



## LNG 저장탱크 구조물의 종합적 상태평가기준 개발

†김정훈 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2018년 10월 16일 접수, 2018년 12월 4일 수정, 2018년 12월 5일 채택)

## A Development of Representative Condition Evaluation Standard for LNG Storage Tank Structures

†Jung-Hoon Kim · Young-Do Jo

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

*(Received October 16, 2018; Revised December 4, 2018; Accepted December 5, 2018)*

### 요 약

LNG저장탱크가 노후화 됨에 따라 외벽 콘크리트에 균열, 철근부식 등 결함이 발생할 경우, 손상 종류 및 정도에 따라 구조물의 붕괴 등 대형사고 발생 위험이 존재하게 된다. LNG저장탱크는 2014년부터 정밀안전진단이 시작 되어 안전점검이 수행되고 있으며, 부재별 상태평가기준은 2016년 1월에 개정되어 적용하고 있다. 상태평가는 액화천연가스 저장탱크에 대한 외관 조사 및 재료시험 결과를 바탕으로 저장탱크에 대한 상태를 평가하는 것을 말하는 것으로 유지관리에 있어서 중요하다. 또한 각각의 LNG 저장탱크 대표상태를 나타내는 종합적 상태평가기준이 유지관리 시 중요하지만, LNG저장탱크 외주 콘크리트에 대한 관련 기준이 국내·외에 부재하여 상태평가 기준 개발 필요하다. 이 논문에서는 LNG 저장탱크 구조적 특성 검토, 부재별 상태평가 기준 현황 분석, 부재별 가중치 부여를 통한 종합적 상태등급 산정 방안을 수립하였다. 부재별 가중치 산출은 AHP(Analytic Hierarchy process)기법을 이용하고 전문기관의 설문조사 등을 통해 종합적 상태평가 기준을 개발하였다.

**Abstract** - As the LNG storage tank is aged, if there is a crack in the outer LNG wall concrete or corrosion of the reinforcing steel, there is a risk of a major accident such as collapse of the structure depending on the type and degree of damage. Since 2014, LNG storage tanks have undergone precise safety diagnosis and safety inspection has been carried out. The condition evaluation criteria for each component have been revised and applied in January 2016. The condition evaluation standard is to evaluate the status of storage tanks based on the appearance survey and material test results of LNG storage tanks and it is important for maintenance. In addition, the representative condition evaluation standard that shows the comprehensive state of each LNG storage tank is important in maintenance, but the related standard for LNG storage tank outer concrete is not available in Korea and abroad, and development of the condition evaluation standard is necessary. In this paper, we examined the structural characteristics of LNG storage tanks, analyzed the status of the condition evaluation criteria for each member, and developed a comprehensive status rating system by weighting the members. We used the AHP(Analytic Hierarchy Process) technique and developed a representative condition evaluation criteria through surveys of professional organizations.

**Key words** : LNG storage tank structures, representative condition evaluation standard, analytic hierarchy process, weight analysis

†Corresponding author:jhkim223@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

한국은 세계 2위의 LNG 수입국이고 또한 LNG 저장탱크 보유국으로 2018년 기준 약 80기의 LNG 저장탱크가 운전 중에 있다. LNG 저장탱크는 사고 시 대용량(10~27만kl) 가연가스의 누출로 대형 화재·폭발 위험성이 상존한다. 주요 사례로 미국 클리블랜드 탱크 누출 사고(1944년)로 131명 사망 및 225명 부상의 피해가 발생하였다.

LNG 기술과 관련된 선진외국의 LNG 저장탱크는 적절한 건전성평가 및 잔여수명평가 기법을 개발하여 적용함으로써 탱크 재건설에 따른 경제적 비용 절감 효과를 거두어 국가기간 설비의 효용증대를 거두고 있다[1-6].

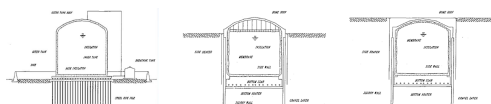
LNG저장탱크 외벽 콘크리트에 균열, 철근부식 등 결함이 발생할 경우, 손상 종류 및 정도에 따라 구조물의 붕괴 등 대형사고 발생 위험이 존재하게 된다. LNG산업의 핵심설비인 LNG 저장탱크는 1986년 상업운전 이후 노후화 되는 저장탱크 수가 증가함에 따라, LNG저장탱크는 2014년부터 정밀안전진단이 시작 되어 안전점검 수행이며, 부재별 상태평가기준은 2016년 1월에 개정되어 적용하고 있다.

