

델파이 기법을 이용한 정성적 공법 선정 요인의 정량적 평가 분석

Quantified Evaluation on the Qualitative Criteria for the Selection of Appropriate Concrete Slab Form-works for Residential Buildings

이 경 석¹ 이 태 회¹ 신 영 근² 김 태 형³ 한 승 우^{1*}
Lee, Kyung-Suk¹ Lee, Tae-Hee¹ Shin, Young-Keun² Kim, Tae-Hyung³ Han, Seung-Woo^{1*}
Department of Architectural Engineering, INHA University, Nam-Gu, Incheon, 402-751, Korea¹
POSCO E&C, Songdo-Dong, Yeonsu-Gu, Incheon, 406-840, Korea²
DAEWOO E&C, Gochuk2-Dong, Guro-Gu, Seoul, 152-822, Korea³

Abstract

The form-work operation of concrete structures is a major element determining the period and cost of construction projects. However, the selection of the appropriate form-work system is dependent on the experience of the site personnel only. In this paper, existing methods (Aluminum form, Sky deck) and new slab form-work methods (AFB: Aluminum panel Form with dropping Beam) were selected. Each method was estimated by means of Delphi techniques based on the qualitative analysis data. This paper suggests an evaluation methodology of slab form-work application in construction sites by calculating qualitative evaluation scores. The methodology finding quantified scores of qualitative criteria can be available to be applied to other construction operation evaluation methods.

Keywords : Slab Form, Delphi Technique, Residential Building, Aluminum Form, Sky Deck, Aluminum Panel Form With Dropping Beam

1. 서 론

1.1 연구의 목적

골조공사는 일반적으로 전체 건축공사의 공기를 기준으로 전체 공사기간의 50%를 상회하는 가장 주요한 공사 중 하나이며, 이 중 거푸집 공사는 전체 골조공사 기간의 약 2/3의 큰 비중을 차지하고 있다[1,2,3]. 골조공사에서의 주요 공정 중 하나인 거푸집 공사는 앞서 제시한 바와 같이 골조공사, 나아가서는 전체 건축공사의 공사기간 및 공사비 측면에서 상당 부분을 차지하고 있는 실정이다. 이와 같이 전체 공중에 파급효과가 큰 거푸집 공사에서의 거푸집 시스템의 선정은 공사원가 절감, 생산성 증가, 안전사고율 저감 등

건설관리 측면에서 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 하지만 공사현장의 조건을 고려한 거푸집의 적정시스템 선정은 현재까지도 현장실무자의 경험에만 의존하고 있는 실정이며, 선정에 대한 구체적이며 객관적인 기준의 제시 또한 극히 미흡한 상황이다[4].

따라서 건설현장에 적합한 거푸집 공법을 선정함에 있어, 선정 요인을 체계적으로 분석하고 이를 정량화할 수 있는 방안의 제시가 필요하다. 정량화 방안에 있어서는 슬래브 거푸집 공법의 각기 다른 성능들을 평가하고 이에 대한 결과치가 평가결과에 고려되어야 한다. 또한, 실적자료가 부족한 거푸집 관련한 신공법과 기존 공법간의 선정요인을 전문가적 분석을 통하여 정량화하고 이를 비교·선택할 수 있는 방안의 제시가 요구된다. 이러한 노력은 건설현장에 적극적으로 도입하고자 하는 건설신기술 및 신공법의 현장적용에 큰 도움이 되리라 예상된다[1].

본 논문에서는 상기 언급한 연구의 목적을 충족하고자, 델파이 기법을 이용하여 전문가들의 합의를 통해 슬래브 거

Received : January 20, 2011

Revision received : March 2, 2011

Accepted : March 4, 2011

* Corresponding author : Han, Seung-Woo

[Tel: 82-32-860-7595, E-mail: shan@inha.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

거푸집 공법 선정 요인들에 대한 정량화된 전문가적 분석을 시행한다[1]. 본 논문은 거푸집 공법 선정 요인에 대한 정량화된 분석을 바탕으로, 슬래브 거푸집 공법 중 신공법과 기존 공법을 선정하여 각 공법의 성능을 평가하고 합의를 유도하고자 한다. 이를 통하여 각 공법들의 정성적 항목에 대한 정량화된 평가점수를 산출하여 슬래브 거푸집의 현장 적용성에 대한 평가 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

최근 주택경기의 활성화 정책으로 인하여 현재 국내 슬래브 거푸집 공법의 60% 이상은 공동주택 건설공사에 적용되고 있다[2]. 본 논문에서는 공동주택의 슬래브 거푸집 공법을 연구대상으로 선정하였으며, 선정요인 분석 평가 이후 공법간의 비교평가에 있어서는 신공법으로서는 비교평가 대상으로 AFB(Aluminum panel Form with dropping Beam, 이하 AFB)를 선정하였으며, 기존 공법으로는 공동주택의 슬래브 골조 공사에 있어 현재 국내에서 가장 널리 사용되는 공법의 하나인 알루미늄 폼과 Drop형 Beam을 활용하고 있는 스카이덱(Sky Deck, 이하 스카이덱)을 비교대상으로 선정하였다. AFB 공법은 2009년 9월 건설신기술로 지정된 공법으로서, 2단계 낙하가 가능한 Drop형 Beam을 활용한 공동주택 슬래브 및 계단 콘크리트 타설 거푸집 공법으로, 저소음 및 빠른 공정시간 등의 장점으로 최근 공동주택 건설현장에 많이 적용되고 있다.

