

KS, ASTM, BS 및 JIS 시험방법에 따른 시멘트 Mortar 압축강도 비교시험

Comparison of Compressive Strength in Cement Mortar According to KS, ASTM, BS, JIS Standards

장 봉 규

<동양시멘트(주) 삼척공장 품질관리실>

1. 서론

우리나라 시멘트 생산량이 약 4500만톤에 달하게 됨에 따라 수출시장 다변화가 필연적으로 요구되고 있다. 그러나 각국의 시멘트 압축강도 시험은 각 규격마다 표준사, Mold형태, W/C비율 등이 다르므로 압축강도 결과는 상이하게 나타나고 있으므로 품질보증에 따른 경쟁력 우위확보를 위하여 각국의 압축강도 상관관계를 규명함으로써 품질보증 및 관리활동에 도움이 되고자 본 시험을 하였다.

1. 시험방법

시멘트 압축강도시험은 KS, ASTM, JIS 및 BS의 4개규격에 대하여 포틀랜드 1종을 대상으로 압축강도시험을 하였으며 적용범위를 넓히기 위하여 시중에 유통되는 5개사, 당사에서 생산되는 3개 Packer를 대상으로 92년~94년까지 시험한 자료로서 상관관계를 구하였다.

1) 규격비교

각국의 Spec은 표1과 같으며 압축강도는 수치는 Kg/Cm² 단위로 환산한 수치이다.

실험실온도가 BS, JIS에서는 상당히 엄격하게 규정되어 있으나 계획적으로 관리된 항온, 항습 시설이라도 20±2°C는 실험실 조건으로서는 상당한 어려움이 있을 것이며 시멘트압축강도시험에 실온이 극한적으로 변화가 없는 한 큰영향을 미치지 않는 점을 감안할 때 무리가 아닌가 생각한다.

Tamper다짐방법도 다짐압력, 속도 등의 문제점이 있지만 BS의 Vibrating도 상당한 문제점이 실제사

용에서 나타나고 있다. 특히 배합시 수량이 40%이므로 주도가 높은 시멘트에서는 다짐 상, 하부가 층이지며 주도가 낮은 시멘트에서는 하부보다 상부가 치밀하게 다져지는 등 다짐상태가 다르며 이러한 요인들로 각 시료 간의 편차도 크게 일어나고 있다. JIS에서는 일정시간 양생후 표면처리를 하므로 다짐후 표면처리까지의 시간, 표면처리시 충격, 밀림 등 표면처리 방법에 따라 결과의 편차가 발생하기도 한다.

이러한 것들은 결국 시험방법의 깊은 이해와 정확한 시험조건, 방법의 준수 및 시행상의 주의점 등 고도로 숙련된 시험자의 자격이 요구되는 것이라고 생각된다.

2. 압축강도시험

1) 표준사

시험에 사용한 각국의 표준사 입도시험 결과는 표5와 같으며 각국마다 입도범위가 다르나 본시험에서는 1.18mm에서 80 μ m까지 체시험을 하였다. 표준사 입도분포형태로 볼 때 425 μ m잔사가 BS는 99.6% KS는 66%, ASTM은 32%, JIS는 0%로서 BS > KS > ASTM > JIS 순으로 BS가 조립질이고 JIS가 미립질이다.

특히 BS, KS는 좁은 구간에 집중되어 있는 반면 ASTM은 600~106 μ m범위를 가지고 있다. 이것이 표준사의 특징을 나타낼 수는 없지만 이러한 입도분포가 압축강도발현의 특성에 큰 영향을 줄 것이라는 것은 쉽게 짐작할 수 있으나 본 실험에서는 고려하지 않았다.

