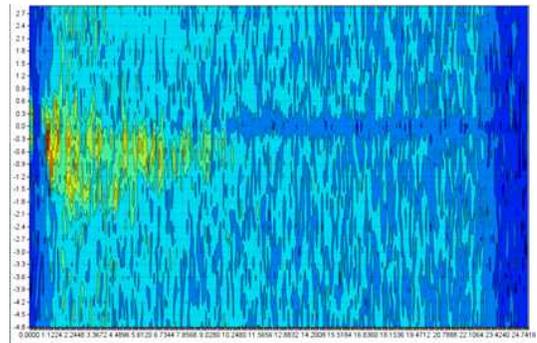
Fig. 15의 주요 관측된 수치를 Table 2에 정리하

였다.

Fig. 15 및 Table 2의 각 결과로부터, Fig. 11로부터 하천으로부터 약 8m 높이의 교량 위에서 신반천의 상류를 관측하여 수직거리 7.8 m, (-) 방향의 최대 유속 1.6 m/s의 하천 정보를 얻을 수 있었다. 하천 하상 지형으로부터 발생하는 와류의 영향으로, (+) 방향의 유속 0.7 m/s가 관측되었으며, 평균적으로 (-) 방향의 최대 유속이 (+) 방향의 유속에 비해 큰 관측치를 나타내므로 하천의 방향은 RF-WAVE 설치 방향으로 유입되는 흐름임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 다양한 환경에서 모두 정확히 판별되었다.



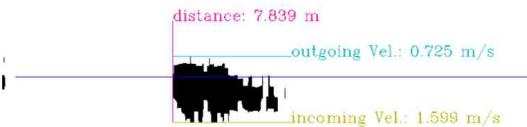
(a)



(b)

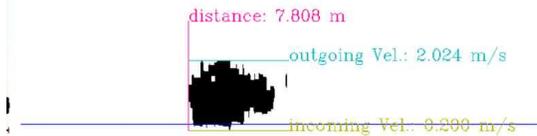
Fig. 14. RF-WAVE installed upstream direction under the river levee, (a) test site, (b) observed signal.

RF-WAVE is heading UPSTREAM
River State :: Incoming Stream



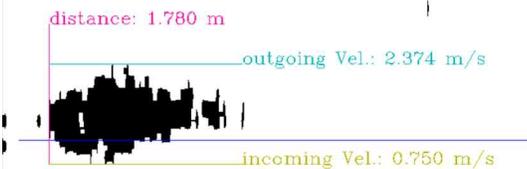
(a)

RF-WAVE is heading DOWNSTREAM
River State :: Outgoing Stream



(b)

RF-WAVE is heading DOWNSTREAM
River State :: Outgoing Stream



(c)

RF-WAVE is heading UPSTREAM
River State :: Incoming Stream



(d)

Fig. 15. Pure water energy, stream direction, water level and velocity extracted from each stream environment in Fig. 11~14, (a) result of Fig. 11, (b) result of Fig. 12, (c) result of Fig. 13, and (d) result of Fig. 14.

Table 2. RF-WAVE observations in various environments derived from Fig. 15

| Environment | Distance (m) | Maximun Incoming Velocity (m/s) | Maximun Outgoing Velocity (m/s) | Decided Stream Direction |
|-------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Fig. 11 | 7.839 | 1.599 | 0.725 | Incoming |
| Fig. 12 | 7.808 | 0.200 | 2.024 | Outgoing |
| Fig. 13 | 1.780 | 0.750 | 2.374 | Outgoing |
| Fig. 14 | 0.843 | 2.399 | 1.224 | Incoming |

