

PC (Prestressed Concrete) 그라우트용 레미탈에 관한 연구

A Study on Ready-Mixed-Mortar for Prestressed
Concrete grouting material

박길수·전진호·김경덕·이학봉*·노현승·이완경
(한일시멘트공업(주) 중앙연구소)

ABSTRACT

As conventional grouting materials for the sheath such as cement slurry or cement-mortar are mixed and pumped in site, those harden with bleeding or shrinkage and meets low compressive strength. Also the materials haven't always same cements, sand size distributions, additives in site, so those materials have unstable quality properties. We have studies on ready-mixed-mortar for grouting pretensioned or post-tensioned cables and rods to encapsulate the steel so that we have developed a formulation of specially selected, flowable, shrinkage-compensating materials.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

산업경제 기초가 되는 건설, 토목분야의 기술발달로 인한 새로운 건설공법이 계속 개발되면서 그 공법에 알맞은 재료를 요구하고 있다. 국내 PC 건설공법에 적용되고 있는 쉬스내 충전용 몰탈은 시멘트와 물을 혼합하여 직접 타설하고 있는 수준이다. 이런 방법으로 타설할 경우, 시멘트 함량 및 W/C비가 높아 블리딩 발생량이 높고, 초·후기 수축률과 충전성이 떨어져 제품으로서 제역할을 하고 있지 못하다. 또한 응결시간 조절이 불가능하고, 강도의 불안정, 내구성 저하 등의 많은 문제점이 발생하는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 현장에서 사용하고 있는 PC 그라우트용 레미탈 제품에 비해 초·후기 수축률 보상, 고유동성, 응결시간 조절, 충전성, 내구성, 고강도성을 고려한 현장배합과 같은 원가절감형 HR1 배합과 고기능성을 가진 HR2 배합을 병행하

여 PC 그라우트용 레미탈 개발에 관한 연구를 하였다.

1.2 PC 그라우트용 레미탈의 물리적 특성 조건

PC 그라우트용 레미탈의 물리적 특성 조건은 <표1>과 같다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 <표1>과 같은 물리적 특성 조건을 근간으로 보다 좋은 품질을 개발하기 위하여, <표2>와 같은 물리적 특성 조건을 기준으로, 현장배합의 물리적 특성을 검토하고 그 결과를 기준으로 원가절감형 HR1 배합과 고기능성 HR2 배합에 대하여 실험을 실시하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

〈표 1〉 PC 그라우트용 레미탈의 물리적 특성 조건

구분	한 국 ^{1, 2, 3)}			일 본 ^{4, 5, 6)}			
	Precast, Prepacked Concrete		Prestressed Concrete	Prestressed Concrete			
	저 강 도	고 강 도	-	현행기준	업 체 관 리 기 준		
			Conbex 208 T		Pozzolih GF 1700	Pozzolih GF 1720	
블리딩율 (%)	3 이하	1 이하	3 이하	3 이하	0 이하	0 이하	0 이하
팽창율 (%)	5~10	2~5	10 이하	10 이하	-0.5~0.0	-0.5~0.0	-0.5~0.0
Consistency 점 성(초)	16~20	25~50	시 공 에 적합한 값	저 점 성 15~30 ¹⁾	고 점 성 5~12 ²⁾	중 점 성 3~10 ³⁾	고 점 성 5~12 ⁴⁾
W/C비 (%)	45 이하	40 이하	45 이하	45 이하	45 이하	45 이하	45 이하
압축강도 (kgf/cm ²)	소요강도	400 이상	200 이상	200 이상	200 이상	300 이상	300 이상

주) 한국: 건설교통부 제정 콘크리트 표준시방서('99년 1월 개정 발행) J1): JA 로트, J): J₁₄ 로트

〈표 2〉 물리적 특성 조건

유동성 (점성)	압축강도 (kg/cm ²)	블리딩율 (%)	W/R* (%)	작업성유지 (%)	팽창율 Vol. %	길이변화율 (%)	재료분리
35초 이하	350 이상	0	40 이하	85 (30분후)	0~3 (3시간)	-0.1~0.1 (7일)	무