BS표준사는 600 μ m잔사가 90%이상으로 규정되어

〈표-1〉 Standards for ordinary Portland cement

ITEMS		KSL 5201 1989	ASTM C 150 1989	BS 12 1989	JIS R 5210 1989	
Physical Require- ments	Fineness (cm ² /g)	Min. 2,800	Min. 2,800	Min. 2,750 (L)	Min. 2,500	
	Setting Times (Vioat)	Initial(min)	Min. 45 (Min. 60 ¹⁾)	Min. 45–Max. 375	Min. 45 (V)	Min. 45 (V)
		Final (hrs)	Max. 7.5 (Max. 10 ¹⁾)	–	Max. 10 (V)	Max. 10 (V)
	Soundness		Autoclave Max. 0. 80%	Autoclave Max. 0. 80%	Le Chateller Max. 10 mm	Must be stable
	Compressive streth (kg /cm ²)	3 days	≥130	≥127	≥255	≥70
		7 days	≥200	≥197	–	≥150
28 days		≥290	(≥282)	480–684	≥300	
Chemical Require- ments	Loss on ignition		Max. 3.0	Max. 3.0	Max. 3.0	Max. 3.0
	MgO. %		Max. 5.0	Max. 6.0	Max. 4.0	Max. 5.0
	SO ₃ %		Max. 3.0 (C ₃ A≤8%)	Max. 3.0 (C ₃ A≤8%)	Max. 2.5 (C ₃ A≤3.5%)	Max. 3.0
			Max. 3.5 (C ₃ A)8%)	Max. 3.5 (C ₃ A)8%)	Max. 3.5 (C ₃ A)3.5%)	
	Insoluble residue		–	Max. 0.75	Max. 1.5	–
	L S F		–	–	66~102	–

1) Setting time tests by Gillmore 2) (L) Lea–Nurse 3) (V) : Vioat

있으나 시험에 사용한 표준사는 75.3%였다. BS표준사는 ELE international에서 구입된 것으로 cat No. EL 82~752임을 밝혀 둔다.

2) 압축강도

압축강도시험에 온도, 습도의 조건이 다르지만 본 시험에서는 습기함량과 양생조의 조건은 유지하였으나 시험실의 조건은 각국별로 조건을 유지하지 못하였으며 그 범위는 실내온도 20~27°C 습도 60~75%였다.

압축강도시험은 1개 시료에 대하여 3회씩 시험하여 평균치를 취하였고 각 data는 KS압축강도를 기준으로 증가순으로 재배열하고 KS압축강도 2kg/cm² 구간에 해당하는 data를 평균하여 1개의 data로 정리하고 회귀분석을 하였으며 압축강도시험 결과 압축강도범위는 표6과 같으며 각 규격간의 범위차이 및 편차는 표7, Fig1과 같다.

3) 시험결과

Fig 2, 3, 4는 압축강도 3, 7, 28일의 분포범위와

〈丑-2〉 Test methods for ordinary Portland cement strength

Standards	statements	Blending ratio of cement mortar			Mould size (1 batch)	Compacting
		Cement	Sand	Water		
KS	L-5105	510g (1)	1520g (2.45)	247g (0.485)	50 mm cube (6 specimens)	Machanical Tamper
ASTM	C-109	500g (1)	1,375g (2.75)	242g (0.485)	2 inch cube (6 specimens)	Mechanical Tamper
JIS	R 5201	520g (1)	1,040g (2.00)	338g (0.650)	40×40×160 mm prisms (3 specimens)	Mechanical Tamper
BS	4550 Part 3	185g (1)	555g (3.00)	74g (0.40)	70.7mm cube (1 speciman)	Manual Vibrating
ISO	R 679	450g (1)	1,350g (3.00)	225g (0.50)	40×40×160 mm prisms (3 specimens)	Machnical Jolting