각각의 LNG 저장탱크 대표상태를 나타내는 평가기준이 유지관리 시 중요하지만, LNG저장탱크 외벽 콘크리트에 대한 관련 기준이 국내·외에 부재하여 상태평가 기준 개발이 필요하다. 이 논문에서는 LNG 저장탱크 구조적 특성 검토, 부재별 상태평가 기준 현황 분석, 종합적 상태등급 산정 방안으로 AHP 기법 선정, 전문기관의 설문조사 등을 통해 종합적 상태평가 기준을 개발하였다.

## II. LNG 저장탱크의 구조적 특성

### 2.1 LNG 저장탱크의 위치 및 형식에 따른 특성

LNG 저장탱크 위치에 따라 지상식 저장탱크, 지중식 저장탱크 및 지하식 저장탱크로 Fig. 1과 같이 분류한다. 상태평가는 육안으로 구조물의 손상이나 결함을 평가하는 것으로 외면이 확인 가능해야 하므로 이 연구에서는 지상식, 지중식 저장탱크를 고려하게 된다.



a) Above-ground      b) In-ground      c) Under-ground

Fig. 1. Classification according to tank positions

LNG 저장탱크는 지상에 설치되는 고상식과 지상식(저부가열식)이 있고 지중에 설치되는 지중식으로 구분 할 수 있다. Fig. 2는 고상식으로 외조 저장탱크의 상태평가 대상의 주요 부재는 지붕, 벽체, 바닥판, 탱크받침, 페데스탈, 기초 및 콘크리트 내구성으로 구분되며 각 부재의 특성은 그림에 표시하였다.

Fig. 3은 지상식(저부가열식)으로 외조 저장탱크의 상태평가 대상 주요 부재는 지붕, 벽체, 바닥판, 기초 및 콘크리트 내구성으로 구분된다. Fig. 4는 지중식으로 외조 저장탱크의 상태평가 대상 주요부재는 지붕과, 지상으로 일부 노출된 벽체, 기초 및 콘크리트 내구성으로 구성된다.

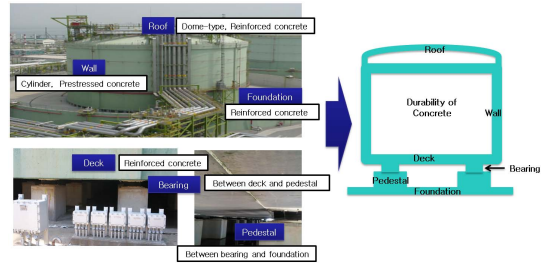


Fig. 2. Above-ground of LNG storage tank(Elevated concrete base)

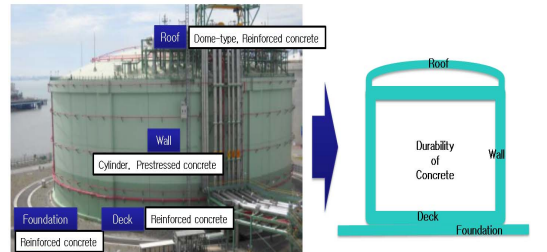


Fig. 3. Above-ground of LNG storage tank(Base heating)

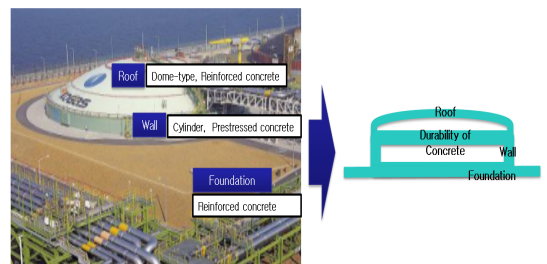


Fig. 4. In-ground of LNG storage tank

**Table 1.** Application range of condition rating for members of LNG storage tank

Classification of members		Application range
Upper Structure	Roof	a, b, c, d, e
	Wall	a, b, c, d, e
	Deck	a, b, c, d, e
Lower Structure	Pedestal	a, b, c, d, e
	Foundation	a, b, c, d, e
Bearing	Bearing	a, b, c, d, e
Concrete Duability	Carbonation, Chloride	a, b, c, d

