



## 반발경도법을 이용한 LNG 저장탱크 콘크리트의 압축강도 추정식 개발

†김정훈 · 김영구 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2016년 7월 28일 접수, 2017년 6월 5일 수정, 2017년 6월 7일 채택)

### The Development of Compressive Strength Estimation Equation for LNG Storage Tank using Rebound Hardness Method

†Jung-Hoon Kim · Young-Gu Kim · Young-Do Jo

Institutes of Gas R&D, Korea Gas Safety Corporation, Eumseong, 369-811, Korea

(Received July 28, 2016; Revised June 5, 2017; Accepted June 7, 2017)

#### 요약

LNG 저장탱크의 외조 콘크리트는 방호벽 기능을 하는 프리스트레스 콘크리트 구조물이다. 콘크리트 구조물이 열화가 되어 안전성이 확보되지 않는 경우 구조물 붕괴 등의 위험성이 존재하게 된다. 정밀안전진단시 비파괴검사로 반발경도 및 초음파 속도 측정을 통해 구조물의 안전성과 직접적으로 관련되어 있는 콘크리트 압축강도를 추정식으로 예측할 수 있다. 그러나, LNG 저장탱크는 비파괴검사 데이터와 실제 압축강도에 대한 추정식이 부재하다. 이 연구는 LNG 저장탱크에 대해 보다 정확한 실제 강도를 측정하기 위해 Pilot LNG 저장탱크 벽체로부터 코어를 채취하였다. 코어를 채취하기 전 해당위치에 일반적인 비파괴시험 방법인 반발경도 검사를 4개의 다른 영역에 각 3군데 위치에서 이루어졌다. 채취한 콘크리트 코어에 대해 압축강도 시험결과와 실제 압축강도 데이터와 반발경도 데이터를 이용하여 LNG 저장탱크의 압축강도 추정식을 개발하였다.

**Abstract** - Outer tank concretes of LNG storage tank are composed of prestressed concrete structures that act as a protective wall. The danger such as the collapse of structures will exist if concrete structures is not secured due to the deterioration. Concrete compressive strength directly related to the safety of structures can be predicted by using estimation equation of compressive strength through rebound hardness test and ultrasonic wave velocity method. But, there is no the estimation equation of LNG storage tank for a relation between NDT data and real strength. In this study, to obtain more accurate real strengths for LNG storage tank, core specimens were sampled from walls of pilot LNG storage tank. The rebound hardness test of general NDT for concrete structures was carried out at each 3 positions for the four areas. The compressive strength estimation equation of LNG storage tank was developed by using the data for rebound hardness test of pilot LNG storage tank and compressive strength test of sampled concrete cores.

**Key words** : LNG storage tank, compressive strength estimation equation, rebound hardness method, concrete structures

#### 1. 서론

콘크리트는 오랜시간 동안 큰 발전을 거듭하여

왔으며 특히 다른 재료에 비하여 획기적인 변화가 있었다. 즉 과거에는 불가능하다고 여겨졌던 유동성의 획기적인 증진, 초고강도 콘크리트의 개발 및 고강도 콘크리트의 실용화, 각종 열악한 외부 환경에 저항할 수 있는 고내구성 콘크리트의 개발 등 수많은 성능 개선이 이루어졌다. 하지만, 고강도 콘

†Corresponding author:jhkim223@kgs.or.kr  
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

크리트로 시공되는 LNG저장탱크는 해양환경과 같은 외부환경에 노출되어 염해 및 탄산화 등의 열화가 발생되고 노후화 되면서 콘크리트 강도는 저하되게 된다. 콘크리트 구조물에 대해 유지관리시 설계기준 압축강도를 확보하는지 확인해야 한다 [1].

LNG 저장탱크 정밀안전진단 시 반발경도 및 초음파 속도를 측정하여 콘크리트 압축강도를 추정할 수 있지만, LNG저장탱크의 구조적 특성이 반영된 압축강도 추정식이 부재하여 비파괴시험 결과로부터 예측할 수 있는 모델식이 필요하다.

반발경도법 및 초음파법의 적용은 구조물 내의 상대적 강도변화를 추정하거나 건전도를 추정할 때 사용하는 것으로, 코어시험 없이 이를 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 것은 적합하지 않다.

