

암반매입말뚝을 위한 주면고정액의 역학적 특성

문경태* · 박상렬** · 신민건***

Moon, Kyoungtae*, Park, Sangyeol**, Shin, Mingun***

Mechanical Properties of Filling Materials for Bored Pile in Rock

ABSTRACT

Jeju Island is composed of irregular volcanic rock layers formed by several volcanic activities. Since structure such as the offshore wind turbine has to support considerably large over turning moment due to long distance from foundation to load point and relatively large horizontal load. Pile foundations are needed to economically support such structure even in the case of rock layer. Therefore, in this study, mechanical performances are estimated by mixing ratio of water, cement, and sand to figure out optimal mixing ration of filling material for pile penetrated to rocky layers, and outcomes of this study are compared and analyzed with results of other researches. In the same conditions, mechanical performances of the mortar ($S/(S+C)=20\sim40\%$) are better than those of cement paste and soil cement. On the basis of major outcome of this study, appropriate range of mixing and a strengthening model are suggested.

Key words : Bored pile, Filling material, Mix proportion, Compressive strength, Cement paste, Mortar

초록

제주도는 여러 차례의 화산활동에 의해 형성된 섬으로 불규칙한 화산암층 구조를 가지고 있다. 해상풍력발전기와 같은 구조물은 기초에서부터 하중 작용점까지의 거리가 멀고 상대적으로 큰 수평하중이 작용하여 매우 큰 전도모멘트를 지지해야 한다. 이러한 구조물을 경제적으로 지지하기 위해서는 암반층이라도 말뚝기초를 시공해야 한다. 따라서 본 연구에서는 암반매입말뚝을 위한 주면고정액의 적정배합비를 찾기 위하여 물, 시멘트, 모래의 배합비를 달리하여 역학적 성능을 평가하고, 실험 결과와 기존 연구 결과를 비교분석하였다. 동일한 배합조건에서 시멘트풀과 소일시멘트보다 모르타르(잔골재 비=20~40%)의 역학적 성능이 우수하게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 적정배합범위와 강도추정식을 제안하였다.

검색어 : 매입말뚝, 주면고정액, 배합비, 압축강도, 시멘트풀, 모르타르

1. 서론

제주도는 약 200만년 전부터 역사시대까지 발생한 여러 차례의 화산활동으로 형성된 섬(Yoon and Ko, 2011)으로 지반이 육지부와 달리 화산암 및 화산쇄설물로 구성되어있다. 암반은 지지력이 우수하기 때문에 연직력이 주를 이루는 토목건축구조물에서는 직접기초를 적용하여 지지력을 확보한다. 그러나 해상풍력발전기는 바람에 의한 수평력(추력, Thrust force)이 크게 작용하고 하중의 작용점과 지지점 사이의 거리가 멀어 전도모멘트가 매우 크게 작용한다. 이러한 구조물을 지지하기 위해서는 암반이라 할지라도 직접기초보다 말뚝기초를 적용한 지지구조물(Monopile, Jacket, Tripod 등)을 사용하는 것이 효과적이다. 따라서 국내에 설치된 해상풍력발전기에는

* 중신회원 · 제주대학교 토목공학과 박사과정 (Jeju National University · ktmooon@jejunu.ac.kr)

** 중신회원 · 교신저자 · 제주대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Jeju National University · sypark@jejunu.ac.kr)

*** 제주대학교 토목공학과 석사과정 (Jeju National University · mingun90@daum.net)

Received January 16, 2017/ revised March 14, 2017/ accepted May 21, 2017

바람에 의한 수평력과 전도모멘트를 효과적으로 지지하기 위하여 4-legs Jacket을 적용하고 있으며, 기초는 강관매입말뚝을 콘크리트와 강재로 보강하여 사용하고 있다. 이러한 해상풍력발전기의 지지구조물이나 송전철탑과 같이 외력에 의한 전도모멘트를 여러 개의 말뚝으로 지지하는 경우, 말뚝의 압축, 인발력으로 지지력을 확보하게 되어 각 말뚝의 압축, 인발력에 대한 추정이 구조물의 지지력을 산정하는데 매우 중요하게 된다.

제주도는 대부분 화산암으로 형성되어 있어 말뚝기초를 설치하기 위해서는 매입말뚝이나 현장타설말뚝을 사용해야 한다. 풍력발전기의 경우 수평강성을 확보하기 위하여 강관말뚝을 적용하고 있으며, 건설현장에서 말뚝기초를 사용해야 하는 경우 PHC말뚝을 많이 사용하고 있다. 이러한 매입말뚝공법은 삽입하는 기성말뚝의 직경보다 100mm 더 크게 지반을 천공하고 시멘트풀을 주입하며 굴착공내의 흙과 혼합되어 소일시멘트를 형성(Park, 2004)시켜 말뚝을 고정하게 된다. 그러나 제주도의 암반은 시멘트풀과 혼합될 흡입자가 상대적으로 매우 부족하므로 시멘트풀로만 기성말뚝을 지지하게 된다.