* : W/R : 물/레미탈

〈표 3〉 모래의 물리적 성질

시료	항목	비 중	흡수율 (%)	입도크기 (Mesh)	조립율	점토덩어리 (%)	염화물 (%)	유기불순물
B1		2.63	1.06	14~48	2.76	0.01	없음	없음
B2				30~100	1.48			
B3				50~100	0.8			
B4				80~120	0.75			

〈표 4〉 사용재료 화학성분

(단위 : wt. %)

사용재료	화학성분	Al	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	sum
Cement		-	21.36	5.01	3.55	61.97	2.42	2.23	1.71	98.25
팽창제	EX 1	-	6.34	36.42	2.94	41.33	0.52	11.29	1.22	100.06
	EX 2	-	1.30	0.04	0.20	39.82	-	55.89	2.50	99.75
	EX 3	89.80	6.36	1.71	0.65	0.27	0.09	-	0.32	99.20
총진재		-	28.72	12.19	0.55	42.62	4.03	10.63	0.13	98.87

시멘트는 당사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분은 〈표 4〉와 같다.

본 연구에 사용된 모래는 B사 모래(B1, B2, B3, B4)를 사용하였으며, 물리적 성질은 〈표 3〉과 같다.

2.2.2 모래

2.2.3 팽창제

본 연구에 사용된 팽창제는 시중에서 범용적으로 사용되는 제품을 사용하였으며, 화학성분은 <표 4>와 같다.

2.2.4 혼화제 및 충전재

본 연구에 사용된 혼화제는 유동화제(나프탈렌계, 펄라민계), 소포제, 재료분리 방지제 등이며, 충전재는 당사에서 생산되고 있는 제품을 사용하였다. 그 화학성분은 <표 4>와 같다.

2.3 실험방법

2.3.1 모르타르 혼합

KS L 5109(수경성 시멘트 반죽 및 모르타르의 기계적 혼합방법)의 혼합기를 사용하여, 물을 먼저 넣은 후 Grout材를 넣어 혼합하였다. 이때 혼합속도는 1속(140 ± 5rpm)으로 3분간 혼합하였다.

2.3.2 Flow 및 Flow Loss

KS L 5111 시험용 플로우 테이블용 Flow Cone(상단경 70 ± 5mm, 하단경 100 ± 0.5mm, 높이 50 ± 0.5mm)을 유리판 위에서 들어올렸을 때 자연흐름을 측정하여 Flow가 315 ± 15mm을 기준으로 하였다. Flow loss율은 혼합후 1차로 Flow를 측정한 후, 표면수의 증발을 막기 위해 즉시 물에 젖은 종이로 덮어두었다가, 29분이 지난 후 1분간 충분히 재혼합한 후 2차로 Flow를 측정하여, 다음의 식으로 flow loss율을 계산하였다.

$$\text{Flow loss율} = \frac{X_0 - X}{X_0} \times 100(\%)$$

X : 2차 Flow 측정치

X₀ : 1차 Flow 측정치

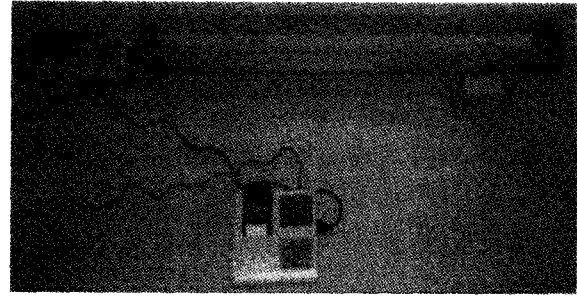
2.3.3 단위용적중량 측정

1ℓ 용기를 이용하여 fresh mortar의 단위용적중량을 측정하였다.

2.3.4 Consistency

KS F 2432(주입 모르타르의 Consistency 시험방법)에 따라 측정하였다.

2.3.5 길이변화율 측정



<사진 1> 길이변화율 시험기

<사진 1>에서 보는 바와 같이 100cm × 10cm × 5cm 길이변화용 몰드를 이용하여 레미탈과 물을 혼련할 때부터 공시체를 제작하여 현장성에 가장 근접한 방법으로 실험실내에서 양생하면서 길이변화율을 측정하였다(온·습도는 수시변화). 측정기기로는 Digital Micrometer(분해능 0.001mm)를 사용하였으며, 길이변화율은 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{길이변화율} = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100(\%)$$

X : 재령에 따른 길이

X₀ : 초기 길이

2.3.6 초기 팽창 및 블리딩 측정

KS F 2433(ASTM C 940) 초기 팽창 및 블리딩 시험방법에 의하여 측정하였다.