현실적으로 기존 구조물에 대해서 많은 코어시험을 하기가 쉽지 않기 때문에 콘크리트 공시체를 추가적으로 이용하는 방안을 이용할 수도 있지만 코어시험체 방법 보다는 정확성이 떨어진다 [2].

대부분의 비파괴 시험법으로 제안된 콘크리트 강도 추정식들은 주로 실내 시험으로 연구되어져 복잡하고 다양한 구조로 이루어진 현장 구조물에 기 제안된 콘크리트 강도 추정식을 직접 적용하는 것은 각 제안식의 적용 조건과 기존 구조물의 각종 영향 인자들에 의하여 실제 값과 측정치가 일치되지 않는 경우가 있다. 실제로 현재 가장 보편적으로 이용하고 있는 반발경도법도 기존 콘크리트 구조물의 여러 영향인자에 의해 그 변동성이 매우 커서 실제 강도를 정확히 추정하는데 어려움이 있다고 지적되고 있다[1-3].

설계기준강도에 기초하여 결정된 배합강도에 따라 시공된 콘크리트의 실제 압축강도에 대한 불확실성은 실제 구조물에서 코어 시험체를 채취하여 강도시험을 하는 경우 제거할 수 있다.

이 연구에서는 Pilot LNG 저장탱크 벽체에 대해 코어 채취, 압축강도시험 및 반발경도시험을 통해 얻은 데이터를 이용하여 회귀분석을 통해 압축강도를 추정할 수 있는 모델 식을 개발하였다.

## II. 기존 압축강도 추정식 현황

미국, 일본 등 선진국에서는 고강도 및 초고강도 콘크리트에 대한 연구를 바탕으로 고강도콘크리트 구조물에 대한 강도 및 내부탐사를 위하여 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도 추정식 연구를 수행하였다.

LNG저장탱크 외조에 사용하는 콘크리트는 압축강도가 30 MPa 이상인 고강도 콘크리트를 사용하

**Table. 1.** Existing compressive strength prediction equations of rebound hardness [6]

기관/연구자	추정식(MPa)	비고
권영웅 외	$F_c = 2.304R - 38.80$	고강도
과학기술부	$F_c = (15.2R - 112.8) \times 0.098$	
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R$	일반강도
동경건축재료 검사소	$F_c = (10R - 110) \times 0.098$	
일본건축학회	$F_c = (7.3R + 100) \times 0.098$	
US Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R + 0.0932R_0^2) \times 0.098$	
木村	$F_c = (9.37 \times (0.987)^t R + (1.3t - 109)) \times 0.098$	

고 있다. Table 1은 기존에 사용되고 있는 반발강도 압축강도 추정식으로 크게 고강도와 일반강도로 분류하고, 고강도의 경우가 반발경도법을 통한 강도 평가가 기존 보통강도 콘크리트에 비하여 낮은 값을 보이고 있는 것으로 알려져 있다. LNG 저장탱크 콘크리트 벽체의 경우 대부분 설계기준강도를 40 MPa이상으로 설계되어 시공되고 있으며 이 연구에서 활용한 Pilot LNG 저장탱크 벽체의 설계기준강도는 일반강도보다 큰 35 MPa로 고강도 콘크리트이다.

LNG저장탱크와 관련된 추정식은 국내에서 개발된 권영웅 외 [4]와 과학기술부 [5]에서 개발된 추정식이 현재 LNG저장탱크에 이용되고 있다. 반발경도법의 결과 값을 두 개의 추정식에 대입하여 각각의 압축강도 값을 평균하여 추정하고 있다. 비파괴시험에 의한 강도 추정식은 시멘트 종류, 사용골재의 암질, 굵은골재 최대치수, 콘크리트 배합비 및 구조적 특성 등 다양한 인자의 영향을 받으므로 모든 콘크리트에 적합한 강도 추정식을 제시하는 것이 현실적으로 어려움이 있다. LNG저장탱크에 적용되고 있는 두 추정식은 적합하지 못하고 사용하고 있는 실정이다. 권영웅 외 식은 콘크리트 구조체를 제작하고 초기 재령에 따라 3개씩 총 24개에 대해서 반발도시험과 코어시험강도시험을 수행한 결과로 얻은 것이다 [4]. 과학기술부 식은 공시체 18개 제작을 통해 압축강도 추정식을 개발하였다 [5].