따라서 본 연구에서는 암반 매입말뚝의 주면고정액에 흡입자를 대신할 잔골재를 배합하여 배합비에 따른 역학적 특성을 평가하고 기존 연구결과와 비교 분석하므로 암반 매입말뚝의 주면지지력을 산정하는 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 주면고정액에 대한 고찰

굴착공에 주입된 시멘트풀과 흡입자가 혼합되어 형성된 소일시멘트는 굴착공벽을 안정시키며, 말뚝에 가해진 하중을 지반으로 전달하는 매개체 역할을 담당하고, 매입말뚝의 마찰지지력은 지반강도와 소일시멘트의 강도에 비례하는 것으로 알려져 있으므로 적절한 강도를 유지하여야 한다(Park, 2004). 소일시멘트의 강도는 일반적으로 배합비에 의해 결정되며 구조물기초설계기준(KGS, 2015)에서는 0.83~1.0의 물-시멘트비를 사용할 것을 제안하고 있지만 사용 기관마다 조금씩 차이를 나타내고 있다. Table 1은 매입말뚝에 적용되는 시멘트풀의 배합비를 나타낸 것으로 LH공사에서는 83%를 사용하며 한국도로공사에서는 60~70%를 적용하고 있다. 본 공법을 개발한 일본에서는 선단부와 주면부로 구분하여 일축압축강도로 표현하고 있는데 주면고정액의 일축압축강도는 일반적으로 국내에서 사용하는 배합비로 시공된 시멘트풀의 강도보다 훨씬 작은 것으로 알려져 있다.

매입말뚝의 주면고정액에 대한 연구는 국내에서 수행되었으며 연구내용을 정리하면 다음과 같다. Park (2004)은 매입말뚝에 사용되는 시멘트풀과 흙이 혼합되어 소일시멘트를 형성하였을 때의 강도특성을 평가하고, 매입말뚝의 주면지지력에 대해 고찰하였으

Table 1. Various W/C Ratio for Bored Pile

	W/C (%)	Remark
Code requirements for structural foundation design (2015)	83~100	
Korea National Housing Corporation (2008)	83	Normal soil
	50	Soft clay, loose sand
LH Specification (2012)	83	
Korea Expressway Corporation	60~70	
Japan (2002)	the pile point : 19.6~29.4MPa (200~300kg/cm ²)	
	the skin of pile : 0.49~1.37MPa (5~14kg/cm ²)	

며, Do et al. (2015)는 매입말뚝의 충전재로 사용되는 시멘트풀의 공학적 특성을 분석한 바 있다. Eon et al. (2013)은 시멘트 페이스트에 고로슬래그를 혼합하여 재령 7일과 28일에 응력-변형률 특성을 검토하였으며, Mun et al. (2009)은 터널 지보재에 적용되는 그라우트 모르타르의 특성을 평가하기 위하여 배합조건에 따른 물리적 특성을 연구하였다. Park et al. (2009)은 시멘트 모르타르의 공극률과 내구특성 관계를 밝히기 위하여 5가지의 물-시멘트비(40~60%, 5% 간격)를 가진 시멘트 모르타르를 제조하여 실험을 통해 상관관계를 연구한 바가 있다.

기존 연구의 경우 주면고정액에 대해서는 소일시멘트와 순수한 시멘트풀의 역학적 특성을 고찰하였고, 모르타르에 대해서는 물/시멘트비가 40~60% 범위로 하여 압축강도를 비롯한 역학적 특성 및 물성에 대해 다양한 실험 및 연구결과가 제시되었다. 그러나 매입말뚝의 주면고정액으로 사용하기 위한 모르타르(물-시멘트비 60% 초과)에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 잔골재를 혼합한 모르타르를 암반매입말뚝의 주면고정액으로 사용하기 위하여 시멘트, 모래, 물의 배합비를 달리하여 재령별로 압축강도시험을 수행하였으며, 시험결과와 더불어 기존 연구결과를 비교, 분석하여 역학적 특성을 평가하였다.

3. 시험계획

3.1 시험체 및 변수

시멘트풀과 모르타르의 배합비 및 재령에 따른 역학적 특성을 규명하기 위하여 물/시멘트비와 잔골재비를 변화시켰다. 물/시멘트비는 구조물기초설계기준(2015)에서 제시하는 83~100%의 범위뿐만 아니라 그 이상과 이하에서의 특성을 검토하기 위하여 60~120%로 20%간격으로 선정하였다. 잔골재비는 기준에서 제시한 시멘트풀과 잔골재가 배합된 모르타르의 특성 차를 검토하기 위하여 0~60%의 범위로 20% 간격으로 4개의 변수를 사용하였다. 따라서 물/시멘트비와 잔골재비를 변화하여 배합한 16개의 케이스

Table 2. Test Parameter

S / (S+C)	0%	20%	40%	60%	Weight ratio
W / C	60%	80%	100%	120%	

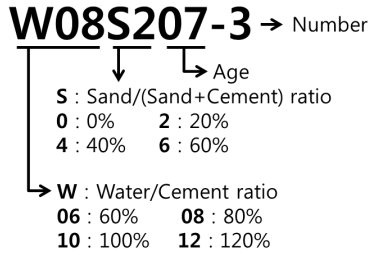


Fig. 1. Specimen I.D.



Photo 1. Test Specimens

에 대해 시험하였으며 이를 Table 2에 정리하였고, 시험체 명은 Fig. 1에 정리한 것과 같이 물/시멘트비는 W, 60~120%의 범위를 06~12로 사용하였으며, 잔골재비는 S, 0~60%의 범위는 0~6로, 그 뒤에 재령일을 두자리 숫자로 표시하였다. 각 변수별로 시험체를 구분하기 위하여 마지막에 번호를 붙여서 구분하였다. 시험체는 Photo 1에 나타난 것과 같이 한 변의 길이가 50mm인 입방체로 제작하였으며, 재령 3, 7, 14, 28일에 각 변수별로 5개씩 제작하여 총 320개의 시험체에 대하여 압축강도시험을 수행하였다.

3.2 사용재료

시험체 제작시 시멘트는 국내 D사에서 제조한 보통포틀랜드시멘트(Type1)를 사용하였으며, 잔골재는 배타적 경제수역에서 채취한 세척사를 사용하였다. 모래는 배합 전에 100℃ 이상에서 24시간 이상 완전 건조시켰으며, 입도분포는 Fig. 2에 나타난 것과 같다. 본 연구에 사용된 모래의 물리적 특성을 Table 3에 정리하였으며, 비중은 2.64, 건조단위중량은 15.78kN/m³이다. 이 모래는 토질분류기준인 통일분류법(USCS)에 의하여 분류하면 SP로 분류되는 것으로 나타났다.

