

사물인터넷과 클라우드 기반의 실시간 교량 높이 계측 서비스 연구

A Study on IoT and Cloud-based Real-time Bridge Height Measurement Service

최차환* · 천영만** · 정승훈*** · 차득기**** · 이영재*****

Cha-Hwan-Choi · Young-Man-Cheon · Seung-Hun-Jeong · Dek-Kie-Tcha · Young-Jae-Lee

Abstract

Currently, the height of ships that can pass under Busan Harbor Bridge is limited to 60m or shorter, so that large-sized ships of 60m or taller cannot use Busan Harbor international passenger terminal. Accordingly, this study has developed a service which measures continuously the change of bridge height by water level changes and provides such in real-time for safe bridge passage of large-sized ships of 60m or taller. The measurement system comprised of high-precision laser distance measurement device, GPS sensor, optical module, and damping structure is used to measure the bridge height change according to tide level changes, and the measured information is provided in real-time through cloud-based mobile app. Also, in order to secure objective bridge height data for changes to height limits and navigation supports, the observation data was analyzed and forecast model was drawn. As a result, it became an objective evidence to revise the passage height rules of the Busan Port Bridge from 60 meters to 63 meters.

Keywords: Bridge height measurement system, GPS, Optical module, Cloud, Real-time mobile app service

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

부산항대교는 부산광역시 교통망 계획의 중심축인

부산항 항만 배후도로 중 영도구와 남구를 연결하는 주요 도로이자 부산항을 찾는 대형 크루즈선이 입항하는 관문이기도 하다.

하지만 2015년 부산항 국제여객터미널 개장 이후 부산항대교 통행 높이 제한으로 인해 60미터 이상의

* 한국국토정보공사 부산울산지역본부 LX Busan-Ulsan Headquarters (First author: chahwan@lx.or.kr)

** 한국국토정보공사 부산울산지역본부 LX Busan-Ulsan Headquarters (cym@lx.or.kr)

*** 한국국토정보공사 부산울산지역본부 LX Busan-Ulsan Headquarters (rusdn13@lx.or.kr)

**** 한국국토정보공사 공간정보연구원 LX Spatial Information Research Institute (Corresponding author: tcha@lx.or.kr)

***** 부산항만공사 조사 Busan Port Authority (yjlee@busanpa.com)

대형 크루즈선은 통과 하지 못하고 있으며 부산시는 이에 대한 실질적인 해결방안 마련을 위해 고심하고 있다. 따라서 부산항대교의 실제 통항 높이를 계측·분석 하여 “부산항 항법 등에 관한 규칙”의 부산항대교 통항높이 제한(60미터 이하)을 변경하기 위한 근거자료 확보가 필요하다.

따라서 본 연구는 교량을 통과하는 선박의 안전한 통항을 위해 통항높이의 계측과 통항정보를 실시간 서비스함으로써 지역 조례로 정해진 통항높이의 검증과 제한적 통항높이를 실시간 계측정보를 통해 유동적으로 설정할 수 있는 이론적 토대를 만들기 위한 연구이다.

연구의 공간적 범위는 대형 크루즈선이 상시 입항하는 부산항대교의 조위 및 교량 높이에 해당되며 선박 운항과 관련된 동적인 요소와 풍향과 풍속 및 온·습도에 대한 환경적인 변화연구 부분은 연구 범위에서 제외하였다.

본 연구에서 계측된 통항 높이에 대한 이론적 근거 자료를 제시하기 위해 약 3개월간 현지 측량을 통한 기준점 매설과 조위관측 댐핑시스템 제작 및 IoT 인프라를 구성하였으며, 시스템 구축 이후 계측·분석된 데이터가 부산항대교의 통항높이를 상향조정하는 기본 데이터로 활용되는 것이 목적이다.

2. 사전연구 및 차별성

본 연구와 유사한 사전연구는 광섬유 센스를 이용한 교량 모니터링 연구가 Casas(2003)에 의하여 연구되었다. 이 연구에서 광섬유의 경량화, 전자기 간섭에 대한 강한 내성과 같은 특징을 활용해 토목 구조물의 모니터링을 위한 혁신적인 감지 시스템이 개발되었으며 구조물의 변형률, 온도, 기울기, 가속도, 하중 측정, 얼음 검출, 차량 속도 및 중량 모니터링, 보강 및 보강 콘크리트 구조물의 부식 및 균열을 모니터링 한다.

다음으로 Onsala Space Observatory(2010)는 GNSS에 의한 고속의 해수면 수위 모니터링 연구에서 지역 해수면을 결정하기 위해 GNSS 기반 조수 계측기를 활용해 직접 수신된 GNSS 신호와 해수면에서 반사되는 신호를 사용하였다. 이와 같이 해수위 정보를 취득하기 위한 사전연구를 조사하여 본 연구와 상호 비교할 수 있었다.

본 연구에서 사용된 데이터 취득 방법은 사전 연구에서 조사된 방식과 차이가 있다. 통항높이의 결정에 있어 국가기준점 정보를 활용해 산출된 해수면 높이와 mm단위까지 관측할 수 있는 토털스테이션을 활용해 교량 높이를 결정하였으며 계측정보가 통항높이 이외의 다른 분야에 즉시 활용될 수 있도록 각각의 계측 정보를 표준화 시켰다. 또한 계측과 동시에 모바일 앱을 통해 실시간으로 서비스되는 사물인터넷 기반의 연구라는 점이 기존의 연구와 차별된다.

3. 연구 내용

연구에 앞서 지역의 해수면 높이를 적용한 정확한 기준 정의와 조위를 관측하고 실시간 데이터를 제공하기 위해 연구내용을 크게 세 가지로 분류 하였다.

첫째, 현지 답사 및 GPS·지적측량을 통한 측량 기준(offset line)설정 둘째, 조위 측정을 위한 댐핑시스템 제작 및 설치 셋째, 관측데이터 실시간 제공을 위한 서버 및 모바일 앱 구축 으로 나뉜다.