델파이 기법은 선행연구가 부족한 상황에서 전문가들의 분산된 의견을 합리적으로 조정하여 하나의 의견으로 수렴해 나가는 방법이다. 본 논문에서는 전문가의 의견 도출 및 합의를 위한 델파이 기법을 사용하여 슬래브 거푸집 공법 선정 요인에 대해서 정량적으로 분석한 후, 분석된 결과를 바탕으로 관련 신공법과 기존의 공법간의 정성적 선정 요인을 정량화하여 제시하고자 한다. 공동주택 슬래브 거푸집 공법 선정 시 고려사항 및 선정 요인 항목 도출을 위한 전문가의 의견 합의를 위하여 제 1차, 제 2차의 총 2회 델파이 기법을 시행하였다. 이후 제 3차, 제 4차 델파이 기법을 시행하여 정량적 항목을 제외한 정성적 항목에 대하여 AFB 공법과 알루미늄 폼, 그리고 스카이덱 공법간의 성능평가를 실시하였다. 산출된 평가 값을 토대로 항목별 가중치를 고려한 실효성 있는 성능평가결과를 도출하기 위하여 계층화 분석기법 (Analytic Hierarchy Process; AHP, 이하 AHP)을 적용하였다.

2. 슬래브 거푸집 선정 관련 주요 연구 현황

지금까지 콘크리트 골조공사의 중요도와 함께 적용되는 거푸집 공법 선정과 관련된 다양한 연구들이 현재까지 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 본 연구와 유사한 연구동향을 살펴보면 일반적으로 거푸집 공법을 선정하기 위해 정성적인 항목의 설문조사를 수행한 내용이 다수를 이루고 있다. 즉, 선행연구로서 거푸집 선정요인 도출을 위한 연구가 이루어졌으며, 이후 도출된 거푸집 선정요인을 활용하여 의사결정 방법론의 적용 결과 혹은 선정을 위한 체계적 평가방법의 적용 등이 제시되어 있다. 하지만 기존의 연구들은 모두 사례기반 중심의 연구로서 사례가 없는 공법의 경우 평가 및 비교 분석 시 논리적 사고에 있어서 많은 오류가 발생하였다. 또한 기존 연구에서 널리 이용된 설문조사는 결과에 대한 피드백 및 논의가 사실상 불가능한 수동적 인지형태의 연구방법이며, 최근의 동향이라 할 수 있는 신기술 적용에 대한 전문가의 구체적인 의견 반영 및 합의 등이 불가능하다는 한계성을 노출시켜왔다.

강동완 외 2인 [5]은 공동주택 거푸집 공사의 표준작업유형 선정을 위하여 실적데이터에 기반한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 김성근 외 3인 [6]은 AHP 기법과 CBR (Case-based Reasoning)을 이용하여 초고층 공사의 기존의 거푸집 공법의 성능을 비교·분석하였다. 신운석 외 4인 [4]은 사례중심으로 바닥 거푸집 공법을 비교하였으며, 양성우 외 2인 [7]은 기존 테이블 폼 적용 시 발생된 문제점이 개선된 수정 테이블 폼의 기술적 사항을 소개하고 적용에 따른 경제적 타당성을 분석하였다. 김태훈 외 4인 [8]은 원가, 품질, 공기, 안전 및 환경적 측면에서 기존 거푸집 공법의 적용성을 비교·분석하였다.

따라서 본 논문에서는 상기에서 제시된 기존 논문의 한계성을 극복하고자 전문가들의 합의평가 방식인 델파이 기법을 활용함으로써 거푸집 선정 시 고려하는 항목들의 최근 현황을 파악함과 동시에 기존공법들과의 정성적 항목 문항을 통한 성능 비교 분석을 수행하고자 한다.

3. 델파이 기법의 적용

3.1 델파이 기법의 설계

제 1차 델파이 기법을 실시하기 위하여 본 논문에서는 정

영수 외 4인 [9]의 기존 거푸집 공법에 대한 고찰을 통한 거푸집 선정요인 도출에 관한 연구문헌 및 전문가 인터뷰를 통해 고려사항들을 선정하였다. 델파이 기법은 기사 7명(평균적인 공사경력:5년미만), 대리 10명(5년이상~10년미만), 차장 2명(10년이상~15년미만), 과장 2명(15년이상~20년이하), 부장이상(20년이상) 6명으로 총 27명을 대상으로 수행하였다.