Fig. 1. The front view of pilot LNG storage tank

### III. 추정식 개발 대상 LNG 저장탱크 개요

Pilot LNG 저장탱크는 실험용 저장탱크로 국산화된 소재와 설계기술이 적용되어 2001년 12월에 완공하였고 현재 정상운전 중에 있다[7].

추정식 개발 대상인 Pilot LNG 저장탱크는 한국가스공사의 인천 LNG생산기지 내에 건설되었으며, 멤브레인 내조와 단열재 그리고 프리스트레스 콘크리트 외조로 구성되어 있다. 저장탱크의 내조반경은 6.88m이고 콘크리트 외조의 내부반경은 7.09m로, 내조와 외조 사이에 21cm두께의 단열재가 있으며 외조벽체의 두께는 60cm, 바닥슬래브 두께는 70cm이다 [8]. 저장탱크의 탱크의 전경은 Fig.1과 같고 LNG 저장탱크 콘크리트 강도 추정의 세부 대상은 외조 벽체이다.

### IV. 콘크리트 압축강도 예측을 위한 반발경도법

콘크리트의 강도평가 방법은 코어채취에 의한 국부적인 파괴방법과 비파괴방법으로 구분할 수 있다. 비파괴방법 중 우리나라에서 널리 쓰이고 있는 방법은 표면반발경도법과 초음파속도법 및 두 가지를 동시에 이용하는 복합법 등이 있다.

이 연구에서는 비파괴 방법 중 보편적으로 사용되는 반발경도법을 이용하여 측정하였다. 콘크리트의 표면 경도를 측정하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다. 사용된 기기는 Proceq 제조 회사의 NR형의 반발경도 측정기를 사용했으며, 측정 전에 기기의 정도를 확인하여 반발경도 값을 보정하였다.

인천기지에서 운영되고 있는 Pilot LNG 저장 탱크 외조 벽체에 대해서 정북 방향을 0°로 해서 90°씩 구분한 위치인 4개의 다른 영역에 각 3군데 위치에서 반발경도 시험을 실시하였다 [9]. Fig. 2는

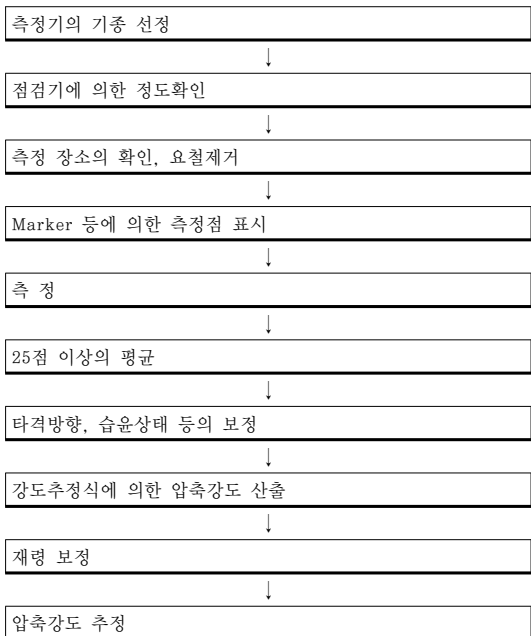


Fig. 2. Calculation method of compressive strength using rebound hardness

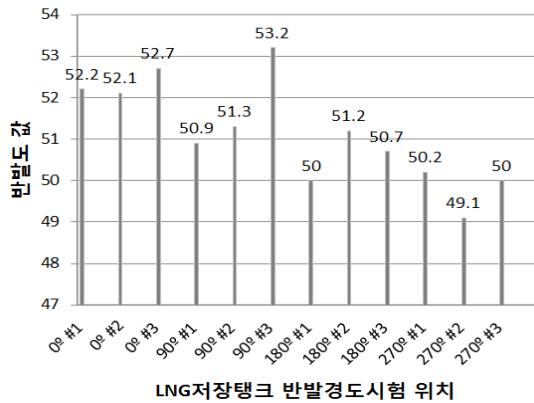


Fig. 3. Measured rebound hardness values according to four positions of rebound hardness test

반발경도를 이용한 압축강도 추정 방법을 설명하는 순서도이다.