2.3.7 압축강도 측정

KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)의 5cm × 5cm × 5cm 몰드를 이용하여, 다짐없이 공시체를 제작하고 재령 1, 3, 7, 28일 압축강도를 측정하였다. 양생방법은 항·온습실(T : 21 ± 1°C, HR : 65 ± 5%)에서 1일간 양생 탈형 후 27일간 수중(21 ± 1°C) 양생하였다.

3. 실험 결과

현장 및 HR1, HR2 배합에 관한 실험 결과를 다음과 같이 비교하였다.

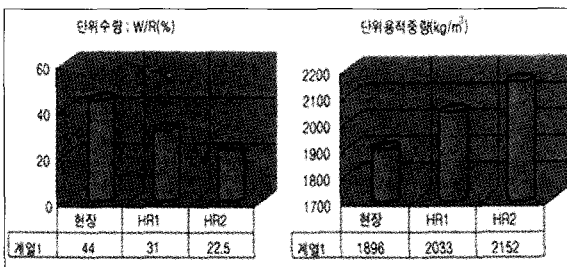
3.1 단위수량(W/R) 및 단위용적중량 비교 결과

현장배합의 실험 결과를 기준으로 단위수량 및 단위용적중량을 비교한 결과, <그림 1>에서 보는 바와 같이 단위수량의 경우, 현장배합보다 HR1 배합은 13%, HR2 배합은 21.5% 감소하였다. 단위용적중량 경우는 현장배합 보다 HR1 배합은 137 kg/m³ (7.2%), HR2 배합은 256 kg/m³ (13.5%) 증가하였다. 이는 충전율이 증가하였다는 것을 의미하며, 충전율이 높고 단위수량이 감소하면 블리딩 발생량을 크게 감소시킬 수 있다는 의미가 되며, 또한 초·후기 수축을 감소와 압축강도 증가에 큰 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다.

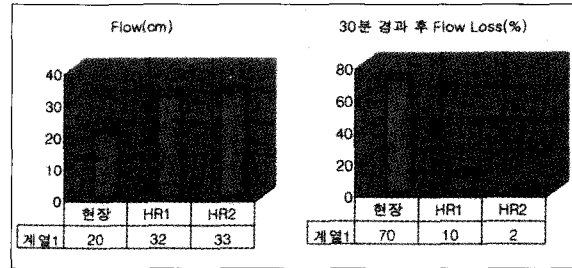
3.2 작업성(Consistency, Flow, Flow Loss) 비교 결과

현장배합의 실험 결과를 기준으로 작업성을 비교한 결과, <그림 2>에서 보는 바와 같이 Consistency 경우, 현장배합보다 HR2 배합은 8초 감소로 수직 유동성(침투성)이 증가하였으며, HR1과 현장배합은 같은 Consistency를 나타내었지만, Flow(자연흐름성)에 있어서는 약 12cm 감소하는 경향을 나타내었다. 이를 쉬스내에 타설될 경우, 자연흐름성이 떨어지므로 <그림 1>에서 보는 바와 같이 충전성이 감소될 가능성이 높다. Flow 경우, 현장제품에 비해 HR1과 HR2 배합이 각각 12cm, 13cm 증가로 수평 유동성(자연흐름성)이 크게 증가하였는데 이는 유동성 및 충전성에 있어서도 뛰어난 효과를 나타낼 것으로 판단된다.