제 3차 패널부터는 선정한 3가지 공법을 경험해 보았거나 잘 알고 있는 전문가들을 대상으로 기사 2명, 대리 2명, 과장 3명, 차장 3명, 부장급 이상 4명으로 총 14명을 대상으로 델파이 기법을 수행하여 2회의 피드백 설문지를 통해 정성적인 항목에 대한 합의를 도출하였다[1].

설문에 따른 결과는 이종성[10](1987)과 이미영[11](2006)에 의해 활용되었던 중앙값(M_o), 사분편차(Q)와 추가적으로 평균값(m), 최빈값(M_d) 일정 값 미만 응답빈도수(f_u)와 초과 응답빈도수(f_o)의 비교 값을 활용하여 분석함으로써 해당 항목의 적정수준을 파악하였다. 즉, 중앙값, 평균값, 최빈값, 그리고 빈도수 비교 값은 최소 기준 이상의 값을 만족해야 하는 요구수준으로 활용하고, 사분편차는 응답자의 합의 수준을 측정하는데 활용하였다[1].

3.2. 제 1차 델파이 실시 결과

1차 델파이 설문의 항목을 작성하기 위하여 기존의 문헌고찰 및 전문가들과의 개별 인터뷰를 통해 거푸집 선정시 고려사항 설문 항목을 결정하였으며 결정된 설문항목은 경제성, 현장적용성, 공정관리성, 안전성, 품질, 환경 등 6개항목으로 대구분을 구성하였으며, 대구분 하위단계로서 총 21개의 세부항목으로 구성되어 있다[1]. 1차 델파이 실시 이후 수집된 데이터를 이용하여 요인분석을 통한 항목재분류, 신뢰도 분석, 빈도분석 및 항목삭제 판단 등이 수행되었으며, 1차 델파이의 결과는 아래 Table 1에서 제시되고 있다. 점수 배점 구성은 1~5까지 각각 전혀 중요치 않음, 중요치 않음, 보통, 중요, 아주 중요로 배점을 구성하였다. 빈도분석 후 보통 초과와 빈도에서 보통 미만의 빈도를 가감해줌으로써 음수가 나오는 항목을 삭제하는 것으로 진행하였다. 그 결과 폐자재 발생여부 항목을 삭제하였다[1].

Table 1. Frequency analysis in the 1st delphi analysis [1]

Criteria	Frequency					f_u	f_o	$\frac{f_o}{f_u}$	
	1	2	3	4	5				
Economic feasibility	Labor costs	0	1	7	9	10	1	19	18
	Material costs	0	2	3	11	11	2	22	20
	Equipment costs	5	3	10	5	4	8	9	1
	Form reusable costs regarding the number of story	1	0	1	14	11	1	25	24
	Additional costs for form installation regarding the level height	1	3	11	6	6	4	12	8
Practical applications	Form productions and assembling	2	2	6	4	13	4	17	13
	Bindings of walls and forms	1	3	10	8	5	4	13	9
	Form applications regarding floor types	2	1	7	9	8	3	17	14
	Form applications regarding structure types	1	1	6	13	6	2	19	17
Planning	Operation time savings per floor	0	1	1	10	15	1	25	24
	Installation and dismantlement	0	2	6	12	7	2	19	17
	Arrangement and delivery of forms	0	5	11	8	3	5	11	6
Safety	Safety of laborers	0	2	2	9	14	2	23	21
	Cleanness around working areas	3	3	9	11	1	6	12	6
	Security of working area	1	2	8	11	5	3	16	13
Quality	Quality of concrete surface after dismantlement	0	0	2	8	17	0	25	25
	Repair of defective areas	0	1	6	14	6	1	20	19
Environment	Noise during installation and dismantlement	0	2	11	6	8	2	14	12
	Vibrations during dismantlement	0	4	10	11	2	4	13	9
	Wastes after operations	1	10	10	4	1	11	5	-6

3.3 제 2차 델파이 실시 결과

상기 1차 델파이에서 제시된 추가의견으로 “부속자재 및 가설자재 비용고려”, “슬래브 거푸집 해체 시 필터 처리의 용이성”, “코너부의 설치 및 해체의 용이성”, “슬래브 거푸집 수평유지 작업의 편리성”으로 4가지 항목이 제시되었다. 따라서 2차 델파이 패널에서는 위의 4개 항목에 대해 재조사를 시행하였다[1].

Table 2는 2차 델파이를 통한 추가항목에 대한 빈도분석 및 삭제항목 평가 결과를 제시하고 있다. 그 결과 삭제 필요 항목은 없었으며, 분석결과에 따른 거푸집 선정시 고려사항의 중요도 순위는 다음 Table 3과 같다. 또한 Table 3의

추가항목을 포함하여 요인분석을 통해 항목의 구분을 재분류함으로써, 3차 델파이에서의 알루미늄 폼, 스카이텍, AFB에 대한 공법 성능평가에 활용하였다. 항목의 구성은 다음 Table 4와 같다. 요인 분석결과 구성을 8개로 구분함으로써 비교결과가 78%까지 유의하게 설명 가능한 것으로 도출되었다[1].

