

## 실리카흄을 혼입한 원심력 콘크리트관의 강도특성

김 태경\*

### Strength Characteristics of Centrifugal Pipes With Silica Fume Concrete

Tae-Kyung Kim\*

---

#### ABSTRACT

This experimental study was conducted to analyze the characteristics of centrifugal pipes which were made of silica fume concrete. External load tests showed that maximum external load ranged from 1,100~5,300kgf/m with thickness ratio(t/D) of between 4.5%~10.0%. Correlation between thickness ratios and external loads was excellent with  $R^2$  of 0.99. Respective correlation between measured and computed vertical deformation was good with  $R^2$  of higher than 0.90. And therefore, vertical deformation and tensile stress of centrifugal concrete pipes may be theoretically computed with a good precision

---

#### 1. 서 론

종래의 콘크리트 제품은 건축, 토목용 구조물의 주변물로서 최소한의 기능과 외관만 갖추면 되는 것으로 건설부분에서 그다지 중요한 자리 매김을 받지 못한 것이 현실이었다.<sup>(7)</sup>

그러나 프리캐스트 구조물이 급격히 보급되고, 경제성장과 국제화에 따른 제품의 다양화 요구, 그리고 각종 특수공사의 증가 등에 따른 국내 제반규격의 변화 및 매스

컴의 관심으로 인하여, 질적인 향상뿐만 아니라 새로운 제품을 만들기 위한 연구, 개발경쟁이 날로 치열해지고 있다.

본 연구의 대상으로 한 흄관의 경우 원심력다짐 철근 콘크리트관에 대한 제조기술이 확립되어 하수관으로서 널리 이용되어 오고 있다. 오늘날에는 하수의 침전도가 높아짐에 따라 고강도이며 내구성이 강한 하수관의 필요성이 대두되고 있다. 그러나, 원심력 철근 콘크리트관의 강도는 철근비를 증가시켜 관의 파괴강도는 높일수 있으나 관의 균열강도는 기대하기 어렵다. 또한 진동 및 전압 철근콘크리트관은 외압,

---

\* 강원대학교 토목공학과 시간강사

내압, 내구성이 미흡하며, 흡수율이 높아 성토 높이가 낮을 경우 동절기 동파의 위험이 있다.

따라서 본 연구에서는 내구성이 크고 저항성이 우수하도록 실리카흙을 이용하여 원심력 다짐 콘크리트(모르타)관을 제작하고 이에 대한 강도특성을 실험적으로 구명함으로써, 새로운 하수관의 개발을 위한 기초자료로서 제공코저 한다

## 2. 실험 재료

본 연구에서 사용된 골재로 세골재는 강원도 홍천강에서 채취한 자연모래였고, 양호한 모르타르를 제조하기 위해 깨끗한 물로 씻어 유해물을 제거하였으며 골재의 입도는 표준입도곡선안에 들 수 있도록 체가를 시험을 통해 조정하였다. 이의 비중은 2.60, 조립율은 2.99 였다.

시멘트는 비중 3.12인 국내 S 사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 캐나다 SKW사 제품으로 비표면적 1.8~2.0m<sup>2</sup>/g, 비중 2.2인 실리카흙을 사용하였다. 그리고 국내 K사 제품으로 비중 1.21인 나프탈렌 셀포네이트 나트륨계 고성능 유동화제를 사용하였다.

## 3. 배합설계 및 시험방법

### 3.1 원심력 콘크리트관

콘크리트의 배합은 Table 1 과 같은 조건으로 콘크리트 비빔은 잔골재, 시멘트, 실리카흙 순으로 투입하여 30초간 건비빔을 실시한 후, 혼합수(물+고성능 유동화제)를 2/3 정도 투입하여 1분 30초간 비빔을 하였다. 그리고 나머지 혼합수(물+고성능유동화제) 1/3을 넣어 1분 30초간 2차 비빔을 실시하였다. 비빔후 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티를 측정하기 위해 슬럼프 값을 측정하였다. 모르타의 단위면적당 원심력( $j$ )

은 약 117~225 gf/cm<sup>2</sup>으로서 두께가 클수록 증가되었으며, 약 30분 경과시 완전하게 성형되었다. 몰드 타이어 지름은 35.9cm이고, 몰드의 분당 최대 회전수는 1,200 rpm 이었다. 또한 원심력관을 원심 성형후 20±3°C의 대기중 기건양생을 28일 동안 실시하였다.