또한, 30분 경화후의 Flow loss율(보상율)은 현장배합보다 HR1과 HR2 배합이 각각 60%, 68% 수평 유동성을 유지하였는데 이는 현장 작업 여건에 따라 충분한 작업성을 맞출 수 있다고 판단되며, 유동성 및 충전성에 있어서도 유리하다고 판단된다. Consistency와 Flow는 물과 반죽



<그림 1> 단위수량, 단위용적중량 비교 결과



<그림 2> 작업성(Consistency, Flow, Flow Loss) 비교 결과

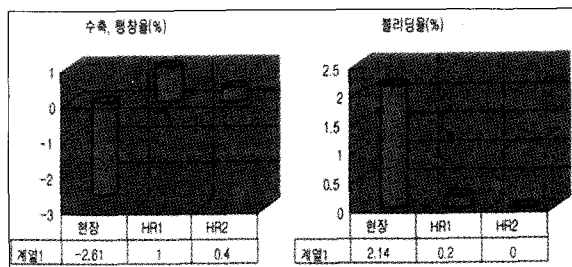
된 레미탈의 점성과 상관관계가 있으며, 또한, 점성은 블리딩 및 충전율, 공기량과 관계가 있기 때문에 적당한 재료와 첨가량 선정이 매우 중요하다.

3.3 초기 팽창율 및 블리딩율 비교 결과

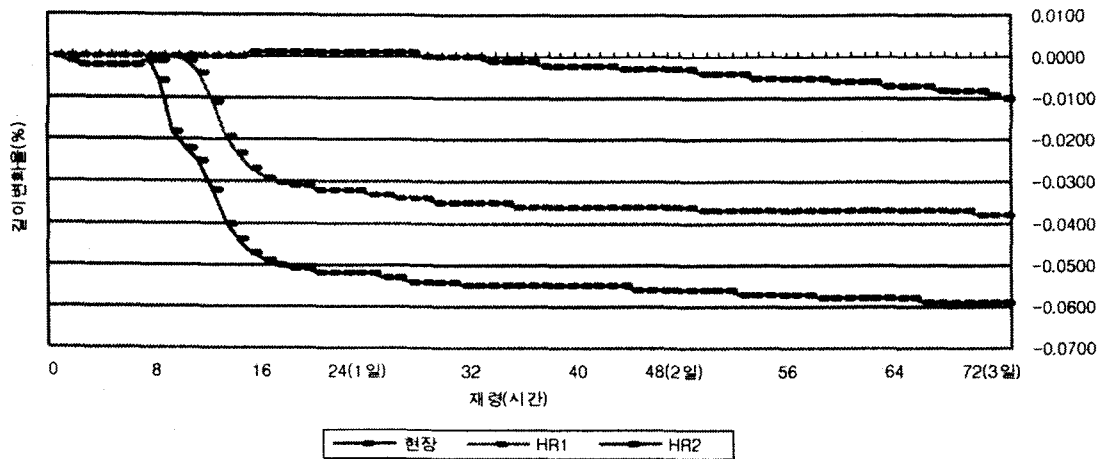
현장배합의 실험결과를 기준으로 수축·팽창율 및 블리딩율을 비교한 결과, <그림 3>에서 보는 바와 같이 수축·팽창율 경우, 현장배합보다 HR1과 HR2 배합은 각각 3.61%, 3.01% 팽창하였으며, HR2 배합의 초기팽창률은 HR1보다 0.6% 감소시킨 것은 용적증가를 감소시킴으로써 수밀성을 높여 장기 수축율을 감소시키기 위함이다. 블리딩율 경우, HR1과 HR2 배합은 각각 1.94%, 2.14%로 크게 감소하였다. 이는 원재료의 물리·화학적 특성을 적절하게 부여함으로써 나타난 결과로서 단위수량 감소의 영향이 크며, 또한 모래의 입도크기를 조정함으로써 현장배합보다 충전성이 높기 때문이다.

3.4 길이변화율 비교 결과

실험 결과에 의하면 현장 배합은 0~8시간 구간(유지)에서 수축을 나타내지 않았으며, 8(-0.0060%)~20(-0.0510%) 시간 구간(급속수축)



<그림 3> 초기 수축, 팽창율, 블리딩율 비교 결과



〈그림 4〉 길이변화를 비교 결과

은 급속한 수축을 나타내었다. 그 이후부터 72시간(-0.0590%)까지는 서서히 수축이 진행되는 것으로 나타나고 있다.

급속한 수축구간은 시멘트가 그 시점부터 수화가 활발하게 일어나는 것을 의미하며, 〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 3시간까지의 초기 수축율(-2.61%)이 높기 때문에 쉬스내에 타설될 경우 초기 수축율에 대한 보상이 어렵고, 소성균열 발생이 높은 구간으로 생각된다.