() : Ratio of weight based on cement weight

〈丑-3〉 Test conditions for compressive strength

Standrads	Temperature, °C (Relative humidity, x)			Daviation of time for compressive strength			
	Laboratory	Moisture Cabinet	Curing Chamber	1 days	3 days	7 days	28 days
KS	20~27.5°C (50%⊕)	23±2°C (90%⊕)	23±2°C	±0.5 hr	±1 hr	±3 hr	±12 hr
ASTM	20~27.5°C (50%⊕)	23±1.7°C (90%⊕)	23±1.7°C	±0.5 hr	±1 hr	±3 hr	±12 hr
JIS	20±3°C (800%⊕)	20±3°C (80%⊕)	20±2°C				
BS	20±2°C (65%⊕)	20±1°C (90%⊕)	20±1°C	±0.5 hr	±1 hr	±2 hr	±4 hr
ISO	20±2°C (50%⊕)	20±1°C (90%⊕)	20±1 hr	±15min	±45min	±2 hr	±8 hr

시험 갯수의 분포이고 Fig 5, 6, 7은 KS와 ASTM, BS, JIS의 관계이다. Fig 8은 ASTM과 BS, Fig 9는 ASTM과 JIS, Fig 10은 BS 와 JIS의 관계이다.

3. 결론

압축강도시험에서 가장 유의해야할 점은 Molding 이었다. 시험 과정 중 specimen의 관찰에서 층이 지거나 혼합의 불균일 등이 관찰될 시편은 압축강도가

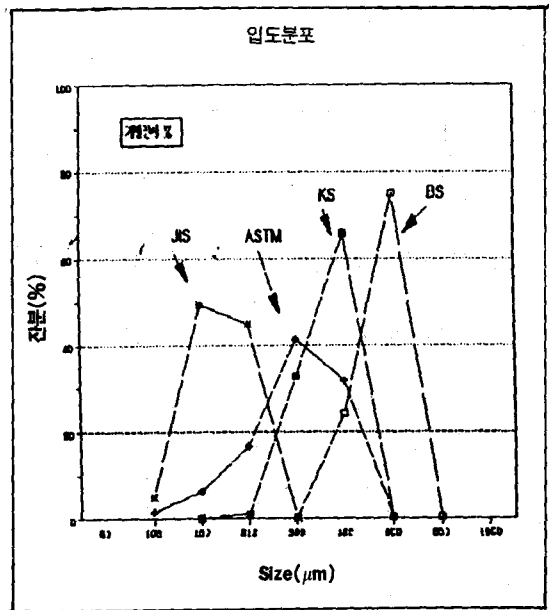
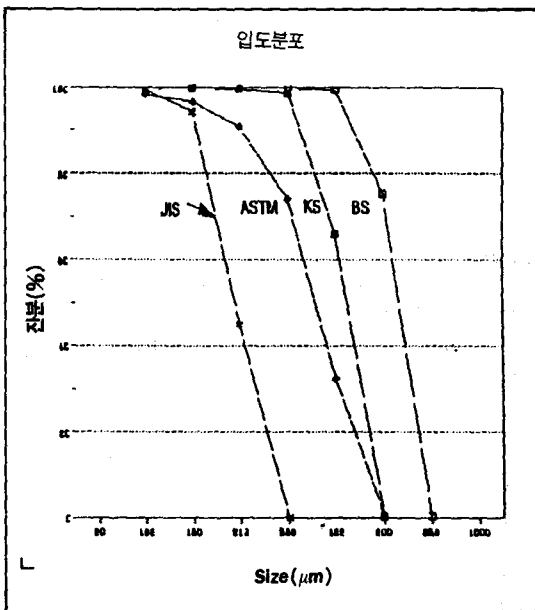
현저히 차이가 졌다. 이러한 시편들은 data에서 제외 하였다.

두번째로 유의할 점은 습기함과 양생조의 온도 유지였다. 특히 습기함에서 1일양생은 알려진 바와 같이 장기강도에 미치는 영향을 감안할 때 양생온도 유지, 관리의 중요성을 강조하고자 한다.