Fig. 3은 정북방향 0°, 90°, 180° 및 270°의 위치에서 각 3군데 위치에 대해서 반발도 시험을 수행하여 얻은 반발도 값이다. 1 군데의 위치에서 25점 타격을 하여 평균값을 얻고 타격방향, 습윤상태 등을

보정하여 얻은 반발도 값이다. 반발도 값의 변동성은 비균질 재료인 콘크리트의 특성, 환경조건, 구조적 특성, 시험오차 등으로 인한 것이라고 판단된다.

### V. 콘크리트 코어 및 공시체 압축강도 시험

압축강도시험은 주로 취성재료에 적용되며, 압축 하중 시에 강도·변형특성 등을 구하기 위해 행해지는 시험이다. 금속제품 등 균질재료(homogeneity material)에는 일반적으로 압축강도와 인장강도가 균등하기 때문에 비교적 시험이 용이한 인장시험으로 하는 일이 많으며, 취약한 재료는 압축이 되면 일정한 각도의 면을 따라 전단파괴가 된다.

콘크리트의 경우에는 압축강도가 다른 강도에 비해 현저하게 크기 때문에 압축강도 시험이 중요시된다. LNG저장탱크 외조탱크와 같은 PC구조물에서도 콘크리트가 압축력을 부담하도록 설계되어 있기 때문에 콘크리트 압축강도시험이 필요하다.

코어 공시체로부터 얻은 압축강도는 코어의 형상, 크기, 수분함량 및 코어채취 작업에 의한 손상 등에 의해 영향을 받으므로 코어의 강도로부터 콘크리트의 강도를 산정할 때는 이러한 영향인자들을 고려하여 평가기준값을 산정하여야 한다. 코어의 강도에 미치는 영향인자를 직접적으로 평가할 수 있는 경우 아래의 식을 사용하여 코어의 형상, 크기, 수분함량과 코어채취 작업에 의한 영향을 고려하여 콘크리트 강도를 산정할 수 있으며 아래의 식을 통해 코어 강도의 평가 기준값을 정하였다 [2].

$$f_c = F_{h/d} F_{dia} F_{mc} F_d f_{core} \quad (1)$$

여기서  $f_{core}$  는 코어의 강도를 나타내며,  $F_{h/d}$ ,  $F_{dia}$ ,  $F_{mc}$ ,  $F_d$ 는 각각 코어의 높이/지름 비, 코어지름, 수분함량, 채취작업으로 인한 손상을 고려하기 위한 계수이다.

정확한 코어강도 산출을 위한 표준 크기는  $\phi 100 \times 200(\text{mm})$ 이지만, LNG저장탱크 구조물의 안전을 위해 최대한 작은 크기를 고려하였다.

압축강도시험시 안정적인 결과를 얻기 위해서 일반적으로 굵은 골재가 25mm인 경우 원기둥인 공시체 지름이 75mm 이상이 되어야 한다는 전문가 의견을 통해 코어 크기를 결정하였다.

철근 탐사를 이용하여 철근 간섭이 없는 벽체 부분에 대해서 코어 채취를 하였다. 압축강도추정식 개발을 위해서는 많은 코어시험편이 필요하지만 현장 여건 및 중요구조물 등의 이유로 Pilot LNG 저장탱크의 코어를 이용하였다. 콘크리트 압축강도 시험

체는 Table 2와 같이 총 12개를 채취하여 연구를 수행하였다. 하나의 구조물에 대해 시험영역 4군데와 각각 3개 코어시험체는 압축강도 추정식을 얻기 위한 최소한의 개수이다 [9].

인천기지 Pilot 탱크 벽체 코어를 이용하여 KS F 2405 [10]에 따라 공인된 시험기관에서 압축강도시험을 수행하였고, 추가로 향후 구조안전성평가시 필요한 탄성계수와 포아송비의 값을 얻기 위해 변형률 게이지를 코어에 가로 및 세로로 Fig. 4와 같이 부착하여 시험을 실시하였다.

Pilot LNG 저장탱크의 설계기준강도는 35 MPa 인데 Fig. 5에서 보여지는 것과 같이 12개의 코어 시험체 모두 설계기준 강도를 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 코어시험체의 압축강도 값의 변동성은 비균질 재료인 콘크리트의 특성, 환경조건, 구조적 특성 및 시험오차 등으로 인한 것이라고 판단된다 [11].