Table 2. Frequency analysis on the additional criteria in the 2nd delphi analysis

Criteria	Frequency					f _u	f _o	f _u
	1	2	3	4	5			
Economic feasibility	Costs of the attached and temporary materials	0	0	2	12	0	0	12
Practical applications	Disposal of fillers in dismantlement	0	0	4	5	5	0	10
	Installation and dismantlement of corner areas	0	1	6	7	0	1	7
	Securing horizontality of slab forms	0	0	7	2	5	0	7

따라서 성분변환 행렬 값에 근거하여 8개로 구분, 즉 항목의 구성은 요인분석의 결과에 따라 “설치비”, “장비·자재비”, “적용성”, “작업성”, “공정관리성”, “안전성”, “품질”, “환경” 총 8개 항목으로 재구성하였다 [1].

3.4 제 3차 및 4차 델파이 실시 결과

제 1차, 2차 델파이를 통해 알루미늄 폼, 스카이텍, AFB의 성능을 비교하기 위한 항목을 결정하였으며, 본 3차 델파이에서 공법들 간의 성능비교를 수행하였다. 델파이 기법에서 합의수준을 결정하는 방법에는 사분위수 범위, 상대적 사분위수 범위, 변동계수로 3가지의 방법이 있다.

본 논문은 평균의 높고 낮음을 판단하는 것이 아니라 공법에 대한 성능점수가 어떤 한 범위로 밀집되는지를 판단하는 것이기 때문에 평균점수를 고려하는 것은 적합하지 않다. 따라서 사분위수 범위, 즉 삼사분위수에서 일사분위 수를 뺀 값이 1이하이면 합의가 이루어진 것으로 가정하여 델파이를 실시하였다. 이는 기존 연구 이미영[11]의 델파이기법의 합의방법을 바탕으로 수행되었다. Table 5는 위의 사분위수 범위를 적용하여 알루미늄 폼, 스카이텍, AFB의 성능을 평가한 결과를 정리한 것이다.

Table 3. The rank of criteria

Ranks	Criteria	Mean	S.D.
1	Quality of concrete surface after dismantlement	4.56	0.641
2	Operation time savings per floor	4.44	0.751
3	Safety of laborers	4.30	0.912
4	Form reusable costs regarding the number of story	4.26	0.859
5	Material costs	4.15	0.907
6	Disposal of fillers in dismantlement	4.07	0.829
7	Labor costs	4.04	0.898
8	Securing horizontality of slab forms	4.00	0.949
9	Repair of defective areas	3.93	0.781
10	Installation and dismantlement	3.89	0.892
11	Form productions and assembling	3.89	1.311
12	Costs of the attached and temporary materials	3.86	0.363
13	Installation and dismantlement of corner areas	3.86	0.646
14	Form applications regarding structure types	3.81	0.962
15	Noise during installation and dismantlement	3.74	0.984
16	Form applications regarding floor types	3.74	1.163
17	Security of working area	3.63	1.006
18	Additional costs for form installation regarding the level height	3.48	1.087
19	Bindings of walls and forms	3.48	1.051
20	Vibrations during dismantlement	3.41	0.844
21	Arrangement and delivery of forms	3.33	0.920
22	Cleanness around working areas	3.15	1.064
23	Equipment costs	3.00	1.301

제 3차 델파이 설문 조사 결과 알루미늄 폼 중 “평균 층당 공기 단축 가능성” 과 AFB 중 “작업자의 작업통로 및 작업공간 확보성”, “설치 및 해체 시의 소음 발생 억제” 의 항목들이 합의수준 1이상으로 합의가 이루어지지 않았다.

제 3, 4차 델파이 설문 결과 각 공법의 성능점수는 알루미늄 폼 77.20점, 스카이 텍 76.01점, AFB 81.92점으로 AFB가 가장 높은 성능평가결과가 나왔지만 위의 결과는 각 항목의 상대적 중요도를 반영한 것이 아닌 각 절

대평가 점수이기 때문에 성능점수로서 활용하기에는 문제가 있다. 따라서 위의 항목들의 각각의 상대적 중요도를 반영하기 위해 각 항목들의 쌍대비교, 즉 AHP기법을 이용하여 정량적 항목과 정성적 항목, 그리고 각각의 세부항목들에 대해 가중치를 부여하여 보다 실효성 있는 성능평가결과를 도출하여야 하는 필요성이 제기되었다. 제 3 차 델파이 설문결과 제 4 차 델파이 필요항목에 대해 극단적으로 높게 응답을 한 전문가에게 직접 인터뷰를 하였으며 점수를 한 단계 하향 조정을 하는 것으로 합의를 함으로써 3개 항목 모두 합의가 도출되었다.