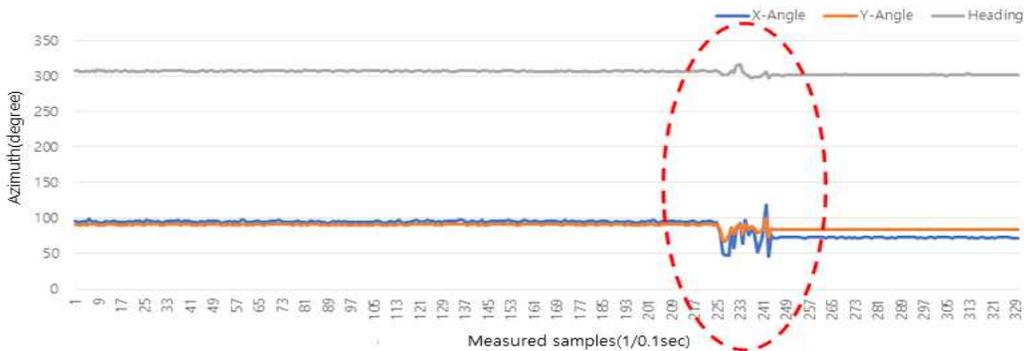


Fig. 16. Example of determining the risk of river structures by vibration through the measured values of the gyro sensor in RF-WAVE.

Fig. 12는 Fig. 11과 같은 교량 위에서 하류 방향으로 관측한 결과를 나타낸 것이며, 상류와 거의 동일한 수직 거리 7.8 m에서 최대유속 2.0 m/s로 나타났다. 교량 상류 및 하류의 수위 관측 결과와 실제 교량의 높이를 측정한 결과로부터 RF-WAVE의 수위 관측치를 검증하였다. 또한 상류와 하류에 0.4m/s의 유속 변화가 발생하였는데, 이것은 교량 기둥과 그 주변의 쇄굴 현상에 물길에 변화로 인해 유속의 교량 유입 전, 후의 유속에 변화가 생긴 것으로 판단된다.

Fig. 13 및 14는 각각 하천 수중보 위 하류 방향과 하천 제방 밑 상류 방향으로 RF-WAVE를 설치하여 관측한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 15의 (c) 및 (d)와 표 2의 결과로부터 소형 하천 수중보 위에서 관측한 결과로부터 수면거리 1.8 m 최대 유속 2.4 m/s, 그리고, 하천 제방 밑 상류 방향으로 수면거리 0.8 m 최대 유속 2.4 m/s과 측정되었다.

한편 Fig. 16는 Fig. 11의 교량 위에서 하천을 관측할 때의 RF-WAVE에 탑재된 자이로/가속도 센서로부터 측정된 값이다. 일반적인 상황에서 차량에 의한 교량의 흔들림 외에, 교량의 구조적인 문제, 즉 붕괴 또는 파손을 가정하여 인위적인 충격을 가한 구간을 점선 원으로 표시하였다. 해당 구간에서만 자이로 센

서의 X축, Y축 각도값 및 계산된 RF-WAVE의 방향인 Heading 값이 상대적으로 매우 큰 변동폭을 갖는 것을 확인하였다.

Fig. 16의 결과를 이용해 하천 홍수 등으로 인해 약화된 구조물의 진동 또는 뒤틀림 등에 의한 RF-WAVE 내 자이로센서 측정값의 변위를 관측함으로써 해당 지역의 하천 구조물의 위험성을 조기 관별할 수 있음을 실험적으로 알 수 있었다. 이를 이용함으로써 하천 수의 및 유속을 보다 정확히 관측하는 동시에 RF-WAVE가 설치된 교각등의 뒤틀림, 붕괴 등을 실시간으로 감시할 수 있음을 검증하였다.

5. 결 론

본 논문은 소하천 및 계곡의 홍수 감시에 적합한 초소형 침단 하천감시 단말장치의 원천 기술을 제안하였다. 산업용 레이더와 도플러 속도와 반사강도로부터 순수 하천 에너지 성분을 검출하여 유속과 수위를 측정하는 한편, 자이로 및 가속도 센서 값의 변위를 측정함으로써 하천구조물의 안정성을 모니터링한다. 실험 결과 다양한 하천의 수위 및 유속 환경에서 안정적으로 하천을 모니터링 할 수 있음을 증명하