세번째는 시험자의 숙련도 및 관심사이다. 시험자의 일대대한 노력과 숙련도는 곧 결과로 나타나므로 지속적인 교육과 훈련으로 안정된 data를 얻도록 노력하여야 하며 반복시험으로 data의 신뢰성을 확보 하여야 한다.

(丑-4) Comparison of test methods for compressive strength

Standards	Mortar 혼합	시험체 성형	표면 마무리
KS	(KSL-5109) <ul style="list-style-type: none"> • 물+시멘트 : 30초혼합(140rpm)과 동시에 모래투입 • 30초 혼합(285rpm) • 90초 정지 • 60초 혼합(285 rpm) 	(KS L-5105) <ul style="list-style-type: none"> • 2층 다짐 • 10초 / 회 × 4바퀴 × 32회 	<ul style="list-style-type: none"> • 성형직후 • 흙손 곧은날 • 틀에 직각으로 톱질하듯
ASTM	(ASTM C-305) <ul style="list-style-type: none"> • KS와 동일 	(ASTM C-109) <ul style="list-style-type: none"> • KS와 동일 	<ul style="list-style-type: none"> • KS와 동일
JIS	(JIS R-5201) <ul style="list-style-type: none"> • 회전하며 물 투입(30초간) • 회전하며 시멘트 투입(30초간) • 회전하며 모래투입(30초간) • 계속 60초간 회전혼합 • 20초 정지 • 120초 회전혼합 • 회전속도 : 140 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • 2층 다짐 • 다짐수는 flow에 따라 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 성형후 5~6시간후 마무리
BS	(BS 4550 Part 3, 3.4) <ul style="list-style-type: none"> • 시멘트+물 1분간 혼합 • 물투입 • 4분간 혼합 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrator 다짐 (12,000 ± 400 rpm) (120 ± 5 sec) 	<ul style="list-style-type: none"> • 성형직후 표면을 고무판 혹은 Plastic으로 덮어 습기함에 보관
ISO	(ISO DIS 679, 6.3) <ul style="list-style-type: none"> • KS와 동일 	<ul style="list-style-type: none"> • Jolting Table 이용 (2층다짐, 1층 60회) 	<ul style="list-style-type: none"> • 성형직후 표면을 steel판을 덮어 보관



〈丑-5〉 Granulometric results of standard sands

Sieve	KS		ASTM		JIS		BS		ISO	
	주문진		Ottawa		豊 浦		Laighton Buzzard			
	규격	잔사	규격	잔사	규격	잔사	규격	잔사	규격	잔사
2 mm									0	
1.6									7±5	
1									33±5	
850µm				0			0	0.3		
840	0									
600		0.2	2±2	0.4			90↑	75.3		
590	1↓									
500									67±5	
425		66.0	30±5	32.4		0		99.6		
300		98.8	75±5	73.9	1↓	0.1		99.9		
297	95↓									
212		99.8		90.8		45.0				
160									87±5	
150		99.9	98±2	96.9		94.4				
106				98.5	95↑	99.4				
80									99±1	
75	99.1↑	0.1								

〈丑-6〉 Chemical composition of standard sands

Composition	KS	ASTM	JIS	BS
Loss of Ignition	0.3	0.1	0.6	0.2
SiO ₂	86.1	97.8	92.8	98.0
Al ₂ O ₃	7.1	1.2	3.6	0.9
Fe ₂ O ₃	0.5	0.1	0.6	0.3
K ₂ O	3.8	0.2	1.4	0.2
Na ₂ O	1.3	0.3	0.6	0.1

〈丑-7〉 Evaluated ranges of compressive strength according to standards.