**2.2 LNG 저장탱크의 부재별 상태평가 기준 현황**

외조콘크리트 부재는 복합적 요인(콘크리트 열화, 부식, 크리프, 건조수축 및 피로, 환경 등)의 영향을 받고 부재의 재료, 구조적 특성 등에 따라 상이하게 상태변화가 발생하기 때문에 부재별 상태평가 기준이 개발되어 2016년 1월에 개정되어 적용 되고 있다.

LNG 저장탱크 형식별 구성 부재들의 표준화를 통해 다수의 대상 탱크에 대한 방대한 정보처리 체계적인 관리 및 분석을 수행할 수 있다.

부재별 상태평가 기준은 상부구조, 하부구조, 받침 및 기타부재로 분류하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하였다.

LNG저장탱크의 안전에 직접적인 영향을 미치는 지붕, 벽체, 바닥판, 페데스탈, 기초 및 탱크받침은 a~e 범위를 Table 1과 같이 적용하였다. 내구성에 영향을 미치는 콘크리트 재료의 열화 관련 탄산화 및 염화물은 a~d 범위로 하였다 [7]. a등급에서 e등급으로 일수록 상태가 좋지 않은 것을 의미한다.

**III. LNG저장탱크의 종합적 상태등급 산정 기법 개발**

**3.1 종합적 상태등급 산정 기법 개발 방안**

LNG 저장탱크에 대한 부재별 상태데이터를 이용하여 하나의 저장탱크에 대한 대표 상태등급을 산정하는 것은 유지관리시 효율적이며 안전관리에 유용하다.

토목구조물의 대표 상태등급 산정하는 방법에 대해서 검토를 한 결과 구조물 형상이 하나인 경우(터널, 옹벽 등)는 각 평가단위를 구분하여 산술평

균과 합계를 이용한다.

토목구조물 중 여러 부재로 구성되는 경우(건축물, 교량 등)는 부재의 중요도를 고려하여 전체 구조물에 대한 대표 상태평가 등급을 산정하는 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 LNG 저장탱크의 경우도 여러 부재로 구성되어 있는 구조물로 부재의 중요도(가중치)를 고려하여 종합적 상태평가를 하는 연구방향으로 설정하였다.

**3.2 부재별 가중치 산정을 위한 계층적 분석 과정 방법**

LNG 저장탱크의 종합적 상태평가를 위해서 부재의 가중치를 고려하는 방안으로 수행하는데 있어서 장애요소들이 다음과 같다.

- 숫자의 오용 및 가중치 도출의 어려움
- 상이한 척도의 통합의 어려움
- 정량적 요소와 정성적 요소의 통합의 어려움
- 인식 능력 및 정보처리능력의 한계
- 그룹 의사결정 도출의 어려움

이러한 문제점을 개선하여 가중치를 도출 할 수 있는 방법은 AHP(Analytic Hierarchy Process)가 있으며 이 방법을 적용하였다. AHP는 사전적 의미는 “계층적 분석 과정/방법”으로 어떤 것을 구성요소로 나누어 각 요소의 중요도 및 상호관계에 따라 계층구조를 정리하여 어떤 결과를 가져오는 기능을 의미한다.

1970년 대에 개발되어 발전되면서 전략 수립, 예산 배정, 위기 해결, 정책 결정, 수익/비용 분석, 인사관리 등 다양한 부문에서 활용되고 있으며 신뢰도가 검증된 방법이다. AHP기법은 Thomas Saaty가 개발한 기법으로서 전문가들의 집단 의사결정을 체계화할 수 있는 방법이며 요소들의 상대적 중요도를 쌍대 비교에 의해 측정한다

논리적 분석에 의한 문제해결의 3가지 원칙으로 계층적 구조의 설정(Hierarchies), 상대적 중요도의 설정(Priorities), 논리적 일관성의 유지(Consistency)가 있다. AHP의 주요 3가지 기능으로는 복잡한 상황의 구조화, 비율척도를 통한 우선순위(가중치) 도출, 통합 및 논리적 일관성 검증이 있다.