**Table 2.** The core specimens collected from pilot LNG storage tank

대상 구조물	위치	개수(EA)	시험체 크기
인천 Pilot LNG저장탱크	벽체 콘크리트	12	$\phi 100 \times 100(\text{mm})$



**Fig. 4.** The view for compressive strength test of concrete cores

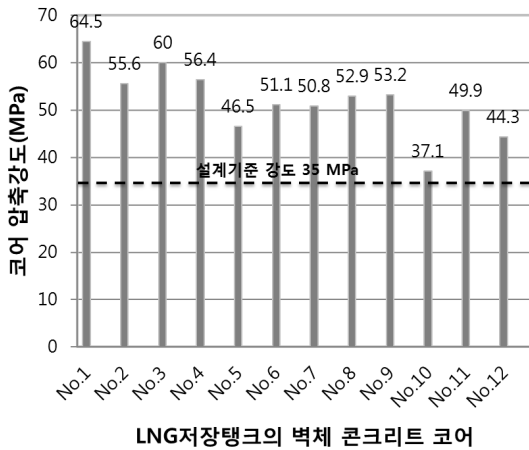


Fig. 5. Compressive strength values of wall concrete cores for pilot LNG storage tank

### VI. 콘크리트 압축강도 추정식 개발

반발경도법에 의하여 콘크리트의 반발도를 측정 한 경우 반발경도와 압축강도의 관계식을 직접 산정하여, 콘크리트 압축강도의 평가기준값을 결정할 수 있다.

- (1) 코어시험체를 이용한 압축강도 추정식 산정
  - ㉠ 대상 콘크리트 구조물의 반발경도 분포집단을 나누어 4등급으로 분류하고 코어를 채취 할 위치를 선정한다
  - ㉡ 코어를 채취할 위치에서 미리 반발경도를 측정하고 그 위치에서 코어를 채취한다.
  - ㉢ 선택된 분포집단별로 시험영역 중 4군데 이상에서 각각 3개 이상의 코어시험체를 채취하고 채취된 코어를 이용하여 KS F 2422 [12]에 따라 압축강도를 산출한다.
  - ㉣ 횡축에 반발경도, 종축에 코어강도를 대응하게 하여 이들 값을 최소제곱법을 통해 산출한다.
- (2) 압축강도의 추정
  - ㉠ 산출한 압축강도 추정식을 이용하는 경우
    - ㉡ 시험부위별 평균반발강도를 반발경도와 코어시험체에 의한 압축강도와의 상관관계식에 의하여 산출된 산정식에 대입하여 압축강도를 계산한다.
    - ㉢ 계산된 압축강도의 각 추정값을 이용하여 평가기준값을 결정한다.

인천파일럿 탱크 벽체에 대한 압축강도결과와 비파괴시험의 반발도 결과를 이용하여 압축강도 추

Table 3. Prediction equations of compressive strength for rebound hardness using regression analysis

개발추정식	압축강도 추정식(안)	결정계수
1안	압축강도= 5.123*x-179.487	0.3015
2안	압축강도= (0.583*x-0.558)*2.818	0.1587

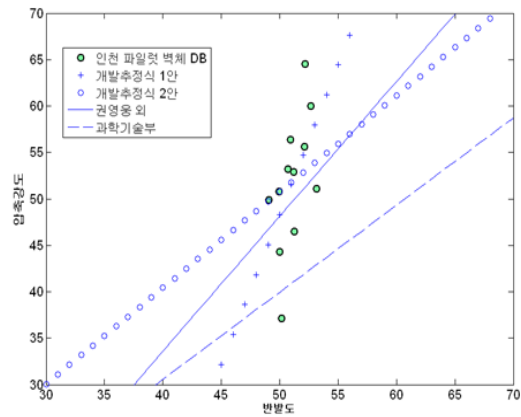


Fig. 6. Existing models and developed models of compressive strength according to rebound hardness values

정식(안)을 기준에 사용하는 두 가지 추정식 권영용 외 [4] 및 과학기술부 [5]에서 제시하고 있는 모델식을 준용하여 산출하였다.

개발추정식은 일차함수의 두 가지 형태로 1안은  $y=a*x+b$ 의 형태로 2안은  $y=(a*x+b)*c$ 의 형태로 회귀분석한 결과는 Table 3. 및 Fig. 6과 같다.