Standards	Compressive strength (kg/cm ²)		
	3Days	7Days	28 Days
KS	152-270	226-370	298-468
ASTM	145-252	223-354	298-442
BS	184-321	256-448	368-526
JIS	101-206	187-304	300-460

(丑-8) Differences of compressive strengths between standards

Standards	Differences of Compressive Strength(kg/cm ³) (Mean ± Standard Dev) (): 95% Confidence Level 1		
	3Days	7Days	28 Days
	KS-ASTM	- 10.6±5.8(±1.9)	- 8.1±6.4(±2.0)
KS-BS	48.5±11.0(±3.7)	53.2±17.9(±5.8)	71.9±9.1(±1.2)
KS-JIS	-59.4±8.0(±2.3)	-49.7±9.9(±2.8)	- 2.4±5.3(±0.7)
ASTM-BS	60.4±10.1(±3.6)	64.6±20.1(±3.8)	82.2±10.2(±3.4)
ASTM-JIS	-49.1±8.8(±2.9)	-43.3±10.2(±3.5)	7.8±6.6(±2.2)
BS-JIS	-108.8±15.4(±5.5)	105.9±25.0(±9.0)	75.6±8.9(±2.7)

(丑-9) Correlations between KS, ASTM, BS and JIS standards for compressive strength.

Relation	Compressive strength(Days)	Correlated equation (Unit : kg/cm ²)	Correlation coefficient
KS vs ASTM	3	ASTM=1.04(KS)-13.9	0.993
	7	ASTM=1.01(KS)-12.6	0.993
	28	ASTM=-2.03×10 ⁻³ (KS) ² +2.52(KS)-288	0.993
KS vs BS	3	BS=-3.68×10 ⁻³ (KS) ² +2.84(KS)-169	0.970
	7	BS=1.32(KS)-37.7	0.970
	28	BS=-2.08×10 ⁻³ (KS) ² +2.62(KS)-248	0.929
KS vs JIS	3	JIS=1.08(KS)-73.0	0.976
	7	JIS=0.966(KS)-39.9	0.985
	28	JIS=-1.39×10 ⁻³ (KS) ² +2.09(KS)-213	0.950
ASTM vs BS	3	BS=1.26(ASTM)+7.5	0.982
	7	BS=1.37(ASTM)-45.7	0.970
	28	BS=1.11(ASTM)+39.0	0.984
ASTM vs JIS	3	JIS=0.81(ASTM)-11.5	0.959
	7	JIS=0.82(ASTM)+9.4	0.976
	28	JIS=1.07(ASTM)-18.8	0.982
BS vs JIS	3	JIS=0.65(BS)-18.2	0.955
	7	JIS=-3.76×10 ⁻³ (BS) ² +3.31(BS)-441	0.980
	28	JIS=0.92(BS)-38.2	0.978