AHP를 이용하여 의사결정과 관련한 문제를 해결하기 위해서는 일반적으로 Fig. 5와 같이 4단계의 과정을 걸쳐 적용된다 [8].

AHP를 이용해  $A_i$ 와  $A_j$ 를 1:1로 비교하여  $ij$ 만큼의 평가값을 갖는다고 할때  $ij$ 를 비교행렬(comparison matrix)로 나타낼 수 있다. 이 때 평가값  $ij$ 는 항상 양의 값을 갖는다.  $A_i$ 가  $A_j$ 보다 높은(낮은) 평가

를 받는다면  $ij > 1 (ij < 1)$ 이 된다. 한편 동일한 대상은 같은 평가를 받기 때문에  $ii = 1$ 이다. 그리고  $A_j$ 는  $A_i$ 의  $1/ij$ 의 평가를 받기 때문에  $ji = 1/ij$ 이다. 따라서 비교행렬  $A$ 는 항상 다음과 같은 형태가 된다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix}$$

이를 바탕으로 각 항목별 점수를 부여한다. AHP 방법의 가중치를 구하는 방법은 다음과 같다. 각 변수 사이의 비교를 통해 중요도를 부여한 후 열의 합을 구한다. 이를, 열의 합을 구한 이후 각 셀의 값을 열 합계로 나눈 후 각 셀의 행 합계를 구한다. 그 다음 행 합계를 변수의 개수로 나누어 평균값을 구한다. 이렇게 나온 평균값이 변수의 가중치이다.

이렇게 도출된 가중치가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위해 일관성 지수(Consistency Index)를 계산한다. 이를 위해 행렬  $A$ 와 각 변수의 가중치를 곱한 값인  $\lambda P$ 값을 계산한다. 이렇게 계산한 각 항의 값을 각 변수의 가중치로 나눈 뒤 그 합을 합하고 평균을 계산하여 행렬  $A$ 의 최대 고유치  $\lambda_{max}$ 를 구한다. 그리고  $\lambda_{max}$ 를 이용하여 일관성 지수를 구한다.

이후 CI를 RI(Random Index)로 나누어 CR(Consistency Ratio)을 계산한다. 보통 CR이 0.1보다 작으면 일관성이 있다고 판단하고, 0.2보다 작으면 허

용 가능하다고 판단한다.

### 3.3 종합적 상태평가에 대한 계층화 구조 정의

AHP 분석을 위해서 의사결정 문제에 대해서 계층화 구조를 정의해야 한다. 요소를 중요도와 상호관계에 따라 동질적인 집단으로 군집화해야 하는 LNG 저장탱크의 경우는 저장탱크형식별 부재로 가능하다.

어떤 한 레벨에 있는 요소 모두가 인접한 상위레벨에 있는 요소와 관련 되어 있어야 한다. LNG 저장탱크는 한 레벨은 부재종류로 하고 인접한 상위레벨은 그 부재들로 구성하는 저장탱크 형식으로 선택하며 Fig. 6 ~ Fig. 8과 같이 정의 할 수 있다. 콘크리트 내구성은 탱크 형식별로 상부부재와 하부부재의 열화정도가 환경조건에 따라 다를 수 있기 때문에 Fig. 9와 같이 정의한다.

