



Freezing Analysis Based on River Flow Comparison of Digital Time-lapse Camera

Kwon Oh-Sung*

Dept. of Computer Education, Gongju National University Of Education

A B S T R A C T

In Korea, the one important indicator of seasonal change is the first freezing time of Han river. Until today, the observation method of river freezing phenomenon is visual inspection methods by observers. However, The method has a severe weakness which is often biased by observer's subjective. As a result, it is required the more objective and stable observation method to analyze river's freezing process. In this paper, we installed the remote observation camera on the Han river bridge for our several experiments. Our work has performed during 30 days from December 1, 2014 using the observation camera system. First of all, We examined the variation patterns of the gray-scale intensity value array. The extracted feature values was recomputed and normalized based on the photographing condition of the observation image area. And We applied several image processing techniques to extract the freezing values. consequentially, We could observe several significant features for analyzing the freezing process of Han river. We could analysis the freezing degree using by the ratio between the frozen and normal river area. In experiments, we could identify that the average gray-scale Intensity of observing area was close to 0 as time passed. We could confirm that our proposed method was a stable process for finding frozen river area.

© 2015 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Gray-scale Intensity, Han river, photographing condition, Time-lapse Camera, Image Processing

ARTICLE INFO: Received 18 September 2015, Revised 8 October 2015, Accepted 8 October 2015.

*Corresponding author is with the Department of
Computer Education, Gongju National University of

Education, Gongju ChungNam, 314-711, KOREA.
E-mail address: oskwon@gjue.ac.kr

1. 서론

한국 기상청은 1906년부터 매년 겨울 한강의 결빙 시기와 정도를 관측해 오고 있다[8]. 기상청에서 현재까지 사용하는 겨울철 결빙 조사 방법은 관측지에 설치된 CCTV 카메라를 이용하여 1차적인 결빙 진행을 파악하고, 최종적으로는 한강 관측지 현장에 직접 가서 육안 검사를 진행하는 것이다. 이러한 관찰자 육안 검사 방식은 대략적인 결빙의 정도를 가늠하는 데에는 문제가 없지만, 정확한 결빙의 진행 과정을 구체적인 수치로 정량화하는 것은 매우 어렵다. 또한, 육안 검사 방식은 관찰자 주관에 영향 받기 쉬워 객관성을 인정받기 어렵다는 심각한 문제를 안고 있다. 이러한 자료를 기후 관측 자료로 사용하는 경우 기후 변화 예측의 정확도를 떨어뜨리는 심각한 요인이 될 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 겨울철 하천 결빙 관측의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 원격 촬영지에 설치된 카메라 영상을 이미지 분석 기술로 정량화하는 방법을 제안한다. 구체적으로 우리나라의 첫 결빙 관측 지점인 한강대교 남단에 설치된 원격 카메라로부터 전송되고 이미지를 수집하고 이를 영상처리 기술로 결빙의 정도를 정량화하는 방식이다.

본 논문에서는 먼저 한강 결빙과 관련한 배경 지식과 그 동안의 관련 연구 내용을 살펴보고 제안하는 한강 결빙 분석 과정의 구체적인 절차를 제시한다. 그리고 제시된 분석 절차에 의한 적용 결과를 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

일반적으로 강과 하천의 결빙이란 얼음으로 인하여 수면이 완전히 덮여서 수면을 볼 수 없는 상

태를 말하며 얼음의 두께와는 관계가 없다[5]. 한국의 경우는 <그림 1> 과 같이 한강을 기준으로 하며 결빙 관측 장소는 제 1한강교 노량진 쪽에서 2번째에서 4번째 교각 사이 상류 100m 지점이다. 이 지점에 얼음 띠가 형성되어 수면이 보이지 않을 때를 결빙으로 보고 있다. 한강 결빙을 관측하기 시작한 년도는 1906년이고 가장 빨랐던 결빙일은 1934년 12월 4일, 가장 늦었던 결빙일은 1964년 2월 13일로 기록하고 있다. 결빙은 지금까지 6회(1960년, 1971년, 1972년, 1978년, 1988년, 1991년)를 제외하고 매년 관측되었다. 기상청이 제시하는 결빙 기후는 최저기온이 -10 도 이하가 3-4일 정도 지속되고 최고 기온이 영하의 기온을 보일 때이다. 그러나, 상류 댐의 방류, 기후 온난화 등의 영향으로 결빙 진행의 추이가 변화하고 있다[6].