결정계수 값은 1안이 2안보다 더 크지만 기존 고강도 압축추정식의 경향성과 유사한 2안을 참고할 수 있는 식으로 판단하였고, 1안 경우의 결과는 한기의 저장탱크에 대해서 코어채취를 통해 결과를 얻었기 때문에 x방향 데이터 분포에서 반발도 값의 범위가 작기 때문에 이러한 결과가 나왔다고 판단된다.

가장 정확하게 예측할 수 있는 실제현장 코어강도 시험결과로부터 얻은 2 안을 참고할 수 있는 추정식으로 사용하다가, 향후에 추가 코어시험이 가능할 때 추정식(안)을 업데이트하여 보다 신뢰도 높은 압축강도 추정식을 개발할 필요가 있다.

Fig. 7의 반발경도시험 데이터 분포는 2014년~

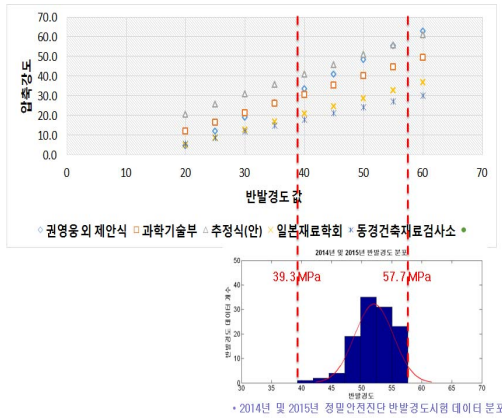


Fig. 7. Comparison for existing models, developed models and data distribution of field rebound hardness

2015년 동안 LNG저장탱크에 대해서 실시한 반발경도시험 데이터 분포(최소 39.3, 최대 57.7)이다. 인천 12기, 평택 7기, 통영 4기 및 광양 1기의 총 24기의 데이터이며 바닥 슬래브와 벽체 부분에 수행한 데이터이다.

Fig. 7은 압축강도 기존 추정식 곡선, 개발된 추정식 곡선 및 실제 저장탱크 반발경도 데이터 분포 범위를 비교하여 보여주고 있다. 정밀안전진단의 반발경도시험 데이터 값의 점선 범위에서 각 LNG 저장탱크는 재령보정계수에 따라 압축강도 값의 변화가 있지만 모든 식은 기울기는 동일하고 수직방향으로 같이 변화하기 때문에 상대적 비교가 가능하다. 그래프에서 추정식(안)이 실제 유효 반발경도 데이터 범위의 반발경도 값(x값)에 대해서 추정강도가 다른 식들의 압축강도를 보다 크게 예측하거나 유사한 것을 알 수 있다. 실제 코어 압축강도 시험에서도 설계기준강도보다 평균값이 크게 상회하고 실제유효 반발경도 데이터 범위에서 기존 추정식보다 크다는 것을 확인했을 때 합리적인 결과라고 판단된다.

기존에 사용되었던 고강도 추정식은 초기재령에서 많지 않은 개수의 공시체 강도와 시험 구조체의 코어강도로 산출된 식이다. 하지만, 이 연구에서는 약 15년이 된 실제 구조물 Pilot LNG저장탱크에 대해서 코어를 채취하여 수행한 연구결과로 현재시점에서 LNG저장탱크 콘크리트의 압축강도를 예측하는데는 가장 신뢰도가 높다고 판단된다. 따라서, LNG 저장탱크 정밀안전진단에 비파괴시험을 할 때 개발한 압축강도식을 다른 기존 고강도 압축강

도 추정식과 함께 참고용으로 활용할 수 있을 것이라 사료된다.

신뢰도가 향상된 압축강도 추정식 개발을 위해서는 향후에 코어시험체를 추가 확보하여 개발된 추정식을 업데이트 할 필요가 있다고 판단된다. 이를 위해서 2015년부터 시공 시 추가 시험 공시체를 확보하여 동일한 환경에 배치하여 관리하고 있다.

## VII. 결론

인천기지 Pilot LNG저장탱크 벽체에 대해서 압축강도 추정식을 반발경도 시험 데이터와 압축강도 데이터를 이용하여 회귀분석을 통해 개발하였다.