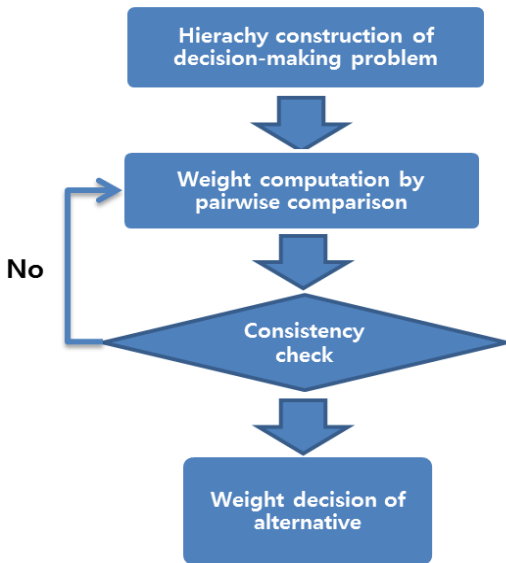


Fig. 5. Procedure of AHP analysis

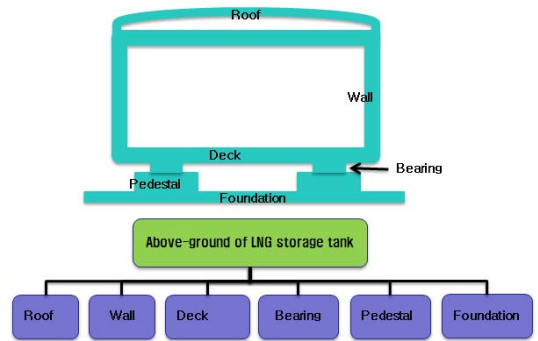


Fig. 6. Hierarchy construction for Above-ground of LNG storage tank(Elevated concrete base)

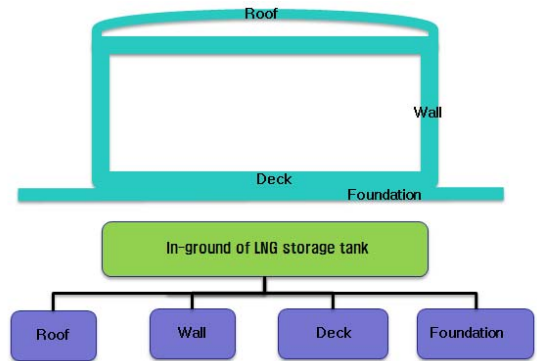


Fig. 7. Hierarchy construction for Above-ground of LNG storage tank(Base heating)

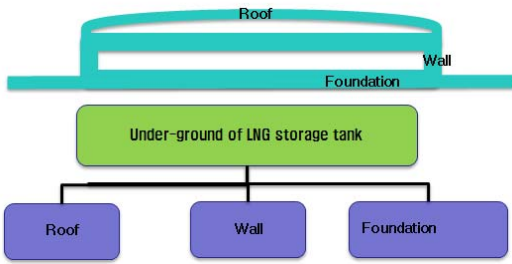


Fig. 8. Hierarchy construction for In-ground of LNG storage tank

Positions		Type	Above-ground	In-ground	Under-ground
Carbonation, Chloride	Upper		Roof, Wall	Roof, Wall	Roof, Wall
	Lower		Deck, Pedestal	Deck	-

Fig. 9. Hierarchy construction for durability of LNG storage tank

#### IV. AHP 분석을 통한 부재별 가중치 분석 결과

##### 4.1 고상식

LNG 저장탱크 고상식의 부재별 상대적 중요도를 운영체, 진단기관, 대학교 및 연구원, 한국가스안전공사 전문가들로 구분하여 결과를 Fig. 10와 같이 산출하였다. Table 2는 고상식의 전문기관 특성별 가중치 순위 결과로 주요 순위에 내구성, 바닥판, 벽체, 탱크받침 등이 있으며 이를 종합한 결과는 모든 전문가들의 의견을 통합한 부재별 중요도로 Fig. 11와 같다.

##### 4.2 지상식(저부가열식)

LNG 저장탱크 지상식(저부가열식)의 부재별 상대적 중요도를 운영체, 진단기관, 대학교 및 연구원, 한국가스안전공사 전문가들로 구분하여 결과를 Fig. 12와 같이 산출하였다. Table 3는 지상식(저부가열식)의 전문기관 특성별 가중치 순위 결과로 주요 순위에 벽체, 바닥판, 내구성, 기초 등이 있으며 이를 종합한 결과는 모든 전문가들의 의견을 통합한 부재별 중요도로 Fig. 13과 같다.