그림 1. 한강 결빙 관측 지점
Figure 1. Freezing Observation Point of Han River, Korea

오수빈의 연구는 1907년부터 2006년까지 100년 동안의 한국 서울의 한강 결빙의 장기 변동 내용을 조사하였다[10]. 이 연구는 한강의 연 결빙 일수는 50.33일, 첫 결빙일의 최저 기온은 -12.22°C , 연 최저기온에 대해서 첫 결빙일은 양의 상관을 보였고, 결빙 일수는 음의 상관을 보이는 것으로 보고하고 있다[10].

외국의 경우를 살펴보면 하천 결빙 관측에 관련한 연구가 활발한 나라로 캐나다를 들 수 있다. 이 나라의 하천 결빙 관측 목적은 우리와는 다르게

봄철 해빙기 하천 범람에 대비하기 위해서라고 할 수 있다[1,2]. 캐나다의 기후는 겨울철 누적된 결빙이 봄철 기온 상승으로 급격히 녹아내리는 경우가 잦고 이 경우 하천 범람을 유발하기도 한다. 캐나다 기상국은 이의 대비책으로 겨울철에 지역 하천의 결빙 정보를 적극적으로 수집하고 이를 분석하여 봄철 하천 범람 위험에 대비하고 있다[1,2]. 미국의 경우는 북극과 접한 알래스카 지역에서 결빙 관련 연구가 활발한데, 주로 하천 결빙 붕괴에 초점이 맞추어져 있다. 북극 지방의 결빙 하천은 열악한 교통 인프라를 대신하는 주된 통행로로 이기 때문에 강의 결빙 관측과 붕괴 시점은 매우 중요하다. 알래스카 기상국을 중심으로 1949년부터 2008년까지 내륙의 주요 강의 결빙을 연구하였는데, 결빙 붕괴의 가장 중요한 요소는 3월에서 5월까지의 표면 온도였고 붕괴는 알래스카의 알래스카 만의 폭풍의 영향을 받는 봄철 온도와 강 유속이 예년 이상일 때 더 일찍 발생하는 것으로 조사되었다[3,4]. 하천 뿐만 아니라 극지의 바다의 결빙의 연구도 보고되고 있으며[7,9], 매년 누적된 결빙 자료를 수집하고 분석하여 앞으로의 결빙 기후 변화를 예측하는 연구 내용들이다.

3. 결빙 이미지 분석기의 구성

3.1 분석기의 개요

본 논문에서 제안하는 하천 결빙 분석 방법은 현장에 설치된 촬영 카메라로부터 시간별 연속 이미지를 수집하는 단계와 수집 이미지를 분석하여 결빙에 관련된 특징을 추출하고 결빙으로 해석될 수 있는 정도를 정량화하는 과정으로 이어진다. <그림 2>와 같이 마지막 단계로 시간별 결빙 분석 정보의 흐름 패턴을 일반적인 결빙 진행 패턴과 비교 분석하여 결빙 진행을 계산하는 방식이다.

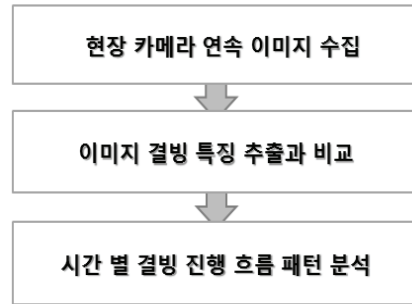


그림 2. 결빙 분석 과정
Figure 2. Freezing Analysis Process

강 표면은 일반적으로 유속 때문에 불규칙적인 빛 반사를 만들어내기 때문에 관찰자들은 강 표면의 유속을 주시하여 결빙 여부를 판단한다. 본 논문에서도 강 유속의 특징을 기준으로 결빙을 정량화하도록 하였다. 유속의 차이를 계산하기 위해선 시간별로 얻어지는 연속적인 이미지의 비교 연산 과정이 필요하다. 구체적으로 이미지 화소의 색상 차이 분포를 비교하여 변화가 없는 부분은 결빙이거나 강이 아닌 고정 구조물로 파악할 수 있다.