Table 1. Contents of Mixed Concrete

Variable	C+SF (Kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	Ezcon/ (S+SF) (%)	W/ (C+SF) (%)	SF/ (C+SF) (%)
Quantity	550	40	1.55%	35%	20

note : (C+SF) = Cement + Silica Fume  
(Ezon) = Superplasticizer

### 3.2 원심력 콘크리트관의 형상과 치수

본 연구에서 제작된 원심력관의 치수는 유효길이 300mm, 외경 300mm이며, 외경(D)에 대한 실두께(t)비를 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0%로 변화시켜 Table 2 및 Fig. 1과 같이 4개씩 제작 하였다.

Table 2. Details of centrifugal concrete mortar pipes

Thickness(t) (mm)	Length(mm)	t/D(%)
13.5	300	4.5
15.0		5.0
16.5		5.5
18.0		6.0
19.5		6.5
21.0		7.0
22.5		7.5
24.0		8.0
25.5		8.5
27.0		9.0
28.5		9.5
30.0		10.0

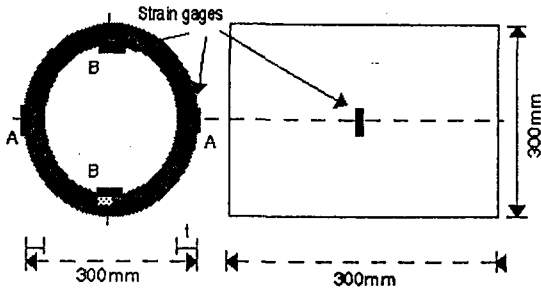


Fig. 1 Description of centrifugal concrete mortar pipes

### 3.3 시험방법

실리카흙을 이용한 고강도 콘크리트의 역학적 성질을 규명하기 위하여 재령 28일에서 다음과 같은 방법에 의해 실험을 실시하였다. 압축 및 인장강도시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도시험방법) 및 KS F 2423(콘크리트 인장강도 시험방법)에 규정된 방법에 따랐으며, 그리고 탄성계수는 극한하중의 40%를 반복적으로 가해 얻은 응력-변형률 곡선의 기울기로부터 얻어진 세컨트계수(Secant Modulus)로 하였다.

### 3.4 콘크리트관 외압강도

원심력관의 외압강도시험은 KS F 4404(무근 콘크리트관)에 규정된 방법에 따라 Fig. 2와 같은 형태로 측정되었으며, 파괴강도 및 처짐을 측정하기 위하여 일본의 Shimadzu사에서 제작한 UTM(모델 UEH-200A)에 Load Cell과 LVDT를 Data Logger(TDS 601A)에 연결하여 측정하였다. 측정은 1초 당 1.5kg 씩 일정한 속도를 유지하면서 시편이 파괴에 이를때 까지 하중제어를 실시 하였다. 시험시에는 시험체를 받침대 위에 수평으로 놓고 상부 및 하부에 두께 2mm 인 고무판과 150×150mm인 각목을 놓았다. 하중은 Fig. 2와 같이 시험체에 거의 균일하게 분포되도록 하였으며, 연직으로 가해졌다