Table 4. The 3rd entry for the delphi reorganization

Criteria	
Installation costs	Labor costs
Equipment and material costs	Material costs
	Equipment costs
	Costs of the attached and temporary materials
Practical application costs	Form reusable costs regarding the number of story
	Additional costs for form installation regarding the level height
Working efficiency	Form productions and assembling
	Bindings of walls and forms
	Form applications regarding floor types
	Installation and dismantlement of corner areas
	Form applications regarding structure types
	Disposal of fillers in dismantlement
	Securing horizontality of slab forms
Planning	Operation time savings per floor
	Installation and dismantlement
	Arrangement and delivery of forms
Safety	Safety of laborers
	Cleanness around working areas
	Security of working area
Quality	Quality of concrete surface after dismantlement
	Repair of defective areas
Environment	Noise during installation and dismantlement
	Vibrations during dismantlement

4. AHP 기법 적용

4.1 가중치 적용

AHP 기법은 복수의 평가항목을 계층화하여 각 평가항목을 쌍대비교로 항목간의 상대적 중요도를 결정하여 가중치를 산정하는 방법으로 정성적 항목에 대한 정량화된 상대적 중요도를 제시하는 연구에 있어서 연구방법론으로 널리 이용되고 있다. 즉, 본 기법은 주로 문제의 상대적 비중, 문제 해결의 우선순위, 대안의 선정 등의 결정지침을 정량화된 수치로 제공한다는 점에서 정성적 요소의 합리적 반영 및 정량적 요소와의 중요도 비교를 설득력 있게 도출할 수 있으며, 의사결정자의 논리적 일관성의 유지 여부를 확인할 수 있다. 또한 의사결정자의 의견을 합리적, 논리적으로 통합하여 집단의 의사결정을 도출하는데 있어 효과적으로 적용되고 있다[10].

본 논문의 제 3차 및 4차 델파이 시행에서의 공법 간 비교에 대한 합의평가 결과는 각 항목에 대한 중요도가 반영되지 않는 결과이기 때문에 그 결과가 정확한 성능평가 값이라고 가정할 수가 없다.

따라서 본 논문에서는 이러한 오류를 수정하기 위해 AHP 기법을 이용한 항목들 간의 쌍대비교를 전문가들에게 재 설문을 수행하였고, 가중치를 산정하여 적용하였다. 쌍대비교를 위한 계층화구조는 Table 6과 같다. Table 6의 정량적 항목에서 생산성 항목은 전문가들의 AHP기법을 이용한 쌍대비교를 통해 계층화작업이 이루어졌으며, 현장의 실측데이터를 고려한 생산성은 차후의 연구에서 진행될 것이라 사료된다. 계층구조의 설정이 완료된 후 델파이 설문에 참여한 전문가들에게 항목들 간의 쌍대비교를 실시하고, 그 결과를 통하여 항목별 가중치를 산정한다.

이 때 정성적 분석을 위한 상위항목 및 하위항목의 쌍대비교 뿐만 아니라 정량적 분석과 정성적 분석의 쌍대비교도 실시하여 향후 통합하여 활용할 수 있도록 두 요소의 가중치를 산정한다. 쌍대비교의 중요성의 크기는 5점 척도를 활용하였으며, 두 비교기준에 대한 중요도 1은 “동일”, 2는 “약간 중요”, 3은 “중요”, 4는 “매우 중요”, 그리고 5는 “절대 중요” 로 평가된다.

Table 5. The results of the 3th and 4th delphi analysis

Criteria	Aluminum Form			SKY Deck			AFB			
	Mean	S.D.	Agreement (less than 1)	Mean	S.D.	Agreement (less than 1)	Mean	S.D.	Agreement (less than 1)	
Installation costs	Labor costs	3.14	0.53	0.25	3.29	0.47	1.00	3.14	0.36	0.00
Equipment and material costs	Material costs	2.79	0.43	0.25	1.64	0.84	1.00	2.07	0.27	0.00
	Equipment costs	3.00	0.39	0.00	3.07	0.47	0.00	3.00	0.39	0.00
	Costs of the attached and temporary materials	3.07	0.62	0.25	2.21	0.43	0.25	2.43	0.51	1.00
Practical applications	Form reusable costs regarding the number of story	4.07	0.47	0.00	3.93	0.47	0.00	3.93	0.47	0.00
	Additional costs for form installation regarding the level height	3.21	0.43	0.25	3.07	0.27	0.00	3.21	0.43	0.25
Working efficiency	Form productions and assembling	3.57	0.51	1.00	3.50	0.65	1.00	3.64	0.74	0.25
	Bindings of walls and forms	3.86	0.66	1.00	4.00	0.39	0.00	4.00	0.39	0.00
	Form applications regarding floor types	3.64	0.63	1.00	2.43	0.65	1.00	3.79	0.43	0.25
	Installation and dismantlement of corner areas	3.57	0.94	1.00	3.79	0.70	0.25	4.00	0.39	0.00
	Form applications regarding structure types	3.64	0.50	1.00	3.14	0.36	0.00	3.57	0.51	1.00
	Disposal of fillers in dismantlement	3.57	0.94	1.00	3.86	0.36	0.00	4.21	0.58	1.00
	Securing horizontality of slab forms	3.43	0.65	1.00	3.43	0.85	1.25	3.43	0.76	1.00
Planning	Operation time savings per floor	4.43 ->4.64	0.94 ->0.63	2.00 ->1.00	3.93	0.47	0.00	4.57	0.65	1.00
	Installation and dismantlement	3.43	0.65	1.00	3.36	0.50	1.00	3.36	0.50	1.00
	Arrangement and delivery of forms	3.14	0.53	0.25	3.29	0.47	1.00	3.43	0.51	1.00
Safety	Safety of laborers	3.00	0.00	0.00	3.36	0.50	1.00	3.36	0.63	1.00
	Cleanness around working areas	3.64	0.84	1.00	3.86	0.53	0.25	3.86	0.53	0.25
	Security of working area	3.29	0.61	0.25	3.50	0.65	1.00	3.79 ->3.71	0.80 ->0.73	1.25 ->1.00
Quality	Quality of concrete surface after dismantlement	3.57	0.65	1.00	3.71	0.47	1.00	3.71	0.47	1.00
	Repair of defective areas	3.57	0.51	1.00	3.57	0.51	1.00	3.71	0.47	1.00
Environment	Noise during installation and dismantlement	2.07	0.62	0.25	2.93	0.62	0.25	3.29 ->3.43	1.38 ->0.85	3.00 ->1.00
	Vibrations during dismantlement	2.29	0.73	1.00	3.14	0.53	0.25	4.36	0.50	1.00
Sum		77.20	-	-	76.01	-	-	81.92	-	-