Table 2. Weight ranking results of above-ground (Elevated concrete base) according to specialized organization

Ranking	Operating organization	Diagnosis centers	Univ. and Institute	KGS
1	Durability	Durability	Wall	Deck
2	Deck	Deck	Deck	Bearing
3	Foundation	Foundation	Pedestal	Wall
4	Wall	Wall	Roof	Pedestal
5	Pedestal	Pedestal	Bearing	Foundation
6	Bearing	Bearing	Durability	Durability
7	Roof	Roof	Foundation	Roof

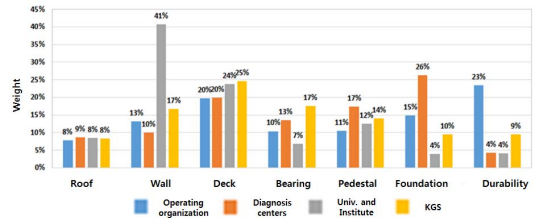


Fig. 10. Analysis results of above-ground(Elevated concrete base) according to specialized organization.

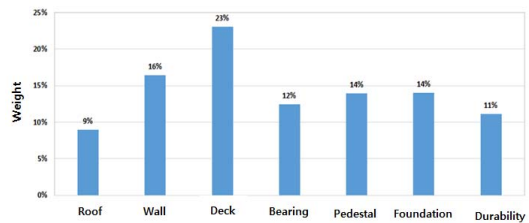


Fig. 11. Integrated weight results of above-ground (Elevated concrete base).

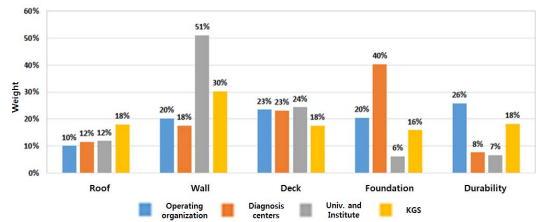
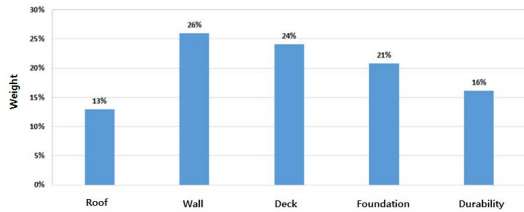


Fig. 12. Analysis results of above-ground(Base heating) according to specialized organization.

**Table 3.** Weight ranking results of above-ground (Base heating) according to specialized organization

Ranking	Operating organization	Diagnosis centers	Univ. and Institute	KGS
1	Durability	Foundation	Wall	Wall
2	Deck	Deck	Deck	Durability
3	Foundation	Wall	Roof	Roof
4	Wall	Roof	Durability	Deck
5	Roof	Durability	Foundation	Foundation



**Fig. 13.** Integrated weight results of above-ground (Base heating)

### 4.3 지중식

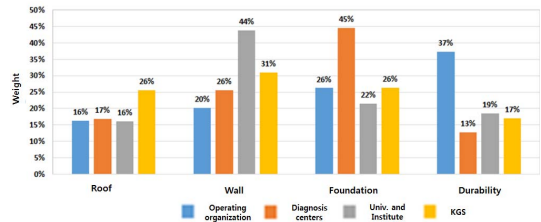
LNG 저장탱크 지중식의 부재별 상대적 중요도를 운영체, 진단기관, 대학교 및 연구원, 한국가스안전공사 전문가들로 구분하여 결과를 Fig. 14와 같이 산출하였다. Table 4는 지중식의 전문기관 특성별 가중치 순위 결과로 주요 순위에 벽체, 기초, 내구성 등이 있으며 이를 종합한 결과는 모든 전문가들의 의견을 통합한 부재별 중요도로 Fig. 15와 같다.

### 4.4 내구성

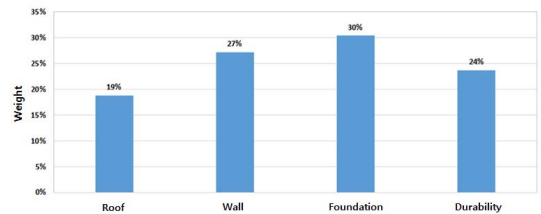
LNG 저장탱크 내구성의 부재별 상대적 중요도를 운영체, 진단기관, 대학교 및 연구원, 한국가스안전공사 전문가들로 구분하여 결과를 Fig. 16과 같이 산출하였다. Table 5는 내구성의 전문기관 특성별 가중치 순위 결과로 주요 순위에 염화물 상부 및 하부와 탄산화 하부 등이 있으며 이를 종합한 결과는 모든 전문가들의 의견을 통합한 부재별 중요도로 Fig. 17과 같다.