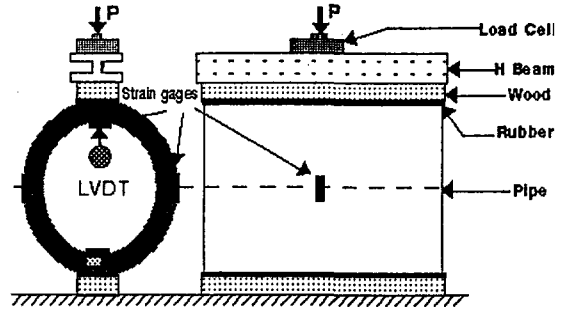


Fig. 2 Schematic sketch of external loading test

## 4. 변위 이론

### 4.1 이론수직변위

Fig. 3 과 같은 굽은보의 중립축선상의 한 점  $C(x_1, y_1)$ 에 대한  $x$  및  $y$ 방향의 변위  $\Delta x_1$ ,  $\Delta y_1$ ,  $C$ 에서의 경사각의 변화  $\Delta \varphi_1$ 은, 중립축선상의 다른 임의의 점  $P(x, y)$ 에서 극히 작은 중립축선 거리  $d_s$ 에 생기는 신장 및 회전  $\Delta d\varphi$ 가  $C$ 에 미치는 작용을 적분하면 구해지며, 그 과정 및 결과는 다음과 같다.

$$\Delta x_1 = \frac{1}{E} \left[ \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{A} \left( N + \frac{M}{r} \left( 1 + \frac{1}{Z} \right) \right) (y_1 - y) d\varphi + \int_0^{x_1} \frac{1}{A} \left( N + \frac{M}{r} \right) dx \right] \quad (1)$$

$$\Delta y_1 = -\frac{1}{E} \left[ \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{A} \left( N + \frac{M}{r} \left( 1 + \frac{1}{Z} \right) \right) (x_1 - x) d\varphi - \int_0^{y_1} \frac{1}{A} \left( N + \frac{M}{r} \right) dy \right] \quad (2)$$

$$\Delta \varphi_1 = \frac{1}{E} \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{1}{A} \left( N + \frac{M}{r} \left( 1 + \frac{1}{Z} \right) \right) d\varphi \quad (3)$$

여기서,  $\varphi_0$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ 은 O, P, C 점에서의 법선과 x축의 반대 방향이 이루는 각이다.

윗식 중의 A, N, M, r, Z는 임의의 점 P(x, y)에서의 단면적 및 축력 등이다. 굽은보의 변형 후의 곡률 반지름을  $\rho$ 라하

$$\text{면, } \frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} = \frac{M}{(EA + N + \frac{M}{r})Zr^2},$$

r/e가 크면,  $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$  으로 된다.

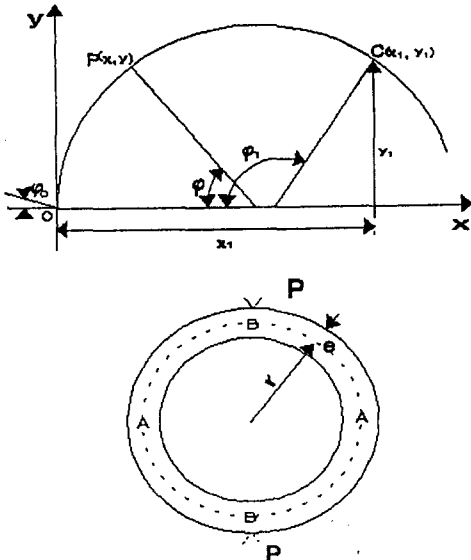


Fig. 3 Analysis of external load  
따라서,  $\Delta D_{AA}$  및  $\Delta D_{BB}$  는 다음과 같이 할 수 있다.

$$\Delta D_{AA} = 0.317 \frac{Pr^3}{EI},$$

$$\Delta D_{BB} = -0.149 \frac{Pr^3}{EI} \quad \text{여기서,}$$

$\Delta D_{BB}$  : 관의 수직지름변형량

P : 외압하중

r : 공칭 반지름

E : 모르타 콘크리트의 탄성계수

I : 굽은보의 단면 2차 모멘트

또한, 관에 작용하는 모멘트 분석은  $M_A = 0.182Pr$ ,  $M_B = 0.318Pr$  로 구하였다.

## 5. 시험결과 및 고찰

### 5.1 압축강도와 인장강도와의 관계

본 연구에서 사용된 모르타의 강도시험 결과를 살펴보면, 압축강도는  $524.2\text{kg/cm}^2$ ,

할열 인장강도는  $30.24\text{kg/cm}^2$ 로 나타났다.