AHP기법에 의해 각 항목별 가중치를 산정한 후 응답에 대한 일관성 정도를 검토하기 위하여 비일관성률 (inconsistency ration; CR, 이하 CR)을 산출한다. CR이 0이라는 것은 응답자가 완전한 일관성을 유지하여 쌍대 비교를 수행하였음을 의미한다. 일반적으로 CR이 0.1미만이면 쌍대비교는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2미만일 경우 용납할 수 있는 수준의 비일관성을 구비한 것으로 판단한다. 그러나 CR이 0.2 이상인 경우는 응답에 대한 일관성이 부족하여 재검토가 필요함을 의미한다[10].

따라서 본 연구에서는 CR이 0.1 미만인 응답만을 가중치 산정에 반영하였고, CR값이 0.1이상인 응답은 일관성이 부족한 것으로 판단하여 가중치 산정에서 배제하였다.

Table 7은 CR값이 0.1이하로 응답된 설문으로 가중치를 산정한 결과 값이다. 예를 들어 정량적 항목만의 가중치 총합을 1로 보았을 때 각 항목이 차지하는 중요도의 비율을 계산하였으며, 예를 들어 노무비와 장비·재료비가 0.30, 0.35값을 가진다면, 정량적 항목 내에서 30%, 35%를 차지함을 나타낸다.

Table 6. Hierarchy for AHP analysis

Criteria		
Quantitative criteria	Productivity	Production rates
	Labor costs	Labor costs
	Equipment and material costs	Material costs
		Equipment costs
		Costs of the attached and temporary materials
	Practical application costs	Form reusable costs regarding the number of story
		Additional costs for form installation regarding the level height
	Qualitative criteria	Form productions and assembling
		Bindings of walls and forms
		Form applications regarding floor types
Working efficiency		Installation and dismantlement of corner areas
		Form applications regarding structure types
		Disposal of fillers in dismantlement
		Securing horizontality of slab forms
		Operation time savings per floor
Planning		Installation and dismantlement
		Arrangement and delivery of forms
Safety		Safety of laborers
		Cleanness around working areas
		Security of working area
Quality		Quality of concrete surface after dismantlement
		Repair of defective areas
Environment	Noise during installation and dismantlement	
	Vibrations during dismantlement	

Table 7. Weight on criteria by AHP

Criteria			Wts.			
Productivity	0.25	Production rates	1.00	0.11		
Labor costs	0.30	Labor costs	1.00	0.13		
Quantitative Criteria (0.44)	0.35	Material costs	0.52	0.08		
		Equipment costs	0.31	0.05		
		Costs of the attached and temporary materials	0.17	0.03		
Practical application costs	0.10	Form reusable costs regarding the number of story	0.79	0.03		
		Additional costs for form installation regarding the level height	0.21	0.01		
Qualitative Criteria (0.56)	0.13	Form productions and assembling	0.14	0.01		
		Bindings of walls and forms	0.07	0.01		
		Form applications regarding floor types	0.14	0.01		
		Installation and dismantlement of corner areas	0.14	0.01		
		Form applications regarding structure types	0.15	0.01		
		Disposal of fillers in dismantlement	0.18	0.01		
		Securing horizontality of slab forms	0.18	0.01		
		Operation time savings per floor	0.61	0.08		
		Planning	0.22	Installation and dismantlement	0.18	0.02
				Arrangement and delivery of forms	0.21	0.03
		Safety	0.30	Safety of laborers	0.56	0.09
				Cleanness around working areas	0.22	0.04
				Security of working area	0.22	0.04
		Quality	0.23	Quality of concrete surface after dismantlement	0.50	0.06
				Repair of defective areas	0.50	0.06
Environment	0.12	Noise during installation and dismantlement	0.75	0.05		
		Vibrations during dismantlement	0.25	0.02		