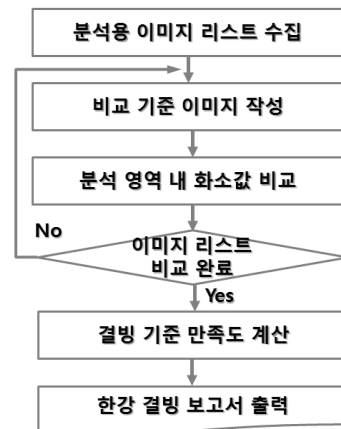


그림 3. 결빙 특징 추출 과정
Figure 3. Extraction Process of Freezing Features

〈그림 3〉의 순서도는 결빙 이미지 정량화 과정을 보여준다. 분석용 이미지 리스트 수집이 끝나면 결빙 진행 정도 측정을 위한 기준을 선정하여야 한다. 본 논문에서는 수집 리스트의 맨 처음 이미지를 기준으로 삼았다. 결국 이후 이미지는 기준 이미지와 얼마나 변화되었는지를 측정하는 것이다. 결빙이 있는 경우 유속 흐름의 변화가 없기 때문에 기준 이미지 비교 시 별 차이가 발견되지 않을 것이라는 가정에 근거한 것이다. 실험 결과, 교량의 흔들림 등을 제외하면 안정적인 특징 추출이 가능한 방법이다.

이미지는 전체를 모두 비교하는 것이 아니라 결빙 지표 영역에 해당하는 부분을 입력 이미지로부터 분할하여 측정하도록 하였다.

3.2 분석용 이미지 리스트 수집

〈그림 4〉는 한강 교량에 설치된 카메라로부터 얻은 한강 표면 영상이다.

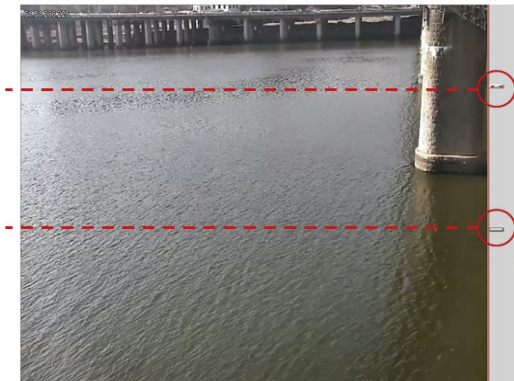


그림 4. 한강 노들섬 인근 결빙 관측 지역
Figure 4. Freezing Observation Point Near NoDeulSum of Han River

현장 촬영 카메라는 늘 동일 관측 장소에 고정된 상태로 이미지를 수집하도록 하였다. 그림에서 점선으로 표시된 부분이 결빙 관측이 진행될 지표

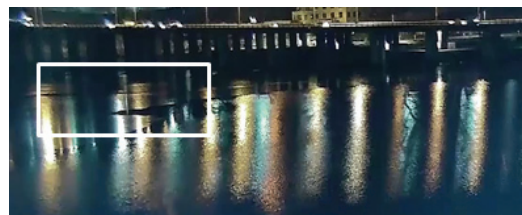
영역을 나타낸다. 점선의 영역에서 보듯이 교각을 제외한 나머지 부분은 강의 유속이 관찰될 것이다. 만약 결빙이 진행된다면 교각 영역 부분처럼 시간의 따른 화소 변화를 보여주지 않는다. 다만, 시간에 따른 그림자 발생과 조도 변화에 따른 오차는 무시하도록 하였다.

또한, 유람선, 순찰선과 같은 선박이 지나는 경우와 심한 역광으로 이미지 분석 오류를 발생시키는 부분은 수작업으로 제외하고 사용하였다.