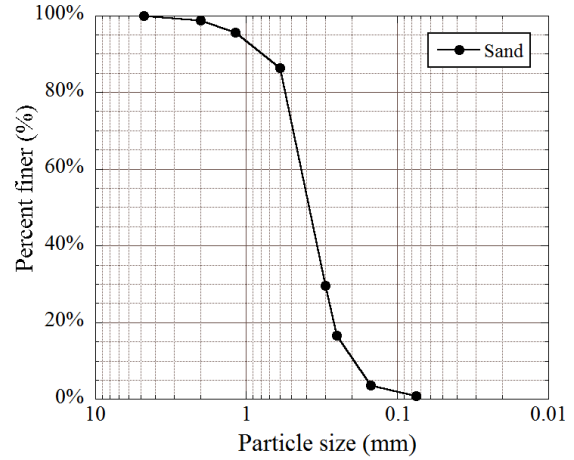


Fig. 2. Particle Size Distribution Curve of Sand

Table 3. Physical Properties of Sand

Specific gravity (G _s)	2.64	
Unit weight (kN/m ³)	15.78	
Grain size	Coefficient of uniformity, C _u	1.78
	Coefficient of curvature, C _c	0.77

3.3 시험방법 및 장치

시험은 수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험방법(KS L 5105)에 준하였으며, 모르타르의 배합비에 대해서는 본 연구에서 선정한 변수에 따라 배합하였다.

압축강도시험에는 M사에서 제작한 일축압축강도시험기(MT-150AC)를 사용하였으며, KS규격에서 제시한 방법에 따라 시험체가 20~30초 이내에 파괴되도록 압력을 조정하였으며, 하중제어방식으로 하중을 재하였다. 측정데이터는 축방향 하중과 변위로, 국내 R기업에서 생산한 데이터로거(SDL-610R)를 사용하여 수집하였으며, Photo 2는 시험에 사용된 장비와 시험체 설치한 모습을 나타낸 것이다.

4. 시험결과 및 분석

압반매입말뚝의 주면고정액으로 사용하기 위한 시멘트풀 및 모르타르의 역학적 특성을 분석하기 위하여 재령, 물/시멘트비, 잔골재 배합비를 달리하여 일축압축시험을 수행하였으며, Table 4와 같은 결과를 얻었다. Table 4에는 각 변수별 단위중량, 압축강도, 탄성계수를 정리하였다.

4.1 압축강도

Fig. 3은 재령일에 따른 시험체의 강도변화를 나타낸 것이며,



Photo 2. Test Instruments and Test Set-up

Table 4. Test Results

Specimen I.D.	Unit weight (kN/m^3)	Age (day)	UCS (MPa)	f_n/f_{28} (%)	E (MPa)
W06S0	16.84	3	11.55	61.6	1610.0
		7	14.03	74.9	
		14	18.12	96.7	
		28	18.74	-	
W06S2	19.11	3	19.07	54.3	2850.5
		7	20.87	59.4	
		14	30.09	85.6	
		28	35.15	-	
W06S4	20.48	3	20.37	57.1	3035.5
		7	21.48	60.3	
		14	28.37	79.6	
		28	35.65	-	
W06S6	20.89	3	19.27	60.3	3465.9
		7	20.36	63.7	
		14	26.98	84.4	
		28	31.96	-	
W08S0	16.11	3	9.18	43.3	1365.7
		7	13.15	62.0	
		14	17.00	80.2	
		28	21.20	-	
W08S2	16.94	3	9.38	37.1	1816.3
		7	14.99	59.3	
		14	18.05	71.4	
		28	25.28	-	
W08S4	18.59	3	9.71	35.7	2374.8
		7	16.07	59.1	
		14	19.89	73.1	
		28	27.21	-	

Table 4. Test Results (Continued)

Specimen I.D.	Unit weight (kN/m^3)	Age (day)	UCS (MPa)	f_n/f_{28} (%)	E (MPa)
W08S6	19.58	3	8.08	40.5	1983.7
		7	12.49	62.6	
		14	15.06	75.5	
		28	19.96	-	
W10S0	14.33	3	5.69	40.8	929.8
		7	8.96	64.2	
		14	12.78	91.5	
		28	13.96	-	
W10S2	15.46	3	6.81	35.2	1491.6
		7	10.56	54.5	
		14	14.61	75.4	
		28	19.37	-	
W10S4	16.76	3	6.06	37.5	1577.3
		7	9.97	61.7	
		14	12.62	78.1	
		28	16.15	-	
W10S6	17.71	3	5.35	45.1	1274.2
		7	7.57	63.8	
		14	9.17	77.3	
		28	11.86	-	
W12S0	13.13	3	3.64	28.5	656.7
		7	6.81	53.3	
		14	11.52	90.2	
		28	12.77	-	
W12S2	14.45	3	4.55	42.8	749.1
		7	5.69	53.6	
		14	9.06	85.3	
		28	10.62	-	
W12S4	14.84	3	3.39	24.7	1106.2
		7	6.24	45.4	
		14	9.48	68.9	
		28	13.75	-	
W12S6	16.39	3	2.93	42.6	533.4
		7	4.42	64.3	
		14	5.58	81.2	
		28	6.87	-	

잔골재 배합비에 따라 (a)~(d)로 구분하여 도식하였다. Fig. 3의 (a)에서 W08S0 시험체의 28일 강도가 W06S0의 강도보다 크게 나타난 것은 시험 오차로 판단된다.