3.1. 현장측량

본 연구의 목적에 따라 부산항대교의 교량 하단부 2개소(감만측,영도측)에 교량하부 높이 실측을 위하여 측량에 필요한 기준점 6개의 기준점을 매설하고 GPS 관측으로 경위도 좌표값과 표고값(H)을 산출하였다(Figure 1, Table 1).

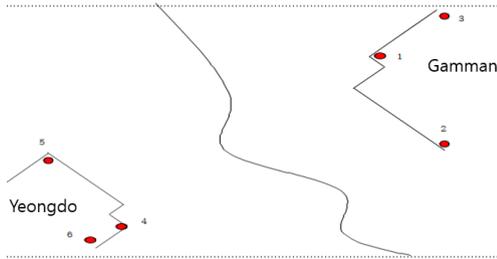


Figure 1. Buried new datum point

Table 1. Final results table of new datum point

No	GRS80						Note
	LAT	LON	HAE	Plane of Projection			
				X[N], m	Y[E], m	Z(H)	
1	35-06-27	129-04-0	32.55	279052	206078	3.09	Gamman
2	35-06-25	129-04-1	32.59	278986	206112	3.13	
3	35-06-29	129-04-1	32.56	279096	206119	3.11	
4	35-06-13	129-03-48	32.83	278596	205787	3.36	Yeongdo
5	35-06-15	129-03-46	32.61	278672	205734	3.16	
6	35-06-12	129-03-47	32.56	278573	205762	3.11	

GPS로 관측된 표고값(H)의 성과와 통합기준점 및 수준점에 관측하여 고시된 GPS성과의 표고값(H)에 대한 성과를 비교하였다.

통합기준점에 고시된 표고값(H)과 직접 측량한 GPS성과와의 차이는 최대 -0.094m, 최소 +0.018m로 나타났다 (Table 2).

Table 2. Final results table of integrated reference point
Source: NGII 2014

No	GRS80						Published Elev(H)	GAP
	LAT	LON	HAE	Plane of Projection				
				X[N], m	Y[E], m	Z(H)		
U1000	35-06-40	129-01-41	173.92	279445	202566	144.47	144.49	-0.02
U0998	35-10-14	129-07-31	34.93	286041	211435	5.39	5.48	-0.09
U0999	35-07-45	129-05-53	34.61	281454	208951	5.12	5.15	-0.03
U0997	35-10-51	129-04-26	40.45	287171	206753	10.92	10.94	0.02

수준점에 고시된 표고값(H)과의 성과는 최대 -0.049m, 최소 -0.013으로 나타났다 (Table 3).

Table 3. Final results table of bench mark
Source:NGII 2014

No	GRS80						Published Elev(H)	GAP
	LAT	LON	HAE	Plane of Projection				
				X[N], m	Y[E], m	Z(H)		
부산기점	35-06-16	129-01-11	45.98	278708	201811	16.54	16.57	-0.04
07-18-01	35-06-12	129-00-01	99.68	278567	200048	70.25	70.26	-0.01
15-00-07-04	35-09-37	129-07-36	48.70	284901	211545	19.18	19.13	+0.04
10-00-00	35-10-04	129-04-07	64.89	285733	206265	35.38	35.43	-0.05

통합기준점과 수준점에 대한 GPS관측 성과를 교량 실측을 위해 매설한 6개의 기준점과 캘리브레이션 (Calibration)한 결과는 주변 기준점과의 성과 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 4).

Table 4. Final results table of calibration

NO	GPS Result(A)	Calibration Result(B)	GAP(A-B)	Note
	Z(H), m	m	m	
1	3.0953	3.1126	-0.0173	Gamman
2	3.1341	3.1513	-0.0172	
3	3.1111	3.1286	-0.0175	
4	3.3620	3.3786	-0.0166	Yeongdo
5	3.1614	3.1782	-0.0168	
6	3.1147	3.1312	-0.0165	

기준점 성과 검증 후 교통량에 따른 교량의 변위를 관측하기 위해 교량 하단부의 높이 측정을 실시하였고, 통행량이 가장 빈번한 시간대를 분석하여 교량 하단부의 높이 변위량을 실측하였다.

부산항대교 교량 하단부 정중앙을 기준으로 A·B·C 지점을 지정하고 오프셋(OffSet) 기준으로 3차에 걸쳐 교량 하단부를 실측 하였다 (Figure 2, Table 5).

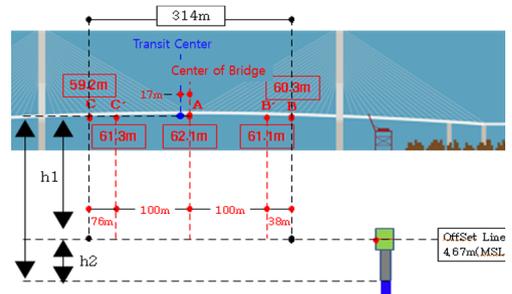


Figure 2. Comparison of height by location

Table 5. Comparison of hight by location

Rounds Division	16.02.24. AM	16.04.01. PM	16.04.01. PM	Note
Center of Bridge	62.186	62.183	62.180	A
Entry Notice	60.304	60.297	60.299	B
Sailing Notice	59.205	59.194	59.201	C

부산항대교 교량 하단부 관측은 매회 3번씩 관측 하였으며 감만측과 영도측에서 각각 관측하여 그 평균 으로 하였다. 그 결과 교량 중앙부의 최상단점의 높이 (H)는 평균해수면 기준으로 66.81m로 관측되었다.

3.2. 시스템의 구성

본 시스템의 구성은 해수면의 조위변화에 따른 안정화를 위한 댐핑구조물과 GPS시간을 기록하고 레이저 거리측정을 위한 센서 모듈 및 데이터전송 부분, 전송받은 자료의 백업 및 모바일 서비스를 위한 서버시스템 및 응용프로그램으로 구성하였다.

3.2.1. 댐핑구조물

댐핑구조물은 부산항대교 교각 하단부 감만과 영도 측 각 1개씩 설치하여 운영하도록 설계되었다. 댐핑구조물의 주요 구성은 해수면의 높이를 관측할 수 있는 센스부와 관측된 결과값을 무선으로 송신하는 통신부로 구성하였으며, 그 외 해수면에 떠있는 부이와 해양오염물 침투를 최소화 방지하는 망과 전원공급 장치 등으로 구성하였다.