4.2 항목별 가중치를 고려한 공법의 성능평가결과

3장에서 전문가를 활용하여 델파이 기법을 수행함으로써 정성적 항목에 대한 성능점수를 도출하였고, 정성적 항목과 정량적 항목들에 대해 AHP기법을 활용하여 가중치를 부여함으로써 정성적 항목과 정량적 항목을 통합에 활용할 수 있는 가중치를 산정하였다. 정량적 고려사항의 세부항목인 생산성, 설치비, 적용비용의 항목들은 향후 실제 적용 대상의 건설공정에서의 실적데이터가 이용될 것이므로, 본 연구에서는 델파이 합의평가 대상 항목들인 정성적 항목을 중심으로 가중치를 부여하여 성능을 평가하였다.

Table 8은 알루미늄 폼, 스카이 텍, AFB에 대한 정성적 항목들에 대한 최종 성능평가 결과이다. 스코어는 Table 6의 17개 정성적 항목의 AHP 분석을 이용한 가중치와 각 3가지 공법별 평균과 곱하여 산출한 점수이다.

본 결과는 정량적 항목의 생산성, 설치비(노무비, 장비·자재비), 적용비용을 포함하지 않은 결과이며, 본 평가에서는 정량적 항목의 가중치에 해당하는 0.44를 적용하지 않았다. 즉 정성적 항목의 가중치 0.56만을 반영하고 정성적 항목들만의 성능평가결과를 총합한 것이다.

Table 8. The performance evaluation results on the qualitative criteria

Criteria	Wts.	Aluminum form		Sky deck		AFB		
		Mean Scores	Mean Scores	Mean Scores	Mean Scores	Mean Scores	Mean Scores	
Working efficiency	Form productions and assembling	0.01	3.57	0.04	3.50	0.04	3.64	0.04
	Bindings of walls and forms	0.01	3.86	0.02	4.00	0.02	4.00	0.02
	Form applications regarding floor types	0.01	3.64	0.04	2.43	0.02	3.79	0.04
	Installation and dismantlement of corner areas	0.01	3.57	0.04	3.79	0.04	4.00	0.04
	Form applications regarding structure types	0.01	3.64	0.04	3.14	0.03	3.57	0.04
	Disposal of fillers in dismantlement	0.01	3.57	0.05	3.86	0.05	4.21	0.06
Planning	Securing horizontality of slab forms	0.01	3.43	0.04	3.43	0.04	3.43	0.04
	Operation time savings per floor	0.08	4.64	0.35	3.93	0.30	4.57	0.34
	Installation and dismantlement	0.02	3.43	0.08	3.36	0.07	3.36	0.07
Safety	Arrangement and delivery of forms	0.03	3.14	0.08	3.29	0.09	3.43	0.09
	Safety of laborers	0.09	3.00	0.28	3.36	0.32	3.36	0.32
	Cleanness around working areas	0.04	3.64	0.13	3.86	0.14	3.86	0.14
Quality	Security of working area	0.04	3.29	0.12	3.5	0.13	3.71	0.14
	Quality of concrete surface after dismantlement	0.06	3.57	0.23	3.71	0.24	3.71	0.24
Environment	Repair of defective areas	0.06	3.57	0.23	3.57	0.23	3.71	0.24
	Noise during installation and dismantlement	0.05	2.07	0.10	2.93	0.15	3.43	0.17
	Vibrations during dismantlement	0.02	2.29	0.04	3.14	0.05	4.36	0.07
	Sum	0.56	57.92	1.91	58.80	1.96	64.14	2.10

5. 결 론

콘크리트 구조물의 골조공사에서의 거푸집 공사는 골조공사의 공종들 중에서 골조공사의 성패를 좌우하는 매우 중요한 공사인 동시에 선행 및 후속공정에 대한 영향도 또한 상당히 높은 공사로 인식되고 있다. 이러한 거푸집 공사의 중

요성을 감안하여 현장 조건에 적합한 적절한 거푸집공법의 선정에 대한 연구가 지금까지 활발히 진행되고 있다. 하지만, 기존의 연구는 주로 사례기반 중심의 연구로서 설문조사를 통한 선정요인 분석과 실적데이터를 바탕으로 한 적합공법의 선정에 그치고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 설문조사의 한계를 극복하고자 델파이 기법을 이용한 전문가의 합의도출을 통하여 선정요인의 체계적 분석과 선정요인의 정량화된 순위를 제시하였다. 또한 실적데이터가 불충분한 신공법의 현장적용에 대비하여 델

파이 실행 결과를 토대로 신공법의 대상으로 AFB, 기존공법의 대상으로 알루미늄 폼, 스카이텍을 선정하여 비교·분석하였다. 또한 선정항목들의 상대적 중요도를 고려하고자 AHP 기법을 이용하여 선정항목들의 중요도를 비교하고, 세 공법들의 정성적 항목들에 대한 정량화된 평가수치를 제공하였다.