Table 3. Results of mechanical strength tests  
(Unit:  $\text{kg/cm}^2$ )

Compressive strength( $\sigma_c$ )		Splitting tensile strength( $\sigma_t$ )	
Measured values	477.5 522 573	Measured values	30.24 28.65 31.83
mean	524.2	mean	30.24

한편, 압축강도(  $\sigma_c$  ), 할열인장강도(  $\sigma_t$  ) 간의 강도비를 산출하여보면  $\sigma_c / \sigma_t = 17.3$ 로서 압축강도  $600\text{kg/cm}^2$ 정도인 고강도 시멘트 콘크리트의 강도비가  $\sigma_c / \sigma_t = 14.1$ 인 것과 비교하면 약간 크게 나타났다.

### 5.2 압축강도와 탄성계수와의 관계

실리카 흙의 혼입에 따른 압축강도와 탄성계수의 관계는 Fig. 4에 나타내었다.

그림에서와 같이 탄성계수  $E_c$ 는  $3.05 \sim 3.67 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  범위로 기존의 보통 콘크리트에 사용되는  $E_c = 15000\sqrt{\sigma_{ck}}$  공식에 적용할 경우 1.16배 정도 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 콘크리트 부재를 과대 평가할 수 있기 때문에 기존의 공식 적용이

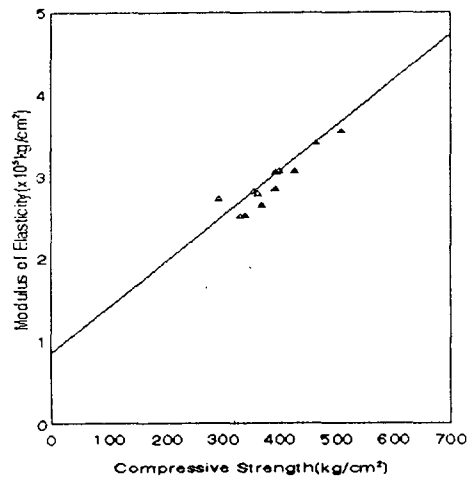


Fig. 4 Relation between Modulus of Elasticity and Compressive Strength

불가능함을 보여주고 있다.

### 5.3 외압강도 및 수직변위

#### 1) 외압강도

원심력관의 외경이 일정한 상태에서 관의 두께비(t/D)변화에 따른 외압강도를 측정 한 결과 Table 4 및 Fig. 5와 같다. 이 결과에서 볼 때 원심력관의 외압강도는 1,100~5,300 kgf/m로서 두께비(t/D)가 두꺼워 질수록 증가하는데 그 양상은 거의 직선적이었다. 이때의 상관계수는  $R^2=0.993$ 로서 외압강도가 두께비의 증가와 매우 밀접한 관계에 있음을 알 수 있으며 이 결과는 설계하중에 따른 관두께 설정에 매우 유의한 자료라고 하겠다. 외압강도 변화경향을 살펴보면, t/D비가 2.22배 증가 하였을 때 외압강도는 4.82배 증가하여 두께(t/D)의 영향이 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 외압강도에 두께비(t/D)가 민감하다고 할 수 있으므로 설계시에는 KS에 규정된 외압강도를 정확히 파악하여 설정 하는 것이 매우 중요하다고 판단된다.

Table 4. Results of vertical deformation test

t/D(%)	External load (kgf/m)	Vertical deformation (mm)
4.5	1,100	0.5
5.0	1,500	0.3
5.5	2,000	0.28
6.0	2,300	0.22
6.5	2,500	0.2
7.0	3,000	0.19
7.5	3,500	0.18
8.0	3,800	0.13
8.5	3,900	0.113
9.0	4,600	0.113
9.5	5,000	0.092
10.0	5,300	0.082