댐핑구조물 에서 실시간 해수면의 높이를 측정하는 광센스가 위치한 지점의 기준선을 오프셋라인(Offset Line) 지정하였으며, GPS측량 결과 평균해수면(MSL) 기준으로 4.67m로 나타났다. 오프셋라인(Offset Line)을 기준으로 실시간 해수위의 높이를 측정한 값과 측량에 의해 관측된 교량의 높이 값을 더하여 실시간 통

항가능 높이를 관측한다.

실제의 해수면과 부이의 최상단부 및 측정 센서간의 거리가 되는 오프셋(Offset)라인으로부터 통항높이를 제공하는 지점은 A, B, C로 구분하였으며, A점은 교량 중앙부, B점은 교량측면에 설치된 입항기준 우측간판(감만측), C점은 입항기준 좌측간판(영도측)으로 기준하였다. 모바일 서비스에 필요한 3점(A,B,C)의 높이값(h1)은 A점 62.1m, B점 60.3m, C점 59.2m로 높이값(h1)을 구하였다(Figure 2).

부산항대교 설계기준 형하고(H)는 아래 와 같다 (Figure 3).

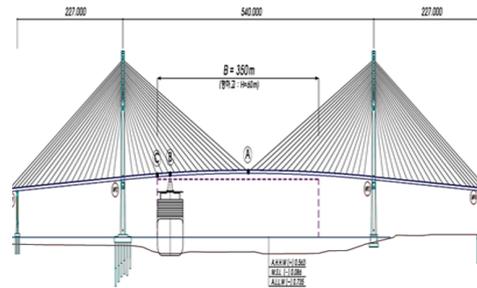


Figure 3. Design height of Busan Harbor Bridge(H)
Source: Busan Port Authority

부산항대교 설계기준 형하고(H)는 해수최고조면(HWL)기준으로 항로의 중앙이 ㉔점이 66.187m, 항로끝단의 선박중앙이 ㉔점이 63.570m, 항로 끝단 ㉔점이 62.643m로 설계되었다. 설계기준과 측량값에 대한 비교는 교량의 중앙 ㉔점으로 비교하여 아래 표와 같이 성과에 대한 차이를 비교할 수 있다. ㉔점에 대한 설계기준의 형하고(H)와 측량값(H)와의 차이는 0.626m로 기준면에 따른 높이값의 차이이다. 부산항의 평균해수면(MSL)고시 높이는 0.649m로 설계기준 형하고(H)와 측량값(H)와의 차이와 비교하면 0.023m로 나타났다(Table 6).

Table 6. Comparison of Design Height and Observation of Busan Harbor Bridge

No	Design Height (A)	Observation Result (B)	Mean sea level in Busan (C)	GAP	
				D=B-A	C-D
①	66.187m	66.813m	0.649m	0.626m	0.023m

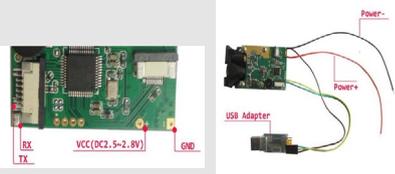
3.3. 데이터의 종류 및 수신기간(Time)

부산항대교의 감만측과 영도측 두 곳에 설치된 댐핑 시스템에서 실시간으로 조위가 관측 하였으며 두 자료간의 차이가 크게 발생하지 않아 본 연구에서는 감만측에서 관측된 데이터를 사용하였다. 관측된 데이터를 비교·검증하기 위한 데이터는 부산광역시 영도지역에 설치된 조위관측소에서 관측된 2016년 5월 24일~ 2017년 3월 31일 까지의 데이터를 사용하였다.

3.4. 센서모듈 및 데이터 전송

3.4.1. 레이저 광파측거모듈

Table 7. specifications of Electro-optical Distance Measuring



- Measuring range : 0.05 to 70m
- Accuracy: typically : 0.1mm
- Measurement time : 0.1~3s
- Laser class : Class II 635nm,
- Operation temperature : 0 ~40C
- Storage temperature : -25~60C
- Power supply : DC2.5~2.8V
- Weight : 70g
- Size : 72*40*18mm

측정의 정확도를 높이기 위해 부이(Buoy)을 활용하여 반사판 역할을 수행하며 레이저가 발생하는 광센스 모듈이 댐핑구조물 내부에 위치한다(Table 7).

3.4.2. 데이터 저장

관측 결과는 일차적으로 데이터의 안전성을 위하여 SD카드에 저장한다. 자료의 저장형태는 텍스트(TEXT, ASCII)파일로 저장되며 구분자(,)를 사용하여 자료를 이해할 수 있도록 하였다.

3.4.3. 데이터 양식

데이터의 양식 주석과 측정성고를 그대로 저장한 것이다. 즉 측정일자정보(Date), 관측시간정보(Time:GPS에 의한 UTC기준), 측정위치정보(GPS에 의한 경위도), 측정높이정보(D) 및 신호세기 정보로 구성되어 있다(Table 8).

Table 8. Input Data form

DATE:16/7/24, TIME:15:31:40, B:35.17, L:129.06, D:4.299m
DATE:16/7/24, TIME:15:33:40, B:35.17, L:129.06, D:4.302m
DATE:16/7/24, TIME:15:35:40, B:35.17, L:129.06, D:4.303m
DATE:16/7/24, TIME:15:37:40, B:35.17, L:129.06, D:4.309m

3.4.4. 무선통신

측정된 성과를 인터넷에 연결하여 서비스를 구현하기 위해서는 물리적으로 측정위치에서 사무실까지 유선 또는 무선으로 연결하여 자료를 제공하여야 한다. 물리적으로 유선을 사용하기에 제약이 많아 본 시스템에서는 근거리(5km 이내) 무선통신을 이용하여 일차적으로 측정된 성과를 RF(Radio Frequency)통신 모뎀을 사용하여 전송한다.