압축강도시험은 인천기지 과일렛탱크에 대해 코어를 채취하여 시험을 실시하였다. KS F 2405에 따라 공인된 기관에서 압축강도시험을 수행하였고, 추가로 향후 구조안전성평가시 필요한 탄성계수와 포아송비데이터를 측정하였다. Pilot LNG 저장탱크의 설계기준강도는 35 MPa인데 12개 코어 시험체 모두 설계기준강도를 만족하는 것을 알 수 있었다.

기존에 사용하는 추정식을 고려하여 일차함수 형태의 두 가지 안에 대해 산출하였다. 결정계수 값은 1안이 2안보다 더 크지만 기존 고강도 압축추정식의 경향성과 유사한 2안을 참고할 수 있는 식으로 판단하였고, 1안 경우의 결과는 한 기의 저장탱크에 대해서 코어채취를 통해 결과를 얻었기 때문에 x방향 데이터 분포에서 반발도 값의 범위가 작기 때문에 이러한 결과가 나왔다고 판단되었다. 압축강도 기존곡선 및 추정식 개발 곡선과 실제 저장탱크 반발경도 데이터 분포 범위를 분석하여 추정식(안)의 타당성을 검토하였다.

향후에 추가 코어시험이 가능할 때 추정식(안)을 업데이트하여 보다 신뢰도 높은 압축강도 추정식을 개발할 것이다. 콘크리트의 실제 압축강도에 대한 불확실성은 코어 시험체 강도시험을 통해 제거할 수 있지만 시험체의 대표성 문제 및 시험법의 신뢰도 문제 등 여러 문제가 있기 때문에 실제 구조물의 많은 코어 강도시험 데이터가 확보되어야 보다 정확한 강도예측이 가능할 것이라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 플랜트기술고도화사업 LNG 플랜트사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.



## REFERENCES

- [1] Hong, S.U., Cho, Y.S., "A Study on the Estimation of the Compressive Strength of Concrete Structures using Ultrasonic Pulse Velocity Method and Rebound Hardness Method", *Architectural Institute of Korea*, 27(1), 19-26, (2011)
- [2] Korea Concrete Institute, *The Safety Evaluation standard and Example Books of Existing Concrete Bridges*, (2010)
- [3] Kim, M.H., Choi, S.J., Kang, S.P., Kim, J.H., Jang, J.H., "A Study on the Application of Non-Destructive Testing Equation for the Estimation of Compressive Strength of High Strength Concrete", *The Korea Institute of Building Construction*, 2(3), 123-130, (2002)
- [4] Kwon, Y.W., Park, S.C., Kim, M.S., "Strength Prediction Equations for High Strength Concrete by Schmidt Hammer Test", *Korea Concrete Institute*, 18(3), 389-395, (2006)
- [5] Ministry of Education and Science Technology(MEST), *Development of Strength Evaluation Techniques of Concrete Structures by Nondestructive Test*, Development of Precise Safety Diagnosis Techniques in Large Sized Structure, (1998)
- [6] Oh, K.J., "Technology Introduction of Nondestructive Test and Evaluation for Concretes", Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, *Infrastructure Safety*, 34, 75-86, (2009)
- [7] Lee, K.W., Kim, Y.K., Hong, S.H. and Kim, J.H., "Dynamic Experiment for Mode Shape of Pilot LNG Storage Tank", *KIGAS*, 7(3), 18-23, (2003)
- [8] Kim, Y.K., Oh, B.T., Yoon, I.S., Kim, J.H., Kim, S.S. and Hong, S.H., "The Measurement of Membrane Deformation Behavior in Kogas Pilot LNG Storage Tank by the Use of Mechanical/Electrical Sensor", *KIGAS*, 7(3), 13-17, (2003)
- [9] Korean Agency for Technology and Standards, *Testing Method for Rebound Number to Conclude Compressive Strength of Concrete*, KS F 2730, (2008)
- [10] Korean Agency for Technology and Standards, *Testing Method for Compressive Strength of Molded Concrete Cylinders*, KS F 2405, (2005)
- [11] Oh, K.J., "Technology Introduction of Nondestructive Test and Evaluation for Concretes", Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, *Infrastructure Safety*, 34, 75-86, (2009)
- [12] Korean Agency for Technology and Standards, *Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*, KS F 2422, (2007)