**Table 4.** Weight ranking results of In-ground according to specialized organization

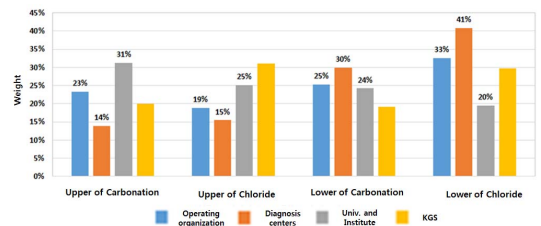
Ranking	Operating organization	Diagnosis centers	Univ. and Institute	KGS
1	Durability	Foundation	Wall	Wall
2	Foundation	Wall	Foundation	Foundation
3	Wall	Roof	Durability	Roof
4	Roof	Durability	Roof	Durability



**Fig. 14.** Analysis results of In-ground according to specialized organization



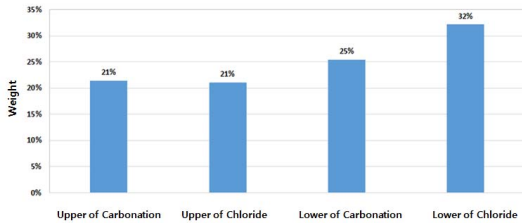
**Fig. 15.** Integrated weight results of In-ground



**Fig. 16.** Analysis results of durability according to specialized organization

**Table 5.** Weight ranking results of durability according to specialized organization

Ranking	Operating organization	Diagnosis centers	Univ. and Institute	KGS
1	Chloride for lower	Chloride for lower	Carbonation for upper	Chloride for upper
2	Carbonation for lower	Carbonation for lower	Chloride for upper	Chloride for lower
3	Carbonation for upper	Chloride for upper	Carbonation for lower	Carbonation for upper
4	Chloride for upper	Carbonation for upper	Chloride for lower	Carbonation for lower



**Fig. 17.** Integrated weight results of durability

**V. 종합적 상태평가 기준(안) 개발**

다양한 분야의 전문가 설문조사 결과를 활용하여 AHP 분석을 통한 LNG 저장탱크 형식별 부재별 가중치를 Table 6과 같이 산출하였다.

모든 LNG 저장탱크 형식의 가중치 합은 100을 기준으로 한다. 정밀안전진단시 현장여건 및 상태평가 진단 범위 등에 따라서 평가되지 않은 부재에 대해서 관련 부재에 가중치를 포함하여 종합적 상태평가를 할 수 있다. 내구성(탄산화, 염화물)의 경우 미평가시 해당 상·하부 부재들에 가중치를 균등하게 배분하여 평가를 한다.

LNG 저장탱크의 부재별 상태평가등급이 결정된 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, Table 7의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다. 한 형식의 LNG 저장탱크 각 부재 상태등급 결함도 값과 가중치를 곱하고 총합의 값이 결함도 범위에 해당하는 값으로 대표 상태등급을 매기게 된다.

**Table 6.** Weights of each member according to LNG storage tank types

Div.	Evaluation items	Above-ground (Elevated concrete base)	Above-ground (Base heating)	In-ground	
Upper	Roof	9	13	19	
	Wall	16	26	27	
	Deck	23	24	-	
Lower	Pedestal	14	-	-	
	Foundation	14	21	30	
Bearing	Bearing	13	-	-	
Concrete	Carbonation	upper	2	3	5
		Lower	2	3	5
	Chloride	upper	3	5	6
		Lower	4	5	8

**Table 7.** Criteria according to defectability range

Criteria	A	B	C	D	E
Defectability index	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
Defectability range	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

**VI. 결론**

LNG 저장탱크는 각각의 대표상태를 나타내는 평가기준이 유지관리 시 중요하지만, LNG저장탱크 외조 콘크리트에 대한 관련 기준이 국내·외에 부재하여 상태평가 기준 개발이 필요하다.