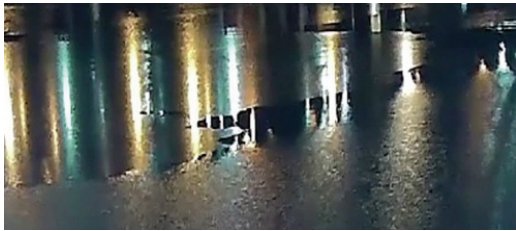
3.3 분석 영역 화소값 비교

결빙 이미지의 분석은 이미지 수집 후 진행한다. 이미지 리스트는 주간과 야간으로 분류하였고 비교 역시 서로 다른 임계치 실험값을 적용하여 처리하였다. 야간 이미지의 경우는 강변에 늘어선 가로등 불빛을 이용하여 강 표면의 유속을 측정하였다. 〈그림 5-(a)〉는 야간에 촬영된 한강 이미지이다. 〈그림 5-(b)〉는 (a)에서 분석 영역만 추출한 것이다. 〈그림 5-(c)〉에서 보듯이 결빙 부분과 유속이 있는 부분이 구별됨을 알 수 있다. 〈그림 5-(c)〉는 결빙 부분만을 붉은 선으로 표시하였다.

〈그림 5-(a),(b),(c)〉에서 보듯이 유속이 있는 부분은 가로등 불빛 반사 형태를 구별할 수 있을 정도로 다름을 알 수 있다.



(a) 관측 지역의 결빙 진행
(a) Freezing Progression of Observation Area



(b) 결빙 영역의 확대
(b) Expansion of Freezing Area



(c) 결빙 영역의 표시
(c) Expression of Freezing Observation Area

그림 5. 야간 촬영 결빙 진행 이미지
Figure 5. Freezing Images obtained from Night Photographing

이러한 특징을 기준으로 유속의 여부를 알 수 있다. 결빙이 없는 경우는 이미지 동일 지점의 화소 값 비교 시 불규칙적인 난조를 보이다가 결빙이 진행되면서 일정한 값으로 수렴되는 형태를 보인다. 이미지 화소 값은 광도(Greyscale Intensity)를 구한 것으로 아래 식처럼 RGB 채널에 필요한 상수를 곱하여 사용하였다.

$$L(i,j) = 0.3 \times R(i,j) + 0.59 \times G(i,j) + 0.11 \times B(i,j),$$

$$i = 0 \dots m, j = 0 \dots n$$

위의 방식으로 구한 화소별 광도의 배열내용을 기준 이미지의 것과 비교하여 아래 식처럼 관찰 영역의 차이를 구하도록 하였다.

$$D(i,j) = \frac{(abs(SR(i,j) - CR(i,j)) + abs(SG(i,j) - CG(i,j)) + abs(SB(i,j) - CB(i,j)))}{3}$$

$$i = 0 \dots m, j = 0 \dots n$$

이러한 화소 간 광도의 차이는 결빙으로 진행된 경우와 그렇지 않고 유속 흐름을 보이는 부분이 서로 다른 패턴을 보이게 된다. 이러한 특징을 기준으로 결빙 진행을 확인하는 것이다.

67	45	67	34	67	57	62
45	46	78	45	86	89	63
47	56	23	56	56	67	56
31	34	48	78	54	57	77
73	78	89	98	92	76	83

그림 6-(a). n번째 결빙 이미지 화소 배열
Fig 6-(a). Pixel Array of n Th Freezing Image

<그림 6-(a)>와 <그림 6-(b)>는 시간상 연속한 이미지의 광도 배열이다. <그림 6-(a)>와 <그림 6-(b)>의 광도 차이를 계산하여 배열로 표시한 것이 <그림 6-(c)> 이미지이며, <그림 6-(a)>와 <그림 6-(b)> 화소 값 차이에서 그 값이 작은 것은 결빙 영역 내의 화소임을 나타낸다고 할 수 있다. <그림 9-(c)>에서 회색으로 표시된 화소들은 결빙 영역임을 나타내며, 나머지 부분은 유속 때문에 발생하는 심한 광도 변화를 표시하고 있다. 이러한 변화 패턴을 순서적으로 분석하면 결빙의 진행을 정량화할 수 있다.