Fig. 1 Differences between ASTM, BS, JIS and KS in compcomp. strength

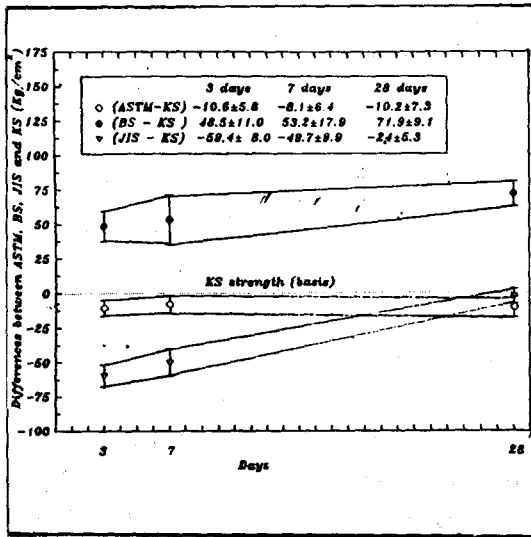


Fig. 2 Distribution of occurrence numbers in 3 days compcomp. strength

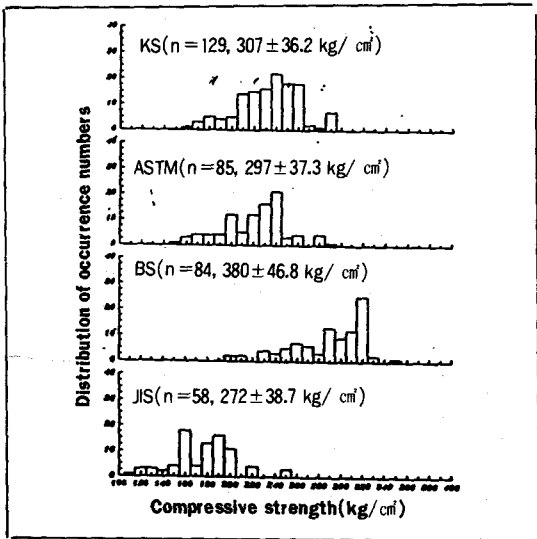


Fig. 3 Distribution of occurrence numbers in 7 days compressive strength tested by KS, ASTM, BS, JIS standards

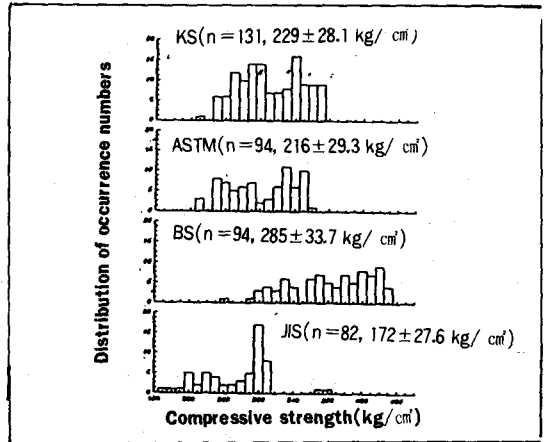


Fig. 4 Distribution of occurrence numbers in 28 days compressive strength tested by KS, ASTM, BS, JIS standards

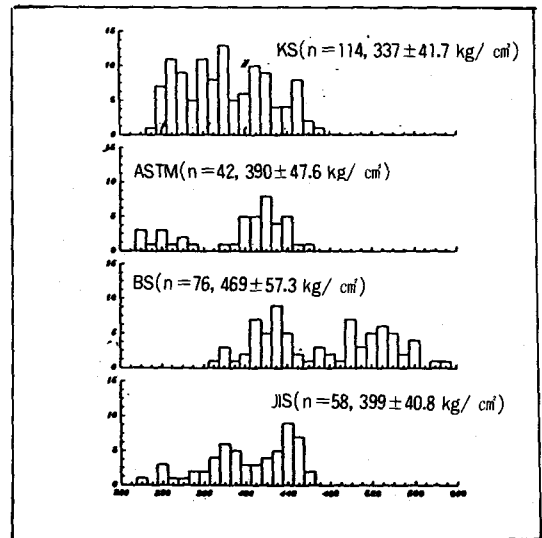


Fig. 5 Comparison of compressive strength (3 days) between KS and ASTM, BS, JIS standards.

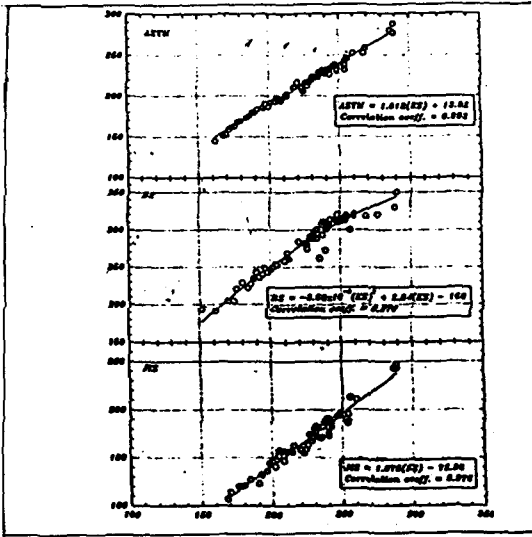


Fig. 6 Comparison of compressive strength (7 days) between KS and ASTM, BS, JIS standards.