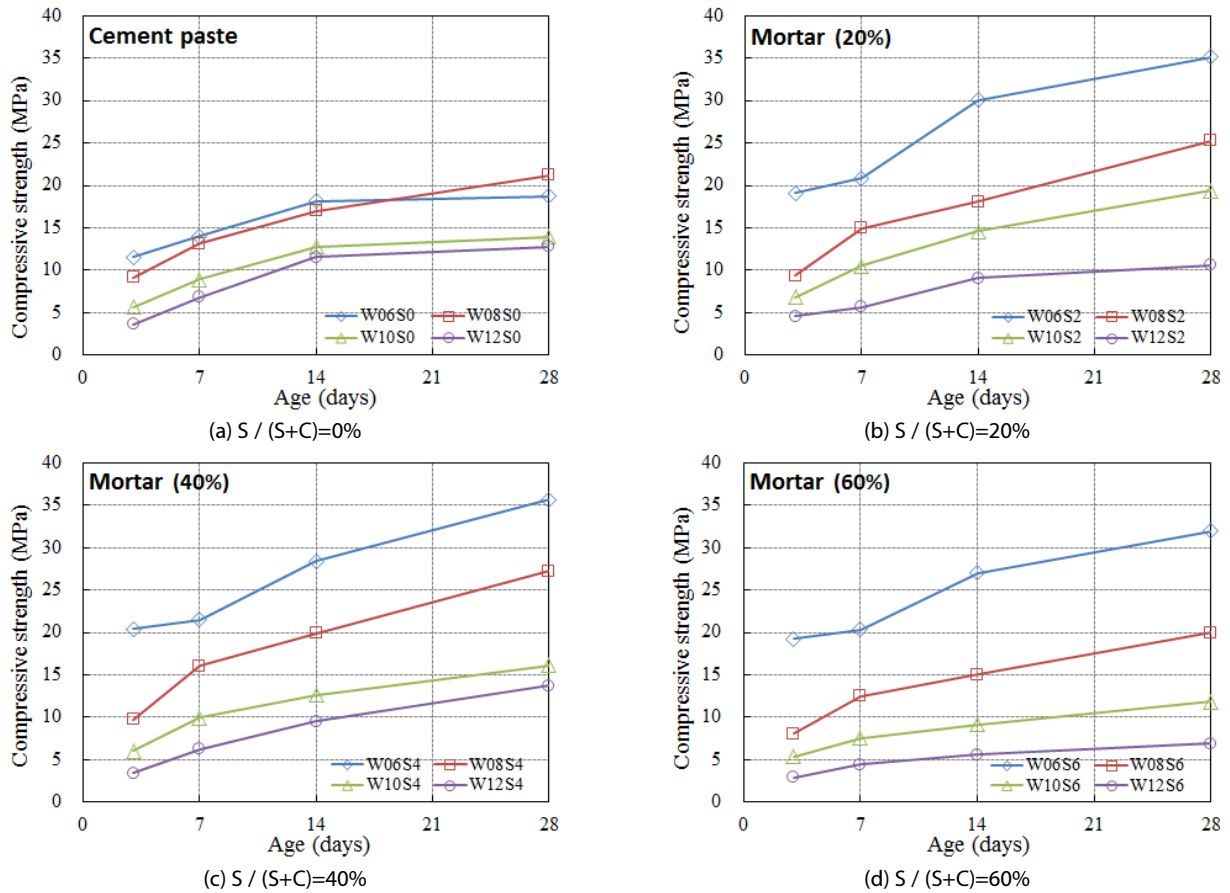


Fig. 3. Relationship between Compressive Strength and Age

4.1.1 재령에 따른 강도특성

Fig. 3에서 보여주는 것과 같이 재령이 증가함에 따라 시멘트풀이나 모르타르의 강도는 증가한다. 3일 강도 기준으로 물/시멘트비가 80~120%인 경우, 잔골재 배합에 무관하게 3~10MPa 범위의 강도값을 나타냈으나, 물/시멘트비가 60%인 경우, 시멘트풀은 약 12MPa, 잔골재가 배합된 모르타르는 약 20MPa로 나타났다. 따라서 주면고정액의 초기 강도를 확보하기 위해서는 물/시멘트비를 60% 사용하고 잔골재를 배합하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 시멘트풀의 경우 재령 14일에 28일 강도의 90%가 발현되어 강도증가속이 둔화되고 있으며, 잔골재가 배합된 모르타르는 70~85% 범위로 발현되어 14일 이후에도 꾸준히 증가함을 볼 수 있다.

Fig. 4에 28일 강도를 기준으로 재령일에 따른 강도비(f_n/f_{28})를 도식하였으며, Fig. 4의 (a)는 물/시멘트비에 따른 재령별 강도비, (b)는 잔골재 배합에 따른 재령별 강도비를 나타내었다. 잔골재의 배합에 따라서 강도발현 정도는 크게 차이가 없으며, 물/시멘트비에 따라서는 일부 차이를 나타내고 있다. 재령 3일에 대한 강도비는 물/시멘트비가 60%인 경우 54~62%, 80%인 경우 36~43%, 100%인 경우 35~45%, 120%인 경우 25~43% 범위로 나타나 물/시멘트비

가 60%인 경우 비교적 값이 높고, 80~120%인 경우는 비슷한 범위를 보였다. 재령 14일에서는 60%인 경우 80~97%, 80%인 경우 71~80%, 100%인 경우 75~92%, 120%인 경우 69~90% 범위에 분포하여 재령 3일에 비해 값의 차이가 줄었으나 여전히 물/시멘트비 60%인 경우가 높게 나타나고, 80~120%는 유사한 값을 보였다. 따라서, 물/시멘트비가 60%인 경우에 비해 80%이상의 경우에는 재령에 따른 강도발현이 더디게 나타나며, 말뚝의 주면고정액으로는 강도가 빠르게 발현되는 60%의 배합이 유리하다고 판단된다.