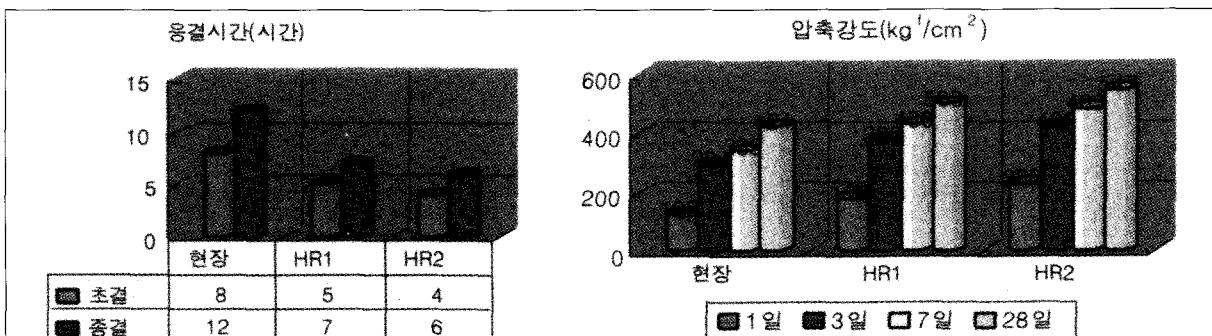
HR1 배합은, 0~10시간 구간(유지)에서 수축을 나타내지 않았으며, 10(-0.0010%)~18(-0.0310%) 시간 구간은 급속한 수축을 나타내고 있다. 그 이후부터 72시간(-0.0310%)까지는 서서히 수축이 진행되는 것으로 나타나고 있다. 현장배합의 길이변화를 실험 결과와 비교하여 보면, 〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 3시간까지의 초기팽창(1%)으로 수축을 보상하였기 때문에 후기수축은 그다지 크지 않은 것이며, 쉬스내에 타설될 경우 수

축은 크지 않을 것으로 생각된다.

HR2 배합은, 1~8시간 구간은 낮은 수축(-0.0010%)을 나타내다가 8시간부터 약간 팽창을 나타내어 32시간까지 거의 수축을 하지 않았으며, 33(-0.0010%)~72(-0.0040%) 시간 구간까지 높은 수축율을 나타내지 않았다. 현장배합의 길이변화를 실험 결과와 비교하여 보면, 〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 3시간까지의 초기팽창(0.5%)으로 수축을 보상하였기 때문에 후기수축은 그다지 크지 않은 것이며, 쉬스내에 타설될 경우 수축은 크지 않을 것으로 생각된다.

3.5 응결시간, 압축강도 비교 결과

현장배합의 실험결과를 기준으로 응결시간 및 압축강도를 비교한 결과, 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 응결시간 경우, 현장배합 보다 HR1 배합의 초결, 종결은 각각 3, 5시간 빨라졌으며, HR2 배합은 각각 4, 6시간 빨라졌다. 응결시간은 원



〈그림 5〉 응결시간, 압축강도 비교 결과

재료의 물리·화학적 특성을 이용하여 현장 여건에 따라 조절할 수 있다. 압축강도 경우는 단위시멘트량이 크게 감소함에도 불구하고 재령 28일에 있어서 HR1과 HR2 배합은 각각 76kgf/cm, 123kgf/cm 증가하였다. 이는 앞에서 서술한 바와 같이 단위수량을 크게 감소시킨 것과 충전성을

높인 것이 그 이유로 추정할 수 있다.

4. 현장적용 가능성 검토

상기와 같은 실험 결과를 현장적용 가능성 검토로 1, 2차에 걸쳐서 실시하였는데 1차(1999년 4월 26, 29일)는 현대건설 하청업체로 화성산업(주) 공장 품관실에서, 2차(1999년 7월 7일)는 2002년 울산월드컵 축구경기장 현장 품관실에서 단위수량, Flow, 압축강도에 대하여 실시하였다. 참관업체는 <표 5>와 같으며, 실험 결과는 <표 6>에 나타내었다.