64	45	67	38	90	37	92
44	45	78	80	55	97	23
47	55	22	99	78	87	86
29	33	60	45	24	97	97
72	77	91	38	42	86	23

그림 6-(b). n+1번째 결빙 이미지 화소 배열
Figure 6-(b). Pixel Array of n+1 Th Freezing Image

3	0	0	4	23	20	30
1	1	0	35	31	8	40
0	1	1	33	22	20	30
2	1	12	33	30	40	20
1	1	2	50	50	10	60

그림 6-(c). n과 n+1번째 이미지 영역의 화소값 차이

Figure 6-(c). Difference of n Th and n+1 Th Freezing Images

그림 6. 결빙 이미지의 화소 배열
Figure 6. Pixel Array of Freezing Images

4. 구현 및 실험 결과

결빙 분석은 2014년 12월 1일부터 12월 31일 사이에 진행되었으며 현장 설치 카메라로부터 <그림 7> 과 같이 촬영 이미지를 수집하였다.

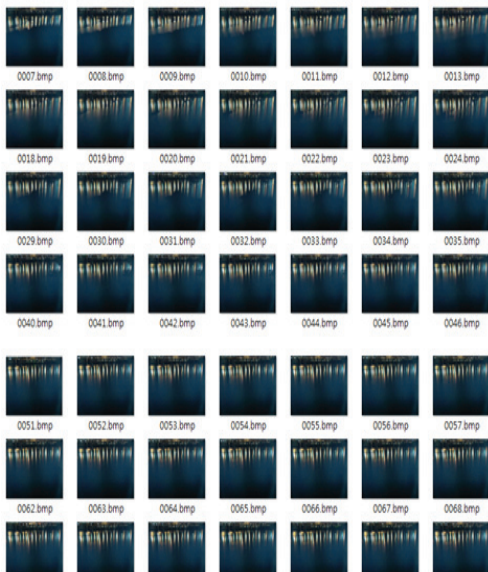


그림 7. 관측 지표 영역의 야간 촬영 이미지
Figure 7. Night Images of Freezing Observation Area

강의 결빙은 일반적으로 기온이 내려가는 심야에 주로 발생하기 때문에 <그림 7> 처럼 관찰 지역을 연속 촬영하였다. 이미지는 6시부터 12시간 동안 10분 간격으로 연속적으로 촬영하여 1일 총 72장의 이미지를 얻을 수 있었다. 하천 결빙이 가능한 정도의 낮은 온도 날을 중심으로 총 3 일을 실험하였다.

<그림 8> 은 수집된 촬영 이미지를 자동 분석할 수 있는 소프트웨어 화면이다. jpg 형식으로 일련번호 이미지를 동일 폴더에 모아 두고 소프트웨어를 가동시키면 자동으로 내부 파일 모두를 3.3 절의 방법으로 결빙 정도를 분석하도록 하였다. <그림 8>에서 2 개 라인으로 표시된 부분은 결빙 관측을 진행할 지표 범위를 표시하며, 사용자가 필요에 따라 조정할 수 있도록 하였다.

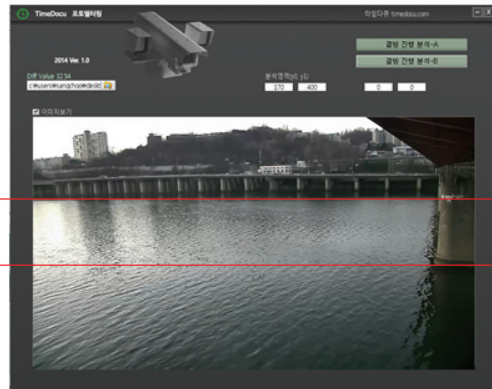


그림 8. 결빙 분석 소프트웨어의 구현화면
Figure 8. GUI of Freezing Analysis Software

결빙 분석 소프트웨어는 저장 폴더의 이미지들을 순서대로 비교 분석하여 진행 정도를 자동 출력하도록 하였다. 이 자료는 엑셀 스프레드시트 형식으로 자동 변환되어 표시되도록 하였다. <그림 9> 는 결빙이 진행된 시간대의 관찰 이미지를 보여 준다. 그림에서 밝게 표시된 부분은 결빙 화소 부분이다. 시간이 진행됨에 따라 결빙 영역이 증가됨

을 판단할 수 있다.