본 논문은 델파이 기법이라는 전문가 의견에 대한 피드백 및 합의 도출이 가능한 적극적 설문방식을 채택하여 거푸집공법 선정 시 고려되어야 하는 선정항목들을 선정하고, 선정항목간의 수치화된 순위를 제시함으로써 실적데이

터가 부족하거나 경험적 판단으로만 가능한 정성적 항목들을 정량화한 것에 그 중요성이 있다고 하겠다.

또한 신공법을 비롯한 기존 공법의 정성적 항목들을 전문가의 합의를 통하여 수치화된 성능평가결과를 제시함으로써, 실효성 높은 방안을 제시하였다.

따라서 본 연구에서 사용된 델파이 기법의 방법론을 본 연구의 대상 이외에도 다른 공법들의 선정·평가 시에도 사용이 가능하리라 판단된다. 그러나, 본 논문은 실적데이터 확보가 없는 상태에서 전문가의 의견을 통한 정성적 항목 평가에만 연구의 범위를 지정한 한계를 지니고 있다. 향후 정성적 항목 이외의 실적데이터를 바탕으로 한 정량적 항목(생산성, 설치비, 적용비용)에 대한 성능분석 및 비교가 향후 추가되어야 할 것이라 판단되며, 이를 위한 현장 실측 및 유효한 실적데이터 수집이 성능평가 단계 이전에 선행되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 제시한 일반적인 조건 하에서의 공동주택 슬래브 거푸집의 기존공법과 신공법간의 비교평가보다는 구체적 사례선정을 통한 실제 조건하에서의 비교평가를 수행하는 사례연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

요 약

콘크리트 구조물의 골조공사에서의 주요 공정 중 하나인 거푸집 공사는 전체 건축공사의 공사기간 및 공사비 측면에서 상당 부분을 차지하고 있다. 하지만 공사현장의 조건을 고려한 거푸집의 적정시스템 선정은 현재까지 현장실무자의 경험에만 의존하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 거푸집 공법 선정 요인에 대한 정량화된 분석을 바탕으로 슬래브 거푸집 중 신공법과 기존 공법을 선정하여 각 공법의 성능을 정량화된 분석데이터를 바탕으로 평가했다. 이를 통하여 각 공법들의 정성적 항목에 대한 정량화된 평가점수를 산출하여 슬래브 거푸집의 현장 적용성에 대한 평가 방안을 제시하였다. 따라서 본 논문에서 사용된 델파이 기법의 방법론은 다른 공법들의 선정, 평가에도 사용될 것이라 사료된다.

키워드 : 슬래브 거푸집, 델파이 기법, 공동주택, 알루미늄폼, 스카이덱, AFB

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2010-0015601) and INHA UNIVERSITY Research Grant.

References

1. Lee KS, Kim HM, Kim YS, Han SW. Evaluation of Requisites for Finding Appropriate Form-work Operation in Residential Building using Delphi Technique. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 2010;10(2):149-152.
2. Woo GB. The Development of a Construction Productivity Prediction Model in the Structural Framework of Apartment Housing Projects Using Data Mining [Master dissertation]. Incheon: Inha University; 2008.
3. Choi HG, Son YJ, Lee YS, Kim JJ. Hindrance Factor and Improvement of Large-sized System Form Work in an Apartment Building Construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 2008;24(2):95-102.

4. Shin YS, Choi HB, Lee YK, An SH, Kang KI. A Study on Selection of Slab Form Work System for high-rise Building Construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 2008;22(2):147-154.
5. Kang DY, Moon HS, Hyun CT. Development of a Simulation Model for the Productivity Analysis of Form Work in Multi-Family Housing Construction projects. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 2009;9(2):193-98.
6. Kim SG, Lee YK, Cho HH, Kang KI. Decision Support System for Slab Form-work Selection of High-rise Building. *Journal of Architectural Institute of Korea* 2006;22(11):207-14.
7. Yang SW, Cho HH, Kang KI. Development and Application of Unit Table Form using Euro Form for High-rise Building Construction. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 2008;8(2):45-52.
8. Kim TH, Jin IG, Shin YS, Choi SS, Kang KI, Kim TH. An Analysis of Application by Formwork in Concrete Structural Frame Work for Tall Building in Korea. *Korean Journal of Construction Engineering and Management* 2007:387-91.
9. Jung WS, Park JH, Kang SH, Park BM, Choi IS. Factors for Selecting Forms; A Case-Study. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 2005:111-16.
10. Lee JS. Proper evaluation research of new student selection typical standard, Korea, College of Sciences in Education of Yonsei University; 1987.
11. Lee MY. The Development of an Analytical Model for Eligibility Assessment of BTL Project [Master dissertation]. Incheon: Inha University; 2006.