현장 적용성 검토결과 <표 6>에서 보는 바와 같이 만족한 물리적 특성을 나타내었다. 참관업체에서도 양호하다는 평가를 하였다. <사진 2, 3>은 울산월드컵 종합경기장 관련 사진이다.

<표 5> 참 관 업 체

구분	업 체 명
1 차	화성산업, 한일시멘트(주)
2 차	일본 구로사와, 현대건설, 화성산업, 달성건화, 한일시멘트(주), POSA.C 감리단

<표 6> 물리적 특성 실험 결과

구분	W/R (%)	Flow (mm)	압축강도(kgf/cm ²) 수중양생			
			1d	3d	7d	28d
HR 1	33.0	325	165	346	432	483
HR 2	22.0	330	236	356	451	524

5. 결론 및 고찰

본 연구는 현장에서 사용하고 있는 PC 그라우트용 레미탈 제품에 비해 초·후기 수축을 보상, 고유동성 응결시간 조절, 충전성, 내구성, 고강도성을 고려한 현장배합과 같은 원가절감형 HR1 배합과 고기능성을 가진 HR2 배합을 병행하여 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 현장배합의 물리적 특성을 검토한 결과 단위수량(W/R) 44%, Flow loss 70%, Consistency 30초, 수축율 2.6%, 블리딩율 2.14%로 그라우트 레미탈이 갖추어야 할 주요 물리적 특성조건을 벗어난 제품이었다.
2. 현장배합의 문제점을 보완한 원가절감형 HR1 배합은 현장배합에 비교하여 단위수량 13% 감소, 단위용적중량(충진율 : 7.2%) 137kg/m³ 증가, 유동성 및 자연 흐름성(12cm) 증가, Flow loss(유동성 유지)율 60% 감소, 수축·팽창율 3.61% 증가, 블리딩율 1.94% 감소, 길이변화율(72시간) 0.0210% 증가, 압축강도 재령 28일에서 76kgf/cm² 증가하였으며 응결시간 조절이 가능하였다. 그러나 배합특성상 블리딩율, 내구성, 후기수축 보상에 있어서 문제가 있는 것으로 판단되지만, 공사현장에서 사용하고 있



<사진 2> 울산월드컵 축구 전용구장 현장



<사진 3> PPC(Precast Prestressed Concrete) 압착 기등

는 현장배합보다는 우수한 물리적 특성을 나타내었다.

3. HR1(원가절감형) 배합에 대한 단점을 보완하여 고기능성을 부여한 HR2 배합은 현장배합에 비교하여 단위수량 21.5% 감소, 단위용적중량(충진율: 13.5%) 256kg/m³ 증가, 유동성 및 자연흐름성(13cm)이 증가, Flow loss(유동성 유지)을 68% 감소, 수축·팽창율 3.01% 증가, 블리딩을 2.14% 감소, 길이변화율 0.0550% 증가, 압축강도 재령 28일에서 123kgf/cm² 증가, 응결시간 조절가능하였으며, 현장 및 HR1 배합보다 매우 우수한 물리적 특성을 나타내었다.
4. 상기 개발된 제품에 대하여 1,2차에 걸쳐서 현장적용 가능성 검토 결과 매우 양호하였다.

〈참 고 문 헌〉

1. 한국콘크리트학회, “프리스트레스트콘크리트”, 건설교통부 제정 콘크리트표준시방서, 1999. pp. 223~237.
2. 한국콘크리트학회, “프리팩트콘크리트”, 건설교통부 제정 콘크리트표준시방서, 1999. pp. 169~186.
3. 한국도로교통협회, “프리스트레스트콘크리트”, 건설교통부 제정 도로교표준시방서, 1999. pp. 164~175.
4. 菅原操, “プレストレストコンクリートのグラウト作業とグラウト品質の改良” セメント・コンクリート, No. 603, May 1997. pp. 8~15.
5. 板井吉彦, “プレキャストプレストレストコンクリート造による大競技場の施工”, 콘크리트工學, Vol. 35, No. 12, 1997. 12. pp. 18~22.
6. 望月秀次, 本間淳史, 上東泰, “PCグラウトの施工技術の現状と非破壊検査による点検” 콘크리트工學, Vol. 34, No. 6, 1996. 6. pp. 4~13.