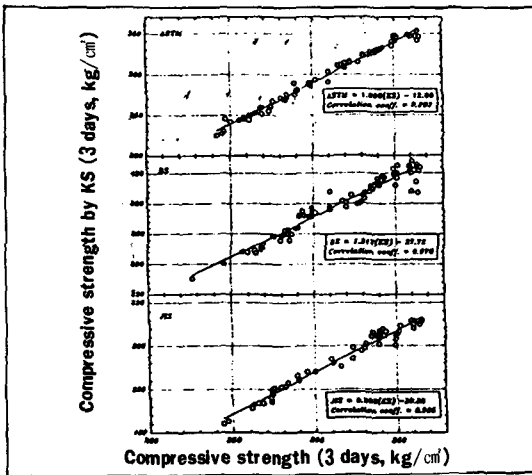


Fig. 7 Comparison of compressive strength (28 days) between KS and ASTM, BS, JIS standards.

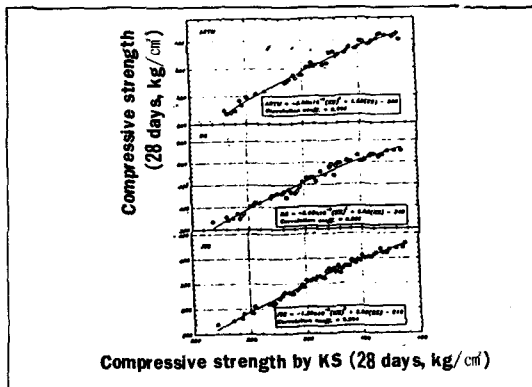


Fig. 8 Comparison of compressive strength in 3, 7 and 28 days between ASTM and BS standards.

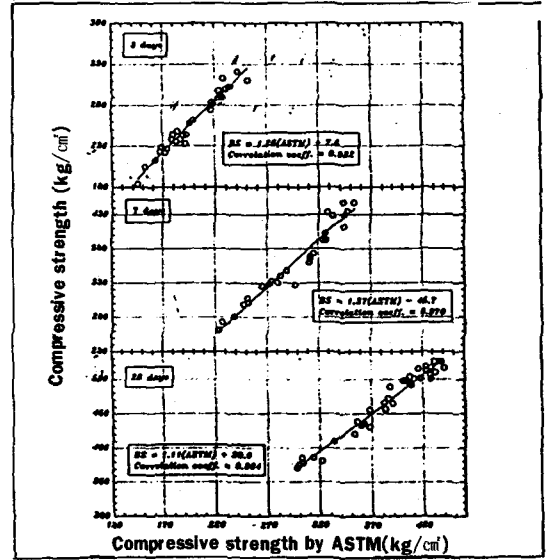


Fig. 9 Comparison of compressive strength in 3, 7 and 28 days between ASTM and JIS standards.

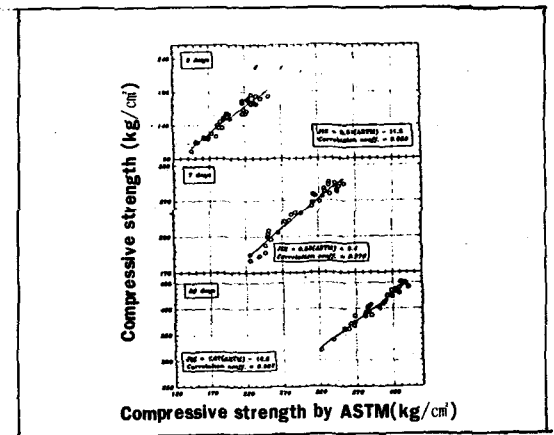


Fig. 10 Comparison of compressive strength in 3, 7 and 28 days between BS and JIS standards.