3.5. 사물인터넷(IoT) 인프라 구성

조위관측성과를 다수의 사용자에게 서비스하기 위하여 인터넷 인프라를 활용하여 서비스하여야 효율성을 극대화할 수 있다. 관측한 결과를 무선통신에 의하여 원격으로 송신과 수신에 이루어지고 수신한 자료를 서버에 저장 및 모바일체계와 연동하도록 설계 및 구축하였다.

인프라의 구성은 부산항대교 하부 센서에서 실시간 관측되어 게이트웨이(Mac Mini)를 거쳐 Amazon Cloud Server(EC2)에 저장되고 스마트폰으로 전송된다. 전송된 자료는 통향높이로 환산하고 그래픽으로 나타내도록 인식을 도왔다. 또한 전날 자료를 참고하여 현재 시각을 기준으로 1일 예측이 가능하도록 인터페이스를 구성하였다.

3.5.1. Gateway의 구성

RF(Radio Frequency) 수신기로부터 부산항 대교의 해수면과의 실측 높이 센서 데이터를 USB의 시리얼 통신을 이용하여 수신한다.

평균 2분에 1회 수신되는 위 데이터를 각 날짜별로 생성되는 TXT 파일에 저장된다.

YYYY_MM_DD.txt 의 형식으로 2016년 5월 24일부터 현재까지 매일 파일이 생성되고 데이터가 저장되고 있다. 저장된 TXT 파일은 웹브라우저를 이용해 http://52.79.196.164:8080/2016_05_28 과 같이 접속하여 날짜별로 내용을 볼 수 있다.

게이트웨이에서는 2분에 한 번 수신되는 데이터를 파일에 저장함과 함께 Amazon Cloud Server 인 EC2로 파일을 전송하고 있다.

3.5.2. Cloud Server의 구성

데이터를 보관하고, 스마트폰으로 데이터를 전송하는 목적으로 Amazon Web Service의 EC2 서버를 이용하고 있다. Amazon Web Service(AWS)는 전 세

계 최대 클라우드 서버 서비스로 데이터 유실 방지를 위한 물리적, 논리적 백업 및 안전장치가 마련되어 있어 안전하고 안정적인 서비스의 이용이 가능하다.

EC2 서버에서는 게이트웨이로부터 전송된 파일을 저장하고 모바일로부터의 파일 전송 요청에 대응하고 있다.

3.5.3. 화면 인터페이스 구성

앱(App)에서는 AWS(Amazon Web Service) EC2 서버로부터 과거 3일치의 파일을 전송 받고, 그래프와 수치 데이터로 보여주고 있다.

우측 상단의 리프레쉬 버튼을 이용하여 최신 데이터를 가져올 수 있다(Figure 4).

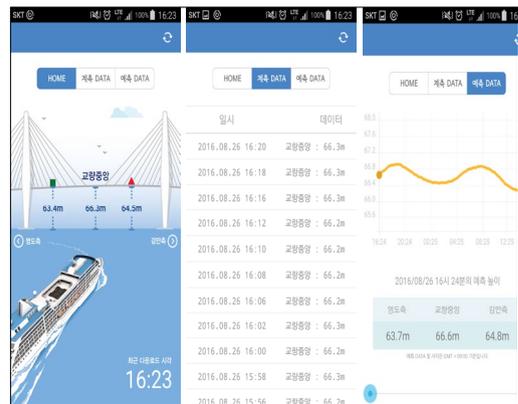


Figure 4. App Layout

2분 단위로 업데이트 되는 실시간 데이터를 클라우드 서버에 요청하여 확인 할 수 있다.

클라우드 서버에 요청한 최신 데이터는 홈(Home) 화면에서 부산항대교 그림과 함께 표시되며, 목록 화면에서는 과거 3일치 데이터, 교량중앙 및 입·출항 안내 간판이 설치된 지역의 높이 확인이 가능하다. 그래프 화면에서는 통향가능 예측 높이를 그래프와 표로 확인 할 수 있다.

3.6. 관측 데이터

3.6.1. 데이터의 구성

데이터는 2분 간격으로 수신되고 있으며 날짜, 시간, 위도, 경도, 관측값, 신호세기 순으로 구성되어 있다. 시간의 경우 본초자오선을 기준으로 수신되고 있어 우리나라 시간에 맞추기 위해서는 +9(h)시간의 데이터 수정이 필요하다. 관측값은 댐핑시스템에서 부터 해수면까지의 거리를 측정된 값으로 통항가능 높이를 계산하기 위해서는 교각 상판하부로부터 댐핑시스템 까지 높이(h1) 62.1m를 더해야 한다.

3.6.2. 데이터의 에러율

조위 관측시 레이저빔에 의한 반사면의 불규칙성과 자연현상에 따라서 나타날 수 있는 불채택성 자료의 정제를 진행하였다. 정상적으로 모든 데이터가 수신 되었다면 23만여 건의 데이터가 수신되어야 하나 댐핑 작업 및 전원 차단으로 인한 수신불가 상태를 감안하여 수신된 데이터는 총186,567건이며 정상적인 데이터는 185,844건, 에러 데이터는 723건으로 에러율은 0.3%로 나타났다. 데이터 에러의 유형은 크게 세 가지로 나타났다. 첫째, 관측된 조위정보 자체가 기계적인 오차에 따라서 수신이 안 되는 경우로 이는 센서의 결함, 반사면의 불규칙성 및 통신상의 에러 등이 포함된다. 이는 논리적으로 사용할 수 없는 자료이기 때문에 유효한 자료로 볼 수 없다(Table 9).

둘째, 레이저빔 오류로 관측되어 수신된 조위정보가 오류인 경우(Table 10), 셋째, 관측된 조위정보는 정상적이거나 기타 다른 정보들이 수신 안 된 경우이다(Table 11). 이번 연구에서는 세 번째 경우처럼 조위 데이터는 정상적이거나 다른 데이터가 수신 안 된 경우는 연구범위에 포함시켰으며 조위데이터가 부정확하거나 수신 안 된 경우는 분석범위에서 제외하였다.