4.1.2 잔골재 영향

앞 절에서 언급한 바와 같이 압축강도는 물/시멘트비의 영향을 크게 받을 뿐만 아니라 잔골재의 배합에 의해 강도가 향상됨을 Fig. 3을 통해 확인할 수 있다. Fig. 5는 잔골재 배합비에 따른 28일 강도를 도식한 것으로 잔골재 배합에 따라 강도가 크게 증가함을 볼 수 있으며, 잔골재가 60% 배합된 경우에는 20~40% 배합된 것에 비해 강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 잔골재의 배합으로 강도가 증가하는 것은 골재의 강도가 시멘트풀의 강도보다 크고 골재 사이의 맞물림 효과에 의한 것으로 판단되며, 잔골재를 60%

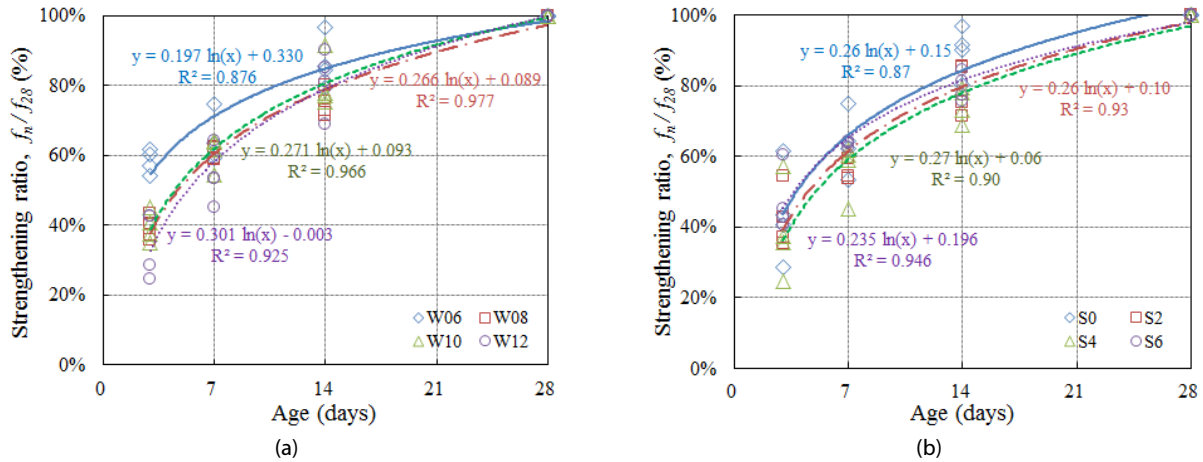


Fig. 4. Relationship between Strengthening Ratio and Ages

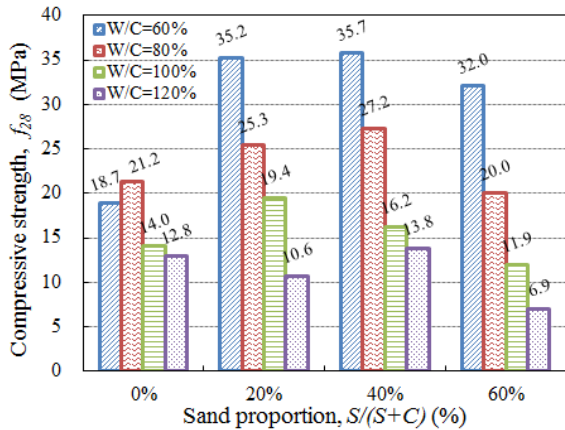


Fig. 5. Variation in Compressive Strength with Sand Proportion

배합한 경우 강도가 다소 감소한 것은 골재가 과다하게 배합됨에 따라 상대적으로 시멘트 양이 감소하여 골재들을 충분히 결합시키지 못하였기 때문으로 사료된다.

동일한 잔골재 배합 안에서 물/시멘트비에 따라 강도차이가 크게 나타남을 확인할 수 있다. 시멘트풀(0%)의 강도를 기준으로 모르타르(20, 40%)를 비교하면 물/시멘트비가 60%인 경우 88~90%, 80%인 경우 19~28%, 100%인 경우 16~39% 증가하였다. 반면, 120%인 경우는 그 효과가 크지 않았으며, 잔골재비 20%의 경우 시멘트풀보다 17%가 감소하였다. 물/시멘트비의 증가에 따라 여유수가 증가되고, 상대적으로 시멘트 양이 감소함에 따라 결합력이 저하되었기 때문이며, 그 영향은 시멘트풀보다 잔골재를 배합한 모르타르에서 더욱 크게 나타났다.

잔골재 배합비가 압축강도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기존연구결과(Haach et al., 2011; Park et al., 2009; Singh et al., 2015)와 함께 Fig. 6에 도식하였으며, 물/시멘트비에 따라

(a)~(d)로 구분하였다. 동일한 물/시멘트비에서 잔골재 배합비가 증가함에 따라 압축강도는 감소하나 물/시멘트비에 따라 감소 경향은 다르게 나타났다. 먼저 물/시멘트비가 60%, 80%인 경우 잔골재가 20~40% 배합되었을 때 비슷한 강도를 나타내다 60%이상 배합될 때 강도가 급격히 감소하였으며, 물/시멘트비가 100%인 경우 선형적으로 감소하였다. 물/시멘트비가 가장 큰 120%에서는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으나 압축강도가 약 5~15MPa 범위에 분포되어 있었다.