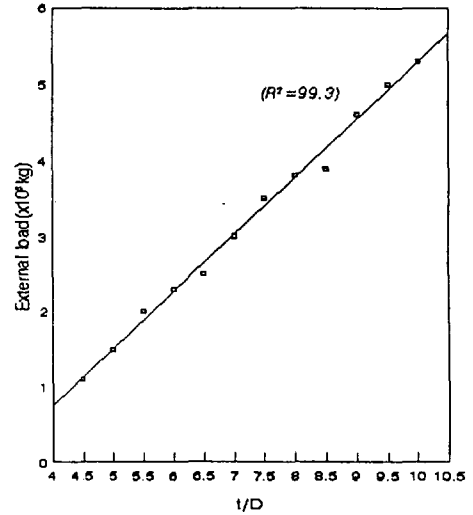


Fig. 5 Correlation between external load and t/D

Fig. 6은 원심력관의 수직변위로 이 결과에서 두께비가 커질수록 외압강도는 증가 하였으나, 수직침침은 반대로 작아지는 경향을 나타냈다. 그 증가 경향은 두께비가 2.22배 증가하였을 때 처침은 0.164배로 낮아져 두께비(t/D)가 처침량 감소에 크게 기여함을 알 수 있다

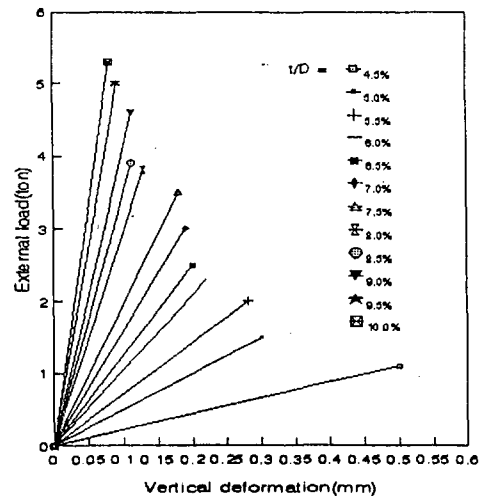


Fig. 6 Relation between external load and vertical deformation

### 2) 수직변위

이상과 같은 굽은보의 지름변형량 산출식을 이용하여 관체의 이론 수직변위를 측정하여 보았던 바 Table 5와 같다. 이 결과에서 볼 때 두께비(t/D)가 증가할수록 이론 수직 변위량은 작게 나타났다. 즉 두께비가 2.22배 증가할 때 이론수직변위량은 0.396배 감소하여 수직변위량에 대한 두께비(t/D)의 영향이 클것으로 분석되었다.

Table 5. Theoretically computed vertical deformation

t/D (%)	t (cm)	I (cm <sup>4</sup> )	r (cm)	P (kg)	$\Delta D_{BB}$ (mm)
4.5	1.35	6.15	14.325	1100	0.25
5.0	1.5	8.41	14.25	1500	0.248
5.5	1.65	11.24	14.175	2000	0.24
6.0	1.8	14.6	14.1	2300	0.21
6.5	1.95	18.64	14.025	2500	0.18
7.0	2.1	23.17	13.95	3000	0.17
7.5	2.25	28.59	13.875	3500	0.16
8.0	2.4	34.69	13.8	3800	0.14
8.5	2.55	42.11	13.325	3900	0.12
9.0	2.7	49.80	13.65	4600	0.113
9.5	2.85	58.30	13.575	5000	0.103
10.0	3.0	65.61	13.5	5300	0.099

### 3) 실측 및 이론변위의 비교

관체의 수직변위에 대한 실측치와 이론치를 비교한 결과를 Table 6과 Fig. 7에 나타내었다. 이때 관체의 실측 수직변위는 0.5~0.082 mm로 측정되었고 이론 수직변위는 0.25~0.0099로 약간 낮아지는 경향을 보였다. 한편 Fig. 7에서와 같이 실측수직변위값과 이론 수직변위값에 대한 회귀분석을하여 보았던바, R<sup>2</sup>는 각각 0.80, 0.97로서 그 상관성이 높게 나타나 이론식에 의해 수직변위를 예측해 낼수 있을것으로 판단된다. 결과적으로 두께비(t/D)가 클수록 관체의 수직변위는 실측치와 이론치 모두가 작아지는 경향을 보였다.