Table 9. Error type I

2016-05-25	2:53:10	B:35.10798645	L:129.06678771	8.935	2247
2016-05-25	2:55:10	B:35.10795974	L:129.06678771	Er08!	
2016-05-25	2:57:10	B:35.10795211	L:129.06678771	3.095	3252
2016-05-25	2:59:10	B:35.10793304	L:129.06678771	5.514	3323
2016-05-25	3:01:10	B:35.10792922	L:129.06678771	8.947	2769
2016-05-25	3:03:10	B:35.10792922	L:129.06678771	Er08!	

Table 10. Error type II

2016-05-30	11:22:07	B:35.10792922	L:129.06684875	0.107	0069
2016-05-30	11:24:07	B:35.10790634	L:129.06686401	0.106	0060
2016-05-30	11:26:07	B:35.10794448	L:129.06684875	0.106	0062
2016-05-30	11:28:07	B:35.10795593	L:129.06683349	0.106	0071
2016-05-30	11:30:07	B:35.10795593	L:129.06684875	0.107	0067
2016-05-30	11:32:08	B:35.10795211	L:129.06686401	0.106	0067

Table 11. Error type III

2016-06-01	18:54:01	B:35.10801315	L:129.06680297	4.33	0072
2016-06-01	18:56:01	B:35.10799789	L:129.06683349	4.333	0060
2016-06-01	18:58:01			4.285	69
2016-06-01	19:00:01			4.326	68
2016-06-01	19:02:02	B:35.10801315	L:129.06678771	4.315	0057
2016-06-01	19:04:02	B:35.10800933	L:129.06678771	4.365	0058

3.6.3. 데이터의 시각화

관측데이터를 시각화한 결과 전체적인 조위변화의 흐름을 확인할 수 있으며 에러가 발생한 지점을 살펴 보면 시간이 갈수록 에러율이 낮아진다는 것을 확인할 수 있다. 에러가 집중적으로 많이 발생한 시점에서 에러의 원인은 내부적으로 광파모듈을 작동하는 배터리의 전압 저하, 외부적으로 풍랑 세기에 의한 것으로 나타났다. 이러한 문제를 개선하기 광파 모듈에 안정적인 전력 공급을 위한 설비와 강한 풍랑에도 영향을 받지 않는 견고한 댐핑구조물의 제작이 필요하다(Figure 5).

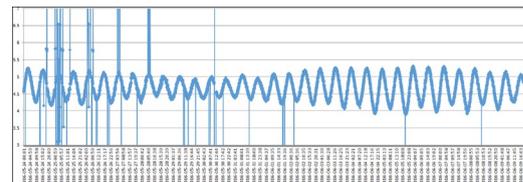


Figure 5. Visualization of raw data

3.6.4. 감만 및 영도측 조위관측 데이터

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 실시간 조위관측을 할 수 있는 댐핑구조물은 감만 및 영도측 각 1개씩 설치하여 운영하고 실시간 조위관측 데이터를 전송(현재, 감만측 데이터 송신)하도록 설계되었다. 두 데이터간의 신뢰도를 비교·검증 하기 위해 2016년 5월 24일부터 6월 7일까지 15일간 각각의 관측자료를 비교·분석하였다. 검증결과는 최대차가 0.10m, 최소차가 0.00m이며, 평균 0.02m로 나타났다. 최대차가 0.10m로 나타난 이유는 감만측의 댐핑구조물은 부산항대교 주탑 기준으로 내항에 영도측은 외항에 설치되어 위치 및 항로 주변의 일시적 과고의 영향으로 나타난 것으로 분석되었으며 감만 및 영도측에서 취득되는 조위관측 데이터의 최대 차이가 0.10m, 평균 0.02m로 큰 차이가 없어 분석에 사용된 데이터는 감만측 조위관측 데이터를 활용하였다(Table 12).

Table 12. Data reliability varification

Date/Time	Gamman(m)	Yeongdo(m)	GAP(m)	NOTE(m)
2016-05-24 00:00	66.69	66.66	0.02	Max 0.10
2016-05-24 00:05	66.70	66.69	0.01	Min 0.00
2016-05-24 00:10	66.73	66.72	0.01	Avg 0.02
2016-05-24 00:15	66.76	66.74	0.02	
2016-05-24 00:20	66.78	66.76	0.02	
2016-05-24 00:25	66.80	66.77	0.03	

3.7. 조위관측소 데이터

실측된 데이터를 비교·검증하기 위해 국립해양조사원에서 제공하는 조위관측 자료를 활용하였다. 데이터는 1분 간격으로 수신되고 있으며 관측시간, 조위, 수온, 염분에 대한 정보를 제공하고 있다.

조위의 기준면은 항만의 약최저조면 (Approximate Lowest Low Water)으로 국립해양조사원에서 간행하는 해도의 기본수준면과 일치 하였다.

3.8. 데이터 정제(Filtering)

감만측 조위관측 데이터는 크게 세단계의 과정을 거쳐 가공하였다. 첫째, 수신데이터의 시간은 본초자오선 기준으로 수신되기 때문에 한국 시간대에 맞추기 위해 수신된 시간에 9시간을 더해주는 과정, 둘째, 감만측에서 수신된 데이터와 조위관측소의 관측 데이터는 각각 0.3%와 0.16%의 에러율을 보이고 있어 에러 데이터를 제거하는 과정, 셋째, 감만측에 설치된 댐핑시스템의 경우 2분단위로 조위가 관측되고 조위관측소는 1분단위로 조위가 관측되어 관측주기를 맞추어 같은 시간에 관측한 값을 비교하기 위한 데이터 추출 과정을 거쳐 시간, 에러율, 관측 횟수 등을 가공하고 감만측에 설치된 댐핑시스템에서 관측된 데이터와 조위관측소에서 관측된 데이터를 시각화를 하였다 (Figure 6).