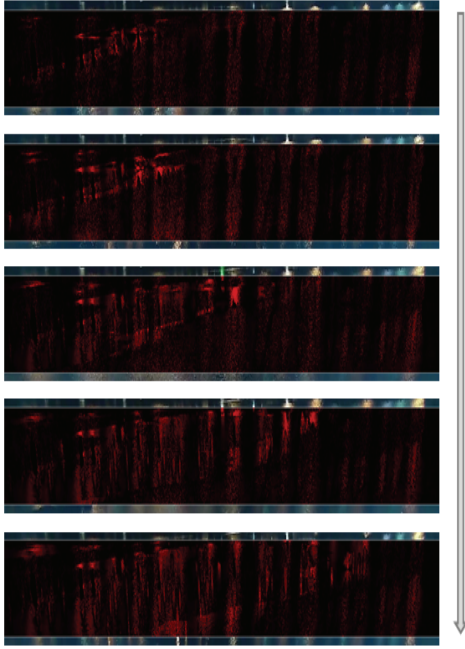


그림 9. 결빙 진행 정도 분석
Figure 9. Analysis of Freezing Progression Degree

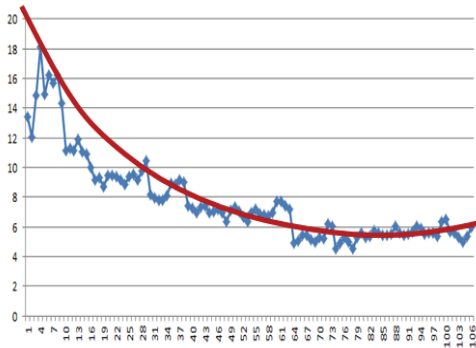


그림 10. 결빙이 진행되는 시점의 분석 그래프
Figure 10. Analysis Graph of Freezing Progression Area

<그림 10> 은 결빙이 진행되면서 유속 흐름 부분이 줄면서 이미지 화소의 광도 차도 줄어드는 상황을 보여준다.

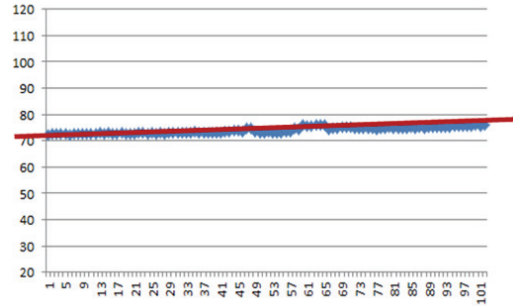


그림 11. 관찰 영역이 모두 결빙된 경우
Figure 11. Analysis Graph of Freezed Area

<그림 11> 은 관찰 영역 내부가 모두 결빙되어 화소 변화가 없는 상황의 분석 그래프이다. 결빙이 녹아 유속 흐름이 나타나기 전까지는 이런 패턴이 지속되는 것을 관찰할 수 있었다.

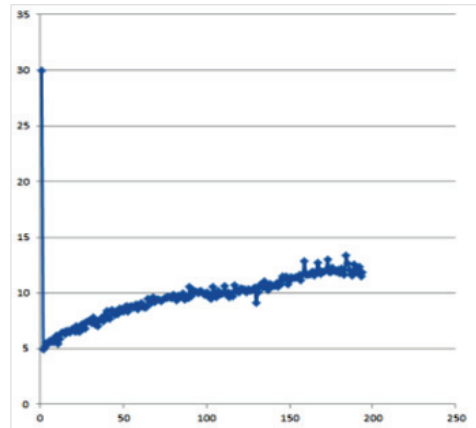


그림 12. 해빙 시기의 분석 그래프
Figure 12. Analysis Graph of Ice Melting Progression

<그림 12> 는 야간에 생성된 결빙이 주간을 기운 상승으로 녹는 과정을 보여주는 그래프이다. 이 분석 그래프는 2014년 12월 21일 오전 7시 경 진행된 내용이다. 그림에서 보듯이 유속에 의한 화소의 광도 차이가 증가함을 관찰할 수 있다.