따라서 암반매입말뚝의 주면고정액의 경우, 시멘트풀보다는 모르타르를 사용하는 것이 강도면에서 더 유리하며, 잔골재 배합비는 비교적 강도가 크게 나타나는 20~40%의 범위에서 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

4.1.3 물/시멘트비의 영향

Fig. 7은 물/시멘트비에 따른 시멘트풀과 모르타르의 압축강도를 기존연구결과(Do et al., 2015; Hong et al., 2008; Mun et al., 2009; Park, 2004; Park et al., 2009; Singh et al., 2015)와 함께 도식한 것으로 (a)는 시멘트풀, (b)는 모르타르에 대한 것이다. 물/시멘트비가 증가함에 따라 압축강도는 모두 지수적으로 감소하였으며, 회귀분석을 통해 Eqs. (1) and (2)와 같은 상관식을 각각 얻었고, 각 상관식의 결정계수 R^2 가 0.83, 0.85로 나타났다.

$$f_{c,28} = 16.14 (W/C)^{-0.85} \quad R^2 = 0.83 \quad (1)$$

$$f_{m,28} = 15.76 (W/C)^{-1.33} \quad R^2 = 0.85 \quad (2)$$

여기서, f_{28} : 압축강도(MPa)

W/C : 물-시멘트비(%)