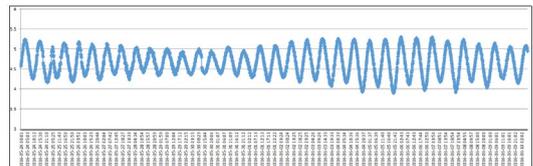


Figure 6. Observaion data visualization after data refinement

3.9. 데이터 표준화

데이터 정제 후 시각화한 데이터는 조위 변화의 패턴은 보이지만 데이터 정제시에 제거된 부분이 있어 곳곳에 데이터가 빠진 부분이 나타나는 것을 확인할 수 있다(Figure 7).

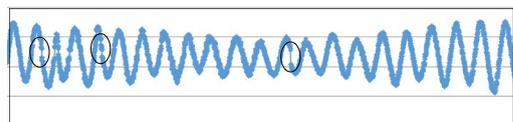


Figure 7. Data gap status before standardizaion

따라서 시간에 따른 데이터 공백을 방지하기 위해 2분단위로 측정된 데이터를 5분단위로 표준화하여 데이터의 분포가 일정하게 나타나도록 하였다(Table 13, Figure 8).

Table 13. 5minutes standard standardizaion

	2016-05-24	2016-05-25	2016-05-26	2016-05-27	2016-05-28	2016-05-29	2016-05-30
0:00	4.564	4.428	4.300	4.301	4.250	4.439	4.494
0:05	4.594	4.432	4.305	4.343	4.226	4.403	4.491
0:10	4.625	4.438	4.317	4.342	4.251	4.366	4.483
0:15	4.646	4.451	4.337	4.326	4.302	4.339	4.452
0:20	4.667	4.474	4.357	4.319	4.361	4.332	4.429

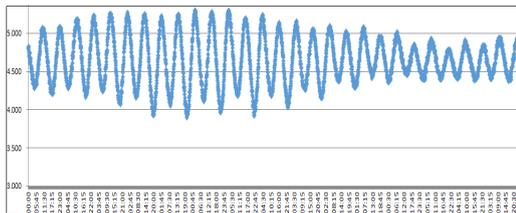


Figure 8. visualizaion of 5 minutes standardized results

4. 분석결과

4.1. 조위관측소 실측 데이터와 상관분석

감만측에 설치된 댐핑시스템에서 관측된 데이터와 조위관측소에서 관측된 데이터의 변화폭을 계산하여 두 데이터간의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였고 그 결과 -1에 가까운 음의 상관관계가 나타났다. 하지만 감만측 댐핑시스템에서 관측된 데이터의 경우 데이터의 수치가 낮아질수록 만조에 가깝다고 볼 수 있기 때문에 양의 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 따라서 감만측 관측데이터와 조위관측소에서 관측한 데이터는 상관관계가 아주 높다고 볼 수 있고 두 데이터를 시각화하여 아래와 같이 유사한 패턴을 확인할 수 있다(Table 14, Figure 9).

Table 14. Correlation Analysis between Gamman data and Tidal observation Station(TBS) Data

DATE	TIME	Value	Hight(m)		
2016-05-24	0:01:20	4.556	0.95		
2016-05-24	0:03:20	4.571	0.93		
2016-05-24	0:05:20	4.582	0.91		
2016-05-24	0:07:20	4.594	0.91		
2016-05-24	0:09:20	4.607	0.89		
2016-05-24	0:11:20	4.616	0.88		

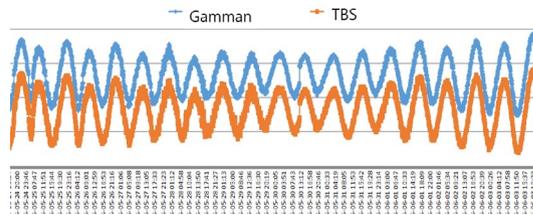


Figure 9. comparison of visualizaion between Gamman data and Tidal observation Station(TBS) Data

4.2. 선형회귀분석 적용 통항높이 예측 및 검증

2분 단위로 관측된 감만측 데이터를 5분 단위로 표준화하고 향후 예측되는 조위변화에 근거한 통항높이의 수학적인 모델을 도출하여 통항높이를 예측하였다. 이 예측모델을 개발하기 위한 회귀모형 방정식을 구하기 위해 먼저 가설 설정 하고, 예상기대치와 측정값을 비교하여 신뢰도를 갖도록 한다.

가설1. 감만측 데이터와 조위관측소 데이터는 같은 폭으로 변동한다.

가설2. 조위관측소 데이터와 조석예보 데이터는 같은 폭으로 변동한다.

위의 두 가설은 앞에서 분석한 상관관계분석에서 부합한다는 결과를 얻을 수 있어 선형회귀모형 방정식($Y = a + bX$) 으로 감만측 관측데이터와 조석예보 데이터간의 최소제곱법에 따른 최적의 선형회귀분석 실시하였다.

분석결과 감만측 통항높이를 설명하기 위한 조석예보 데이터의 설명력이 아주 높게 나왔으며 회귀식이

유의미하다는 결과를 나타냈다. 따라서 조석 예보 데이터를 토대로 선박의 통항가능 높이를 예측할 수 있다고 볼 수 있다(Table 15).

Table 15. Linear regression analysis results

Regression statistics								
Multiple R	0.993254							
R Square	0.986553							
Adjusted R	0.986449							
Standard Err	0.049512							
Observation	132							
	Df	ss	MS	F	significance F			
Regression	1	23.37969	23.37969	9537.288	1.6E-123			
Residual	130	0.318682	0.002451					
Total	131	23.69838						
	Coefficients	standard Err	t-Stat	P-value	Low95%	Up95%	Low95.0	Up95.0%
Y	67.42745	0.00801	8417.541	0	67.4116	67.4433	67.4116	67.4433
X1	-0.00962	9.85E-05	-97.659	1.6E-123	-0.00981	-0.00942	-0.00981	-0.00942

회귀분석을 통해 도출한 회귀식은 다음과 같다.

$$y = 67.42745 + (-0.00962)\chi$$

회귀식을 활용해 통항높이를 예측한 데이터와 실제 관측 데이터를 비교한 결과 아래와 같이 1%미만의 오차를 보이고 있다(Table 16).