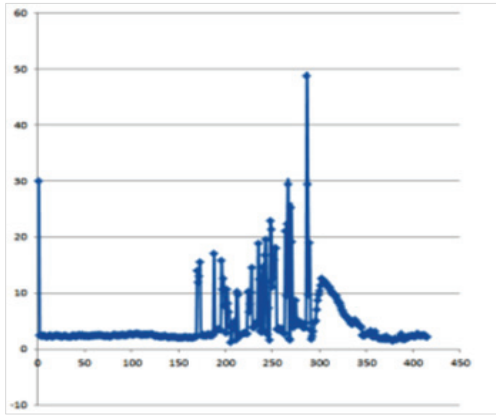


그림 13. 특별한 패턴이 없는 경우
Figure 13. Analysis Graph with Normal Patterns

결빙이 없는 경우의 강 표면을 촬영하는 경우는 <그림 13> 과 같이 특별한 수렴이나 패턴 없이 불규칙한 형태를 보인다,

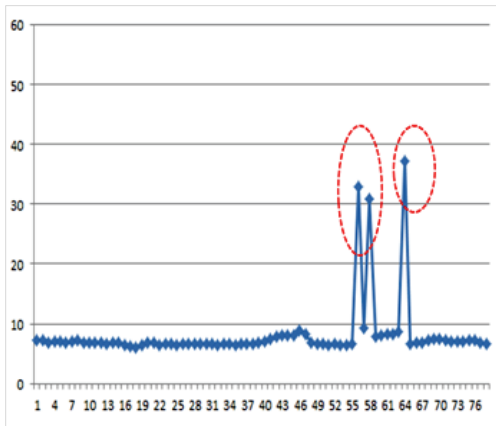


그림 14. 교량 진동에 의한 노이즈 발생
Figure 14. Noise Graph by Bridge Vibrations

<그림 14> 는 교량에 설치된 카메라이기 때문에 중형 차량 통행 시 심한 진동을 발생시킬 수 있고 <그림 14> 와 같이 분석 노이즈를 발생시키기도 한다. 분석 시 이러한 돌출 부분은 노이즈로 판단하여 제거하였다.

실험 결과, 결빙 관찰을 위한 광도 변화 그래프 패턴을 분석하는 작업은 가로등과 같은 인공 조명이 주간의 태양광보다 고른 빛과 반사 간섭이 덜하기 때문에 보다 안정적인 분석 결과를 보였다. 결빙이 진행되면서 강의 유속의 흐름이 줄고 영역 크기도 줄면서 결빙 진행 패턴을 발견할 수 있었다.

결국, 본 논문의 실험에선 10분 간격으로 촬영된 이미지 화소의 광도 변이를 추출하고 비교 분석 방법은 결빙이 진행되는 경우, 해빙되는 경우, 결빙이 없는 경우에 각각 다른 패턴을 보였다. 결빙의 진행은 분석값이 점차 화소값 변이가 작아지는 경향으로 포물선을 그리며 작아지며 변화율 0의 방향으로 안정화되는 패턴을 보였다.

<표 1>은 2014년 12월 19일 관측지점 이미지의 화소의 평균 광도 차이를 구한 것이다. 결빙이 진행되면서 화소의 평균 광도차가 작아짐을 수치로 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 <그림 10>과 일치한다. 이 실험에서 평균 광도 값의 차이가 <표 1>과 같이 1.8 까지 작아짐이 관찰되었다.

표 1. 결빙 진행에 따른 화소 광도 변화
Table 1. Gray-Scale Intensity of Freezing Progression

시간	0	1	2	3	4	...	73	74	75	76
광도차	7.1	5.8	6.3	6.1	5.6	...	2.1	2.0	1.8	2.1

결빙이 녹는 경우는 강물이 어는 과정과 반대의 패턴으로 진행되는 것이 관찰되었다. 즉, 관찰 영역의 광도 값 차이가 커지는 형태로 전환되었다. 이러한 상황별 분석 그래프 패턴을 이용하여 결빙의 진행 과정을 정량화할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 한강의 결빙을 과학적으로 정량화하기 위한 방안으로 촬영 이미지 리스트의 변화

를 분석하여 강의 유속과 광도 변화를 수치화하는 방안을 제안하였다. 이러한 방식은 현장 관찰자의 육안 검사에 의존하고 있는 관측 방식을 보다 객관화할 수 있는 방안이다. 본 논문의 실험은 2014년 12월 한달 동안 진행되었으며 일정 간격으로 촬영된 이미지의 픽셀의 RGB값을 광도로 변환하여 비교하였다. 결빙이 진행되는 부분은 강의 유속이 느려지는 특징을 보이는 데 이미지 처리 기술로 그 영역을 충분히 확인할 수 있었다. 실험 결과, 결빙이 진행되는 시간대의 유속 흐름 분석 패턴은 분명한 평상시의 유속 이미지와 쉽게 구별되는 패턴 특징을 보였다. 또한, 역광과 반사광의 간섭이 적은 야간 이미지가 주간경우보다 안정적인 분석 특징을 제공하였다. 본 연구의 방식으로 매년 시간별 결빙 이미지를 축적하고 분석하는 일은 보다 정확한 기후 예측을 가능하게 할 것이다.