Table 6. Comparison of theoretical and measured values for vertical deformation (Unit : mm)

t/D(%)	Theoretical values	Measured values
4.5	0.25	0.5
5.0	0.248	0.3
5.5	0.24	0.28
6.0	0.21	0.22
6.5	0.18	0.2
7.0	0.17	0.19
7.5	0.16	0.18
8.0	0.14	0.13
8.5	0.12	0.113
9.0	0.113	0.113
9.5	0.103	0.092
10.0	0.099	0.082

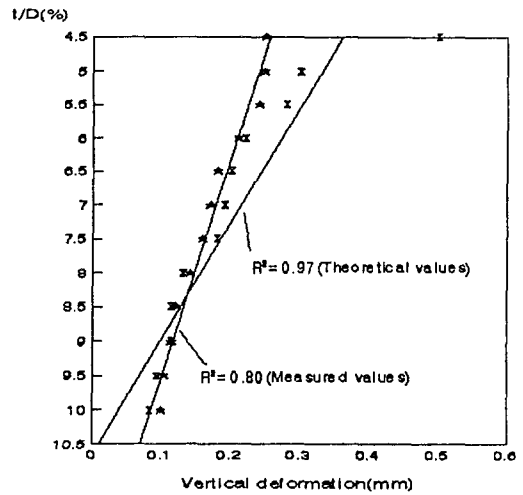


Fig. 7 Correlation between theoretically and measured values for vertical deformation

### 5.4 휨모멘트-변형률 관계

두께비에 따라 휨모멘트를 산출한 결과는 Table 7과 같다. 이 결과에서 볼 때 관체에 작용하는 단위길이당 휨모멘트는 B점보다 A점에서 더 크게 나타나는데, 두께비(t/D)가 2.22배 증가할 때 휨모멘트는 M<sub>A</sub>는

4.54배, B점의 휨모멘트 또한 4.54배가 커

Table 7. Computation results of bending moment at point A and B

(unit : kg · cm/m)

t/D(%)	M <sub>A</sub>	M <sub>B</sub>
4.5	2.868	5.011
5.0	3.890	6.797
5.5	5.159	9.015
6.0	5.902	10.312
6.5	6.381	11.150
7.0	7.617	13.308
7.5	8.838	15.443
8.0	9.544	16.676
8.5	9.458	16.526
9.0	11.428	19.967
9.5	12.353	21.584
10.0	13.022	22.752

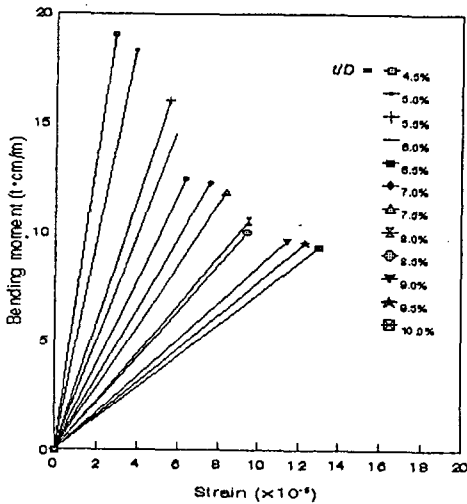


Fig. 8 Relationship between bending moment and tensile strain at point A outside

지는 것으로 나타나 두께비(t/D)의 증가가 휨모멘트의 증가와 밀접한 관계에 있음을 알 수 있다. 또한 A점 바깥쪽과 B점 안쪽에 Strain gauge를 부착시켜 측정된 변형을 시험결과에서 A점의 극한 변형율은 두께비(t/D)가 클수록 작아졌다. 즉 두께비가 2.2배(4.5%~10.0%) 커질 때 극한 변형