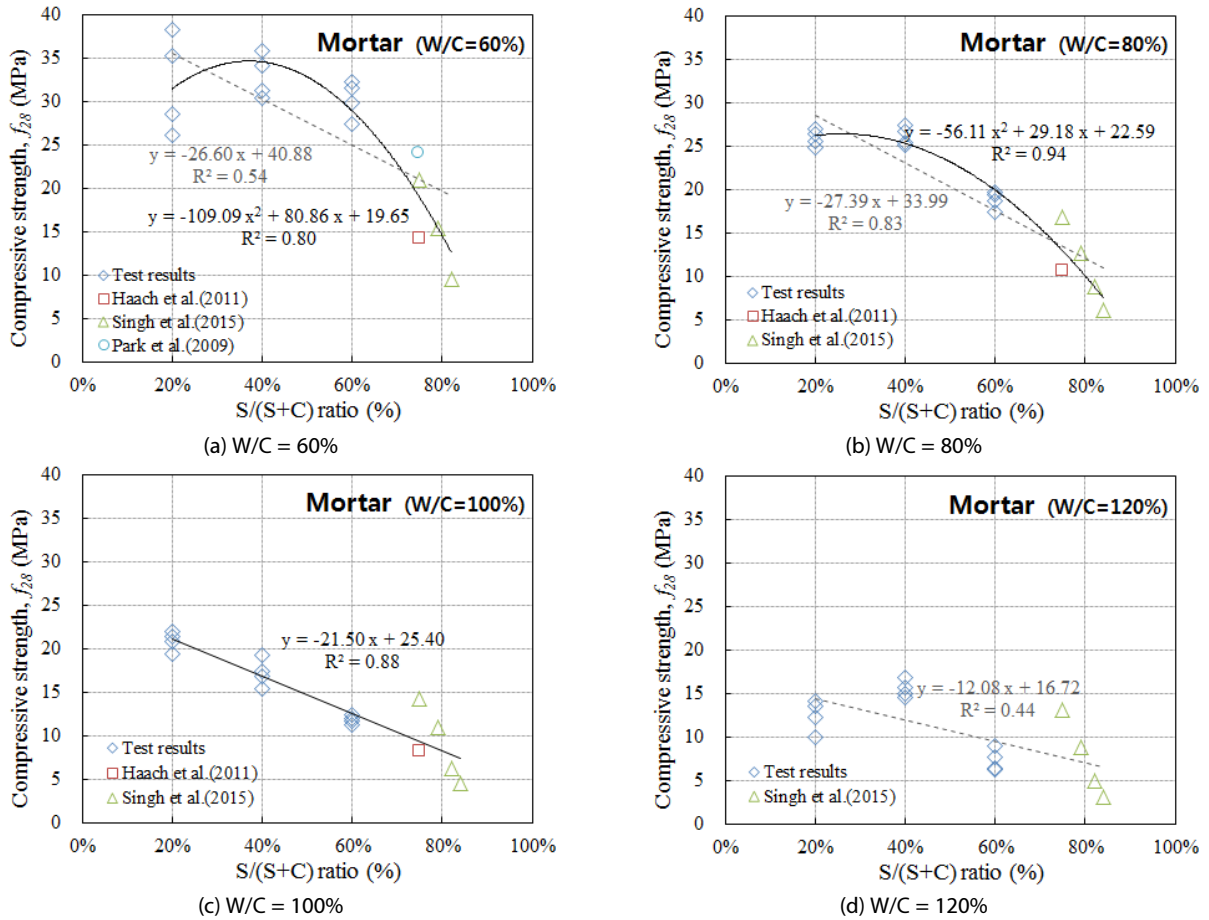


Fig. 6. Relationship between Compressive Strength and Sand Proportion

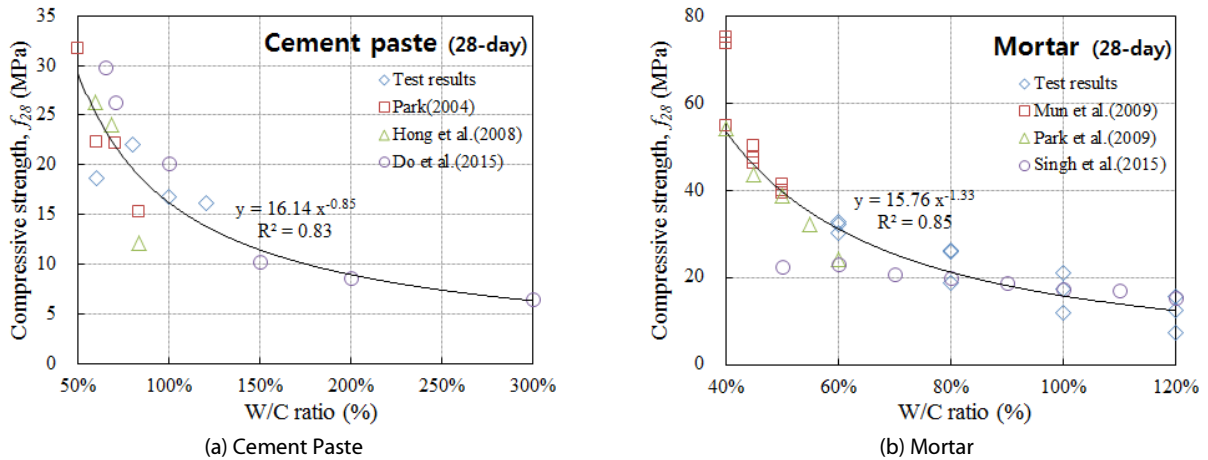


Fig. 7. Relationship between Compressive Strength and W/C Ratio

구조물기초설계기준(KGS, 2015)에서 주면고정액으로 제시하는 물/시멘트비가 83~100%인 시멘트풀은 약 10~23MPa의 압축 강도를 나타내고 있으며, 부배합을 사용해야 하는 경우 물/시멘트비가 50~60%라 한다면 18~32MPa의 강도를 나타낸다. 모르타르는

물/시멘트비가 증가함에 따라 강도가 급격히 감소하고 있으며, 물/시멘트비가 80~100%인 경우 16~27MPa, 50~60%인 경우 22~42MPa의 범위로 강도가 분포하고 있다. 물/시멘트비는 강도와 위커빌리티에 큰 영향을 미치는 인자이므로 사용되는 부분에 따라

적정 범위에서 결정해야 한다. 매입말뚝은 굴착공에 주면고정액을 주입한 후에 말뚝을 삽입해야 하므로 물/시멘트비를 60~80% 범위로 사용하는 것이 위커빌리티를 크게 저하하지 않으면서 높은 강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 탄성계수

본 시험에서 탄성계수는 시험체별 응력-변형을 선도의 기울기로 결정하였으며, Park (2004)의 연구결과와 함께 분석하였다.

Fig. 8은 물/시멘트비에 대한 시멘트풀의 탄성계수를 나타낸 것으로 물/시멘트비가 증가함에 따라 탄성계수는 지수적으로 감소하였다. Eq. (3)은 물/시멘트비에 대한 탄성계수를 회귀분석한 결과로, 결정계수 R^2 가 0.83으로 나타났다.

$$E_{28} = 887.80 (W/C)^{-1.64} \quad R^2 = 0.83 \quad (3)$$

여기서, E_{28} : 재령 28일 탄성계수(MPa)

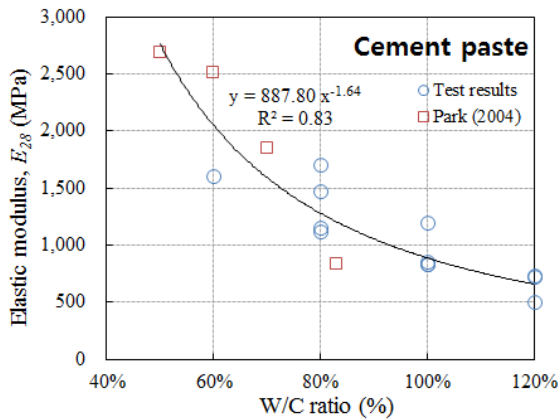


Fig. 8. Relationship between Elastic Modulus and W/C Ratio

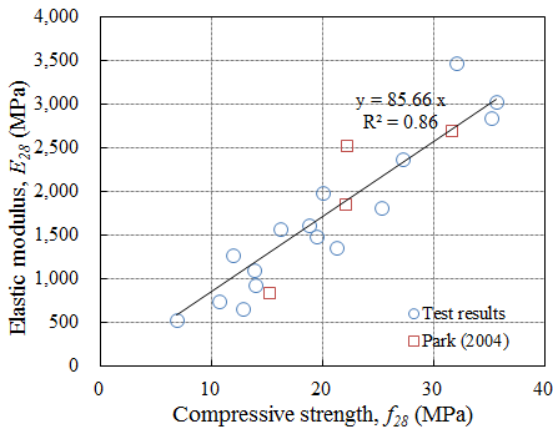


Fig. 9. Relationship between Elastic Modulus and Compressive Strength

Fig. 9는 실험 데이터와 Park (2004)의 연구결과를 정리하여 재령 28일에서의 압축강도와 탄성계수간의 관계를 도식한 것으로 압축강도와 탄성계수는 선형비례관계를 보이고 있다. Eq. (4)는 압축강도와 탄성계수 간의 상관식이며, 결정계수가 0.86으로 나타났다.

$$E_{28} = 85.66f_{28} \quad R^2 = 0.86 \quad (4)$$

4.3 모르타르 vs. 소일시멘트

소일시멘트와 모르타르의 잔골재 배합비에 따른 압축강도특성을 비교하기 위하여 기존 연구결과(Park, 2004)와 함께 비교하였으며, 물/시멘트비에 따라 강도가 크게 변화하므로 유사한 물/시멘트비(소일시멘트=83%, 모르타르=80%)에 대한 결과를 사용하였다. Park (2004)은 SM, SC계열의 화강풍화토를 사용하였으며, 본 연구에서 시험한 결과와 함께 Fig. 10에 도식하였다.