추가적인 연구 내용은 본 논문의 결빙 분석을 방안을 실시간으로 적용하는 방안이다. 기존 이미지와 비교하여 결빙 징후를 신속히 발견하고 대처할 수 있을 것으로 보인다.

※ 본 논문에 사용된 기상 자료의 일부는 대한민국 기상청의 도움으로 작성되었습니다.

References

- [1] Beltaos, S., *Progress in the study and management of river icejams*. Cold Reg. Sci. Technol., Vol. 51, pp. 2-19, 2008.
- [2] Bieniek P. A., Bhatt U. S., Bhatt U. S., Rundquist L. A., Lindsey S. D., Xiangdong Zhang, R. L. Thoman, *Large-scale climate controls of interior Alaska river ice breakup*, J. of Climate, Vol. 24, American Meteorological Society, pp. 286-297, 2011.
- [3] Government of New Brunswick, *New ice observation system for River Watch*, <http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/news/>, 2014.
- [4] Government of New Brunswick, http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/news/news_release.2014.03.0221.html
- [5] Hangang Service Headquarters, Press release, 8 Jan. 2011.
- [6] Hangang Service Headquarters, Press release, 27 Jan. 2012.
- [7] Johannessen O.M., Bengtsson L., Martin W. M., Svetlana I. K., *Arctic climate change:observed and modelled temperature and sea-ice variability*, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Vol. 56, No. 5, pp. 559-560, 2004.
- [8] Korea Meteorological Administration, <http://web.kma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp>
- [9] Magnuson, J. J. and Coauthors, *Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere*, Science, Vol. 289, pp. 1743-1746, 2000.
- [10] Su-Bin Oh, and Hi-Ryong Byun, *Long-term variation of the freezing climate near the Han river and Seoul in Korea*, Jour. Korean Earth Science Society, Vol. 32, No. 7, pp. 761-769, Dec. 2011.

연속 카메라의 이미지 유속 비교를 이용한 결빙 분석

권오성

공주교육대학교 컴퓨터교육과

요 약

계절의 변화를 나타내는 중요한 지표 중 하나가 강의 첫 결빙 시점이다. 한국의 경우는 서울 한강의 결빙 시점을 중요한 겨울의 계절 지표로 삼고 있다. 현재까지의 강의 결빙 관측은 현장 관찰자의 육안 검사에 의존하고 있는 실정이어서 보다 객관적인 측정 방법이 요구된다. 본 논문에서는 한강에 디지털카메라를 설치하고 주기적으로 사진을 촬영하였다. 분석은 2014년 12월 1일부터 30일간 진행되었으며 일정 간격으로 촬영된 이미지의 픽셀의 화소값 분포를 조사하였다. 결빙이 진행되는 부분은 강의 유속이 느려지는 특징을 보이는 데 이미지 처리 기술로 그 영역을 충분히 확인할 수 있었다. 이러한 유속 변화의 패턴을 비교하는 시점을 비교 시작 시간을 기준으로 하는 방법과 비교 때마다 기준 이미지를 바로 직전 이미지로 변경하여 비교하는 방식을 적용하였다. 실험 결과, 결빙이 진행되는 시간대의 유속 흐름 분석 패턴은 분명한 패턴 특징을 보였고 직전 이미지를 비교하는 방식이 보다 안정적인 분석결과를 보였다. 주간보다는 야간 이미지가 보다 안정적인 분석 특징을 보였다.



Oh-Sung Kwon received the Ph.D. degree in the Department of Computer Engineering from Chung-Ang University in 1994. He has been a

professor in the Department of Computer Education at Gongju National University of Education since 1995. His current research interests include multimedia data processing and digital image processing.

E-mail address: oskwon@gjue.ac.kr