Table 16. Comparison of observational data and forecast data

	Tide Forecast (m)	Height Forecast (m)	Gap (m)	Err Ratio(%)	
2016-07-01 05:26		1.05	66.417	66.568	0.2263
2016-07-01 11:27		0.28	67.158	67.269	0.1649
2016-07-01 18:04		1.19	66.283	66.453	0.2563
2016-07-02 00:01		0.3	67.139	67.304	0.2454
2016-07-02 06:28		1.1	66.369	66.61	0.3614
2016-07-02 12:25		0.22	67.216	67.302	0.1281
2016-07-02 19:01		1.26	66.215	66.263	0.0719

4.3. 삼각함수 적용 통항높이 예측 및 검증

y를 시간 t에 대하여 삼각함수를 활용한 해수면 높이 예측하기 위한 공식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = a \cos(\beta(\tau - \theta)) + \gamma$$

α = 간·만조 수위 차의 절반

β = 2π /만조주기(T)

θ = 처음 만조시간

γ = 간·만조 수위 합의 절반

Table 17. Tidal prediction ebb and flood time and water level

2016-05-24	3:30	12cm	Low
	9:35	111cm	Full
	15:25	13cm	Low
	22:00	119cm	Full

Table 18. Actual ebb and flood hours and water level

2016-05-24	3:45	24cm	Low
	9:15	124cm	Full
	15:59	27cm	Low
	21:17	132cm	Full

삼각함수를 활용한 해수면 높이 예측을 위한 공식을 조석예보 데이터와 실제 관측된 조위 데이터로 예측해본 결과 조석예보 데이터의 경우 실제 간·만조와 차이가 많아 조위 예측데이터와 차이가 많다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 삼각함수를 활용한 통항높이 예측의 경우 조석예보 데이터보다는 실제 관측데이터를 활용하는 것이 오차를 줄일 수 있다(Table 17, 18).

본 연구는 선박 운항과 관련된 동적인 요소와 풍향과 풍속 및 지구자전과 같은 외부 환경적인 요인은 제외한 연구이므로 관측데이터를 토대로 장기간의 예측은 어려움이 있다고 판단하며 관측된 데이터를 토대로 만조 ~ 만조 사이 1사이클의 조위예측 데이터를 사용하는 것이 예측 오차를 줄일 수 있는 방법이다 (Table 19).

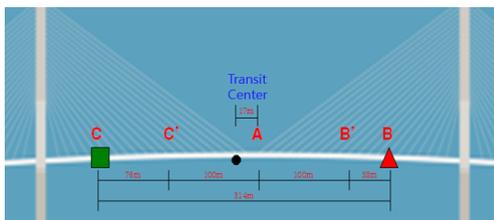
Table 19. Verification of Predictive Data Using Triangular Functions

Date/Time	Real Tide (cm)	검증	
		Forecast by Tide Prediction (cm)	Forecast by Observation(cm)
2016-05-24 00:00	95	79.522	61.022
2016-05-24 00:01	95	79.128	91.506
2016-05-24 00:02	93	78.122	91.088
2016-05-24 00:03	93	78.315	90.669
2016-05-24 00:04	92	77.906	90.249
2016-05-24 23:38	115	81.474	74.980
2016-05-24 23:39	115	81.077	74.538
2016-05-24 23:40	114	80.677	74.096
2016-05-24 23:41	114	80.276	73.655
2016-05-24 23:42	113	79.874	73.213
2016-05-24 23:43	111	79.471	72.772

5. 예측결과 및 활용방안

5.1. 실시간 예측 결과

감만 및 영도측 댐핑시스템의 데이터의 차이는 최대 0.10m, 최소 0.00m, 평균 0.02m로 분석되어 상호 데이터간의 정확성이 검증 되었다. 또한 국립해양조사원의 조위관측소(영도) 데이터와의 상관분석을 통하여 감만측 관측데이터와 국립해양조사원의 조위관측소에서 관측한 데이터간 상관관계가 아주 높게 확인되어 두 데이터간의 상관도 및 신뢰도가 높다고 할 수 있다.



	C	C*	A	B*	B	Note
Max	64.6	66.7	67.5	66.5	65.7	min/max
Min	63.1	65.2	66.0	65.0	64.2	1.5m

Figure 10. Maximum and minimum height of passage

본 연구 기간중 부산항대교 교량하단부 기준 통항 가능 높이는 교량중앙(A)의 경우 최대 67.5m, 최소

66.0m이며, 교량중앙(A)기준으로 100m 지점 감만측(B')의 최대 66.5m, 영도측(C')는 최대 66.7m, 최소 65.2m이고, 또한, 통항 간판이 위치한 감만측(B)는 최대 65.7m, 최소 64.2m, 영도측(C)는 최대 64.6m, 최소 63.1m로 결과를 얻었다. 아울러 선박의 통항이 가능한 항로의 폭은 314m이다(Figure 10).

감만측 관측 데이터는 일차적으로 댐핑구조물내 메모리저장카드(SD CARD)에 저장됨과 동시에 실시간 송·수신체계로 서버에 안정적으로 저장·관리되며 클라우드 기반(Amazon Web Service의 EC2)의 서버를 이용하여 모바일 앱(App, 부산항대교 수면상높이)으로 통항에 필요한 정보이용자에게 유용한 정보를 제공할 수 있다.

5.2. 활용방안

본 연구의 성과는 정보이용자에 따라 다양한 분야의 정보와 융합하여 활용가치가 크다고 볼 수 있다.

첫째, 부산항대교 하부를 통항하는 선박에 통항가능 높이에 대한 정보를 서비스 할 수 있다.

둘째, 댐핑시스템에서 생산되는 방대한 조위관측 데이터는 “부산항 항법 등에 관한 규칙” 선박의 통고 높이 고시 변경에 따른 과학적 자료 제공에 활용할 수 있다.

셋째, 국가 및 해양관련 전문기관에서 관리하는 해양 정보와의 비교 및 분석 자료로 활용 가능하다.

마지막으로 본 연구의 성과는 다른 연구 분야에 기초자료로 활용되어 새로운 가치를 생산할 수 있는 자료로 활용가능하다.