Fig. 10에 나타난 것과 같이 모르타르는 6.03~25.94MPa, 소일시멘트의 SM계열은 1.7~16.3MPa, SC계열은 0.8~14.7MPa 범위로 분포하고 있다. 동일한 잔골재 배합에서 모르타르가 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 소일시멘트 내에서는 SM계열이 SC계열보다 큰 값을 나타내고 있다. 모르타르와 소일시멘트 모두 잔골재 배합비가 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 잔골재 배합에 따라 다르지만 본 연구에서의 최대배합과 최소배합을 기준으로 살펴보면, 모르타르의 강도가 소일시멘트의 강도보다 약 60%~350% 크게 나타나고 있어 모르타르의 강도가 더 우수함을 확인할 수 있다. 일반적으로 주면지지력은 사용재료의 강도와 상관성이 있으므로 암반매입말뚝의 주면고정액으로 모르타르를 사용하는 것이 더 우수한 지지성능을 나타낼 것으로 사료된다.

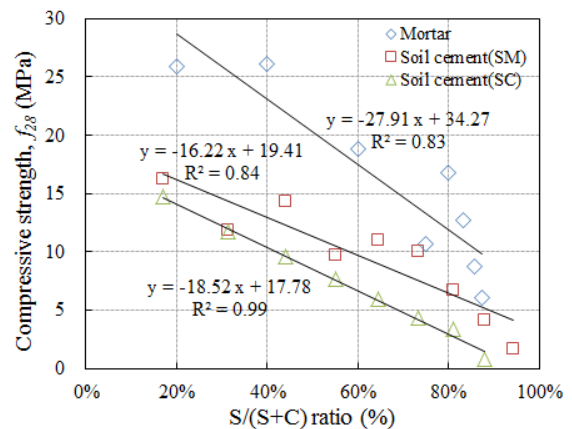


Fig. 10. Comparison of Compressive Strength of Mortar and Soil Cement by Proportion

5. 결론

암반매입말뚝의 주면고정액에 잔골재를 배합한 모르타르를 사용하기 위하여 잔골재와 물/시멘트비에 따른 역학적 특성을 평가하고 기존의 연구결과와 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 실험에서 물/시멘트비가 60%일 때 주면고정액의 초기강도가 높게 나타났으며, 시멘트풀의 경우 약 12MPa, 모르타르의 경우 20MPa로 잔골재를 배합한 모르타르가 초기 강도를 확보하는데 더 유리하다.
- (2) 잔골재 배합은 시멘트풀 대비 강도를 증가시키나 배합량이 증가함에 따라 강도가 감소하는 경향을 나타내며, 물/시멘트비에 따라 감소 경향이 상이하게 나타난다.
- (3) 물/시멘트비는 모르타르의 강도를 지수적으로 감소시키는 경향을 나타냈으며, 시험 데이터와 기존 연구결과를 통해 모르타르의 강도 추정식을 다음과 같이 제안한다.

$$f_m = 15.76 (W/C)^{-1.33}$$

- (4) 암반매입말뚝의 주면고정액은 위커빌리티를 크게 저해하지 않으면서 높은 강도를 확보하기 위해 잔골재 배합비는 20~40% 범위, 물/시멘트비는 60~80% 범위에서 사용하는 것이 적절하다.
- (5) 동일한 물-시멘트비에서 모래를 배합한 모르타르가 시멘트풀이나 소일시멘트보다 우수한 역학적 성능을 나타내며, 암반매입말뚝의 주면고정액으로 모르타르를 사용하는 것이 강도면에서 더 유리하다.
- (6) 향후 주면고정액의 배합비를 변수로 하여 말뚝의 주면거동에 대한 연구를 수행하므로 매입말뚝에 대한 모르타르의 적용성을 평가하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(과제번호:20

094020200020)과 교육부의 산학협력 선도대학(LINC)육성사업비를 지원받아 수행한 연구과제 결과입니다.

References

- Do, J., Nam, M., Shim, J., Park, Y. and Lee, S. (2015). "Engineering characteristics of cement milk for bored piles." *Jour. of the Korean Geotechnical Society, KGS*, Vol. 31, No. 12, pp. 29-43 (in Korean).
- Eon, N., Yun, S., Park, W., Yun, H. and Kim, D. (2013). "The compressive strength characteristics of cement paste containing blast furnace slag with elapsed curing time." *Proc. of 2013 Korea Concrete Institute conference, KCI*, Gangwon, Korea, pp. 227-228 (in Korean).
- Haach, V. G., Vasconcelos, G. and Lourenço, P. B. (2011). "Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars." *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No. 6, pp. 2980-2987.
- Hong, W., Lee, J. and Chai, S. (2008). "Bearing capacity of SDA augered piles in various grounds depending on water-cement ratio of cement milk." *Jour. of the Korean Geotechnical Society, KGS*, Vol. 24, No. 5, pp. 37-54 (in Korean).
- Korean Geotechnical Society. (2015). Code requirements for structural foundation design, pp. 364-369 (in Korean).
- Mun, T., Kang, C. and Lee, H. (2009). "Characteristics of physical properties according to compound condition of grout mortar." *Jour. of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering, KSEE*, Vol. 27, No. 1, pp. 32-37 (in Korean).
- Park, J. (2004). "Strength and friction behavior of cement paste poured in the bored pile." *Jour. of the Korean Geo-Environmental Society, KGES*, Vol. 5, No. 3, pp. 31-39 (in Korean).
- Park, S., Kwon, S. and Kim, T. (2009). "An experimental study on the durability characterization using porosity." *Jour. of the Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 29, No. 2, pp. 171-179 (in Korean).
- Singh, S.B., Munjal, P. and Thammishetti, N. (2015). "Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar." *Jour. of Building Engineering*, Vol. 4, pp. 94-100.
- Yoon, S.H. and Ko, K.W. (2011). *Topography, geology, and underground water in Jeju Island*, Nae Ha Publishing Company (in Korean).