LNG 저장탱크의 구조적 특성은 주요 형식으로 고상식, 지상식(저부가열식) 및 지중식으로 구분한다. 외조 저장탱크의 상태평가 대상 주요부재는 육안으로 점검이 가능한 지붕, 벽체, 바닥판, 탱크받침, 페데스탈, 기초 및 콘크리트 내구성이다. LNG 저장탱크는 BS와 Eurocode에 의해 설계되고 있고 다양한 하중에 견디도록 설계되었기 때문에 운영 중에 이러한 설계하중에 대해서 견디도록 성능수준을 유지 및 확보하도록 유지관리가 수행되어야 한다.

국내의 토목구조물에 대해서 상태평가 기준을 분

석 및 검토를 수행하였다. 국내 기존 국내 토목구조물 상태평가기준에서 구조물 형상이 하나인 경우(터널, 옹벽 등)는 각 평가단위를 구분하여 산술평균과 합계를 이용한다. 토목구조물 중 여러 부재로 구성되는 경우(건축물, 교량 등)는 부재의 중요도를 고려하여 전체 구조물에 대한 대표 상태평가 등급을 산정하기 때문에 LNG 저장탱크의 경우 부재의 중요도(가중치)를 고려하여 종합적 상태평가를 하는 연구방향으로 설정하였다.

대표 상태등급 산정을 위한 가중치 도출의 장애요소 검토를 하고 부재별 가중치 도출 문제점에 대한 개선방향 검토를 통한 개발 방안으로 AHP가 있으며 이 방법을 적용하였다. AHP 분석을 위해서 의사결정 문제에 대해서 계층화 구조를 정의해야 한다. 요소를 중요도와 상호관계에 따라 동질적인 집단으로 군집화해야 하는 LNG 저장탱크의 경우는 저장탱크형식별 부재로 가능하다. AHP 분석을 위해서 LNG 저장탱크의 형식과 부재에 대해서 계층화 구조로 정의를 한 후 형식별 부재의 쌍대비교를 하기 위한 설문지를 개발하였다. LNG 저장탱크 운영체, 진단기관, 대학교, 연구원 및 KGS의 전문가를 상대로 설문조사를 실시하고 형식별로 전문가 특성별 및 통합 가중치 분석을 수행하였다. 비상시 LNG를 가둘 수 있는 벽체 및 바닥판 부재와 지반의 불안정으로 구조물에 손상을 입힐 수 있는 기초가 주요한 부재로 분석되었다.

AHP 분석 결과를 통해서 형식별 부재별 가중치를 설정하고 부재별 상태등급에 따른 결함도 점수 산정방안을 마련하여 종합적 상태평가 기준(안)을 개발하였다. 향후 LNG 저장탱크의 모든 형식의 부재별 상태등급 데이터가 확보된 후 개발 기준을 적용하여 결과를 검토한 후 기준 개정을 할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국가스안전공사 가스안전연구원 자체연구의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

## REFERENCES

- [1] British Standards Institution, Flat-bottomed, Vertical, Cylindrical Storage Tanks for Low Temperature Service, BS 7777, 1993
- [2] Medhat A. Haroun and George W. Housner, "Dynamic Characteristics of Liquid Storage Tanks, Journal of Engineering Mechanics Division", ASCE, Vol. 188, No. EM5, pp 783~800, 1982
- [3] ACI 201.1R, Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service, 1992.
- [4] ACI 349.3R, Evaluation of Existing Nuclear Safety -Related Concrete Structures, 1996.
- [5] Reg. Guide 1.199, Anchoring Components and Structural Supports in Concrete, US NRC.
- [6] Josef Koizser, "Liquid spill hazard investigated for LNG tanks", Engineering Forum, LNG Journal, October 2006, pp. 32~33, 2006
- [7] Choi, K.J., Seo, C.J., Kim, Y.G., Jo, Y.D. and Kim, J.H., "A Development of Condition Evaluation Standard Considering Structural Characteristic for Members of LNG Outer Storage Tanks", Journal of the Korean Institute of Gas, 21(5), 64-69, (2017)
- [8] Seong, J.H., Byun, Y.S., "A Study on the Weights of the Condition Evaluation of Rock Slope used in Entropy and AHP Method", Journal of the Korean Society of Safety, 31(5), 61-66, (2016)