6. 결론

본 연구는 부산항지역의 조위를 관측하여 법규에서 정하고 있는 통항높이 제한을 재조정하고, 통항에 대한 판단을 과학적으로 결정 할 수 있도록 하였으며 이리

한 결론을 얻기 까지 진행된 사전자료의 취득과 분석 및 예측에 대한 부분은 실효성이 있다고 판단다. 본 연구에서는 외부적 환경과 지역적인 특성에 대하여 구체적인 연구를 수반하진 않았지만 현장에서 현실적으로 통항을 결정할 수 있도록 2분 단위의 실시간 조위 관측을 통하여 통항에 따른 예측정보를 서비스하도록 시스템을 구축하였다. 따라서 부산항대교의 통항에 따른 법률적인 재검토와 아울러 실사용자의 통항에 따른 의사결정을 도울 수 있도록 하였다.

본 연구의 공간적인 제한은 부산항대교 인접지역에 국한하였고, 시간적으로는 본 연구기간에 해당되는 12개월간의 관측에 따른 자료분석에 의하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, GPS에 의한 교량하단부에 대한 높이측정 값과 해수면 높이에 의한 분석결과 부산항대교 교량하단부 중앙부의 수면상 통항가능 높이는 최소 66.0m에서 최대 67.5m로 나타났다. 따라서 통항의 경우 최소 규정을 적용하여 66.0m미만으로 제한하는 것이 바람직하다고 판단한다.

둘째, 연구기간 중 일간/주간 및 월간 변화에 따른 파고의 최대 및 최소값의 변화는 1.425m로 나타났다. 이점은 부산항에 대한 기술적인 융통성에 따라서 제한규정의 설정에도 불구하고 인위적인 판단에 따라서 통항높이를 더 높게 설정하여(임의적 판단) 의사결정을 할 수 있다.

셋째, 관측된 조위성과를 토대로 통항에 대한 의사결정을 실시간 도울 수 있도록 모바일 앱(App, 부산항대교 수면상높이)을 개발하여 다수의 이용자에게 서비스하며 단기간 통항높이 예측에 대한 부분도 신뢰할만한 수준이다.

뿐만 아니라 부산항대교 인근지역에 위치한 부산 영도지역에 있는 국립해양조사연구원의 조위관측성과와 동기화 및 교차 결과 해수면변화에 따른 조위변화 패턴이 상호 일치하는 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

“본 연구는 부산항대교 통항높이 모니터링 체계구축 목적으로 LX한국국토정보공사와 부산항만공사의 연구협약에 의해 진행되었습니다.”

참고문헌

References

- Simonson AE, Riley B. 2015. *Measuring Storm Tide and High-water Marks Caused by Hurricane Sandy in New York, In response to Hurricane Sandy, personnel from the U.S. Geological Survey (USGS)*. pp.7-19.
- Behrens R. 2013. *Historical Storm Surges on Long Island During Extreme Weather Events*. Stony Brook University, Stony Brook, Research Project. p. 44.
- Busan port authority. 2007. Design height of Busan HarborBridge [Internet]. [http://www.bukhangbr.com/intro/intro_03.php]. Last accessed 10 October 2016.
- Fanelli C, Fanelli P, Wolcott D. 2013. *NOAA water level & meteorological data report, Hurricane Sandy*. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service Center for Operational Oceanographic Products and Services. p. 62.
- Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2010. *High-rate local sea level monitoring with a GNSS-based tide gauge*. 2010 IEEE International (25-30 July 2010).
- Roberts GW. 2006. GPS measurements on the London Millennium Bridge. *Bridge Engineering* 159(4):153-161.
- Hani N. 2002. Evaluation of Bridge Scour Monitoring

- Methods, *Journal of Bridge Engineering*, 2:112 - 120.
- Casas JR . 2003. Fiber Optic Sensors for Bridge Monitoring, *Journal of bridge engineering*, 8(6): 21-33.
- National Geographic Information Institute. 2007. National reference point(Bench Spot) performance announcement [Internet]. [https://www.ngii.go.kr/kor/board/view.do?rbsIdx=44&key=%EC%88%98%EC%A4%80%EC%A0%90&keyField=search1&page=10&idx=1231]. Last accessed 10 October 2016.
- National Geographic Information Institute. 2014. National reference point (integration point) performance announcement [Internet]. [http://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/gnss/dataDownload.do]. Last accessed 10 October 2016.
- U.S. Geological Survey Water-Data Report. 2009. Water Year 2009 [Internet]. [http://wdr.water.usgs.gov/wy2009/pdfs/01303000.2009.pdf]. Last accessed 01 August 2014.
-
- 2017년 10월 10일 원고접수(Received)
 2017년 11월 21일 1차심사(1st Reviewed)
 2017년 12월 7일 2차심사(2nd Reviewed)
 2017년 12월 8일 게재확정(Accepted)

초 록

현재 부산항대교 아래를 통과할 수 있는 선박의 높이는 60m 이하로 제한되어 있어, 60m 이상의 대형 선박은 부산항 국제여객터미널을 이용하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 60m 이상의 대형 선박의 안전한 교량 통과를 위하여 해수면 변화에 의한 교량 높이 변화를 지속적으로 측정하고, 이를 실시간으로 제공하는 서비스를 개발하였다. 고정밀 레이저거리측정기, GPS 센서, 광모듈, 댐핑구조물로 구성된 계측시스템을 통하여 해수면 변화에 따른 교량 높이 변화를 측정하고, 측정된 정보는 클라우드 기반의 모바일 앱을 통하여 실시간 제공된다. 또한 통항 지원 및 높이제한 변경을 위한 객관적 교량 높이 자료를 확보하기 위하여 관측데이터를 분석하고 예측모형을 도출하였다. 결과적으로 이번 연구의 결과는 부산항대교의 통항높이 규칙을 60미터에서 63미터로 개정하는데 객관적인 근거자료가 되었다.

주요어 : 교량 높이 계측시스템, GPS, 광모듈, 클라우드, 실시간 모바일 앱 서비스