였다. 제안한 기술을 통해 하천의 수위 및 유속 뿐 아니라, 구조물의 안전성까지 감시함으로써 위험성을 조기에 판단하여 예경보 할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다. 하지만 소하천 및 계곡의 경우 지형이 복잡하며, 수위와 유속의 변화량 역시 하천마다 다른 특성을 나타내므로 각 하천에서의 관측치를 지속적으로 모니터링 하여 위험수위 및 유속 등을 하천별로 지표화 할 필요가 있다. 향후 보다 심도 깊은 연구를 통해 실제 유속계 및 수위계를 도입하여 실제 관측치와 측정치를 비교하고 정확성을 향상시키고 위험 지표를 개발하는 연구를 진행할 계획이다. 아울러, RF-WAVE 장치 내 다중센서 신호처리를 통해 강우 강도까지 측정하는 기술을 적용하는 연구를 진행할 계획이며, 향후 장치 보급 단가를 낮추고 리빙랩 대상 유역을 선정하여 안전한 디지털 트윈 하천망을 구축하여 수재해 예방 골든타임 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCE

[1] Monthly Climate Analysis Information August (2020), http://www.kma.go.kr/download_02/ellinonewsletter_2020_08.pdf (accessed October 4, 2020).

[2] Article Dated August 9(2020), <https://www.etoday.co.kr/news/view/1927331> (accessed October 6, 2020).

[3] Article Dated August 5(2020), <http://www.hani.co.kr/arti/area/gangwon/956584.html> (accessed October 6, 2020).

[4] Article Dated August 5(2020), http://news.khanc.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=202008081620001 (accessed October 6, 2020).

[5] Article Dated August 10(2020), <http://www.nbnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=414271> (accessed October 6, 2020).

[6] Article Dated October 14(2020), <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=02637126625932920 & mediaCodeNo=257&OutLnkChk=Y>

(accessed October 15, 2020).

[7] Realtime River Monitoring Data(2020), <http://www.hrfco.go.kr/sumun/waterlevelList.do#> (accessed October 11, 2020).

[8] S.T. Hong and G.W. Shin, “Development of Portable Calibration System for Non-contact Water Meters,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 20, No. 9, pp. 1808-1815, 2016.

[9] S.H. Park and H.J. Kim, “Design of Artificial Intelligence Water Level Prediction System for Prediction of River Flood,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 198-203, 2020.

[10] J.S. Kim and C. Kim “Extrapolation of Rating Curve Using a Numerical Simulation,” *Proceeding of the 2019 Korea Society of Civil Engineers EXPO*, pp. 172-173, 2019.

[11] Y.S. Kim and S.K. Yang, “Error Rate Analysis According to Setting of the Reference Point for Calculating the Flood Runoff that Using Surface Image Velocimeter,” *Journal of Environmental Science International*, Vol. 25, No. 6, pp. 799-815, 2016.

[12] B.J. Jang and S. Lim, “A Case Study on Rainfall Observation and Intensity Estimation Using W-band Frequency Modulated Continuous Wave(FMCW) Radar,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 22, No. 12, pp. 1430-1437, 2019.

[13] A. Jo, J.S. Park, Y.H. Seo, and G.J. Jang, “Performance Improvement of Human Detection in Thermal Images Using Principal Component Analysis and Blob Clustering,” *Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 13, No. 2, pp. 157-163, 2013.



장 봉 주

1998년~2002년 부산외국어대학교 전자공학과 학사

2002년~2004년 부산외국어대학교대학원 전자컴퓨터공학과 공학석사

2007년~2013년 부경대학교대학원 정보보호협동과정 공학박사

2011년~2012년 미국 콜로라도주립대학교 Visiting Scholar

2013년~현재 한국건설기술연구원 수석연구원



정 인 택

1997년~2004년 계명대학교 교통공학과 학사

2006년~2009년 서울대학교 환경대학원 도시계획학(교통관리 전공) 석사

2009년~2011년 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 조교

2011년~2016년 서울대학교 환경대학원 도시계획학(교통학 전공) 박사

2016년~현재 한국건설기술연구원 수석연구원