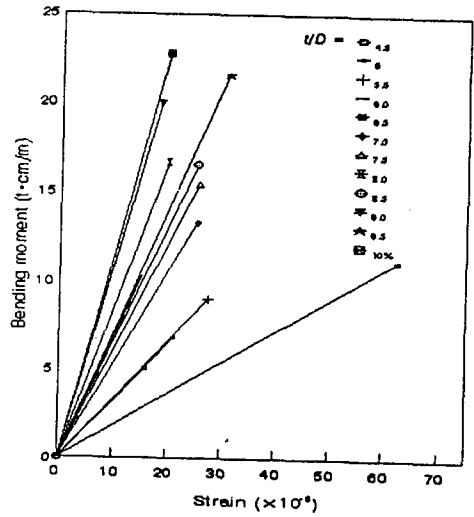


Fig. 9 Relationship between bending moment and tensile strain at point B inside

율은 0.49배( $190 \sim 93 \times 10^{-6}$ )로 작아져 두께비가 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다 또한, B점의 극한 변형율은 두께비가 커질수록 변형율은 0.48배( $193 \sim 96 \times 10^{-6}$ ) 작아졌다.

이와같이 B점에서의 극한 변형율이 커지는 것은 휨모멘트가 가장 크게 작용하기 때문으로서 관체의 초기균열이 B점의 안쪽에서 먼저 발생하는 것과 밀접한 관계가 있다. 한편, Fig. 8과 Fig. 9는 휨모멘트와 A 및 B점 인장측에서의 변형을 관계를 각각 나타낸 것이다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 실리카 흙을 이용한 모르터를 이용하여 원심력관을 제조하고 이에 대한 강도특성을 구명하기 위하여 시험을 실시하였던 바 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 원심력관의 제작에 사용된 모르터의 압축강도는 524kg/cm<sup>2</sup>, 활렬인장강도는 30kg/cm<sup>2</sup>이었으며, 탄성계수는 3.1×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

둘째, 외압강도 시험에서 두께비(t/D)가 4.5%~10.0%일 때 외압강도는 1,100~5,300 kgf/m<sup>2</sup> 였는데, 이에 대한 회귀분석 결과 R<sup>2</sup>=0.97로서 두께비와 외압강도는 매우 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

셋째, 관체의 실측 수직변위와 이론 수직변위, 실측 인장응력과 이론 인장응력에 대한 회귀분석 결과 거의 R<sup>2</sup>= 0.90을 상회하여 이론식의 적용에 의해 관체의 변위와 응력의 산출이 충분히 가능한 것으로 판단되었다.

넷째, 외경 30cm인 원심력 모르터관과 원심력 철근 콘크리트관의 외압강도를 비교하여 보았던 바, 모르터관은 살두께 18mm에서 2,300kgf/m<sup>2</sup>의 외압강도를 나타내 살두께를 1/2.0정도로 줄일수 있는 것으로 분석되었다.

다섯째, 본 연구는 무근 원심력 모르터관에 관한 기초연구로서 경제적이며 실용성 있는 원형관을 개발하기 위해서는 외경의 크기, 보강재 종류를 다양화 하는등 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 “산·학·연 공동기술개발 지역 권소사업”의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

### 참 고 문 헌

[1] Ariel Goldman and Arnon Beurur, "Bond Effects in High-Strength Silica-Fume Concrete", ACI Material Journal, Vol.86, No. 5, 1989, pp.440-447

[2] Brady, G. S., and Clauser H. R., "Materials Handbook", Mcgraw-Hill Book Company, P 1038, 1986

[3] Chen, Z., and Tan, M., "Progress of Polymer Concrete Composite in China", Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Chun-chon, pp. 25~38, 1994

[4] C. Alfes, "Modulus of Elasticity and Shrinkage of High-Strength Concrete Containing Silica Fume", Proceeding of SLN 1993, p p. 1651-1671

[5] 변동균, 신현목, 문제길 공저, "철근콘크리트", 동명사, P 420, 1991

[6] Yeon, K. S., Kim, S. S., Kim, K. W., Kim, K. H., Lee, Y. S., and Ham, H. G., "Mechanical Properties of Polymer Mortar Pipes", Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in concrete, Chuncheon, pp. 425~434, 1994

[7] 정재동, 김원기 "국내 콘크리트 공장제품의 개발동향", 콘크리트학회지 제8권 제1호 1996.2