碎石콘크리트의 水密性에 관한 硏究

金 生 彬 〈東國大土木工學科敎授〉
文 濟 吉 〈建國大土木工學科敎授〉
姜 輝 男 〈三扶土建(株)試驗硏究室長〉

1. 序 論

콘크리트 構造物은 强度上 安定을 必要로 하지만 水密을 要하는 構造物 특히 콘크리트댐이나 터널 또는 地下콘크리트 施設部에서는 强度못지않게 水密性도 重要하다.

콘크리트 構造物은 물과 접촉하거나 어떤 原因으로 水壓을 받으면 吸水를 하게 되고 결함부에서는 漏水가 생기고 이로 인하여 $Ca(OH)_2$의 溶出이나 冬期에는 凍結融解 되풀이 作用에 의하여 使用耐久性에 害를 미치게 된다. 또한 鐵筋콘크리트 構造物에서는 철근에 녹을 슬게하는 등 强度上에도 문제를 일으키게 된다.

대부분의 土木 公共 構造物은 콘크리트 構造로 되어 있으며 콘크리트 配合設計나 施工上의 不實로 인해 漏水惡化로 인해 補修나 改善을 要하는 콘크리트 構造物은 상당히 散在하여 있고 이에 따른 維持나 管理費에도 큰 문제가 있을 것으로 본다. 이와같은 現象은 결국 콘크리트 水密性 不足으로 起因하므로 이를 防止하기 위해서는 적절한 材料의 配合選定이나 施工管理 등 多角的인 面에서 硏究할 必要가 있다고 본다. 本硏究에서는 콘크리트 構造物의 漏水의 原因分析과 對策을 위해 水密性의 콘크리트에 영향을 미치는 여러가지 要因에 대하여 硏究하였다. 硏究對策으로는 混和劑를 사용치 않은 Plain Concrete와 混和劑를 사용한 防水콘크리트에 대하여 透水試驗에 의하여 여러가지 相關性을 比較檢討硏究하였다.

2. 使用材料

2-1 시멘트와 混和劑

시험에 使用한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트로서 物理的인 성질은 다음 表-1과 같다.

混和劑로서는 減水劑인 Cormix P-7 (英國유니레버社 제품)과 콘크리트 軀体防水劑인 NN (日本 小野田시멘트社 제품)을 混合 사용하였으며 이들의 특성과 사용량은 表-2와 같다.

2-2 잔 骨材

잔骨材는 漢江에서 生産되는 河川모래를 사

表-1 시멘트의 物理的인 성질

비 중	분말도	잔 분 (88μ) (%)	안정도 (%)	응결시간(시 : 분)		압축강도(kg / ㎠)		인장강도(kg / ㎠)	
				초결	종결	7일	28일	7일	28일
3.15	3200	2.5	0.1	4 : 20	6 : 50	185	290	24	31

表-2 混和劑의 특성

명 칭	주 요 성 분	비중	상 태	표 준 사 용 량	비 고
Cormix P-7	텍스트로	1.17	진갈색액체	Cx 0.2%	표준감수분산제
NN	고형파라핀을 주성분으로한 乳液	1.00	乳白色액체	콘크리트 1㎥당 4.5kg	콘크리트구체 방수제

表-3 잔골재의 物理的인 특성

表乾比重	吸水率 (%)	단위용적 무게 (kg/㎥)	實積率 (%)	각체의 통과량의 백분율(%)							粗粒率
				10mm	No.4 체	No.8 체	No.16체	No.30체	No.50체	No.100체	
2.61	1.05	1620	62.2	100	96.9	90.4	71.1	49.9	25.0	5.2	2.62

表-4 굵은골재(부순돌)의 物理的인 특성

골재의 최대치수 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	단위용적 무게 (kg / ㎥)	實積率 (%)	마모 감량	가체의 통과량의 백분율(%)								粗粒率
						50 mm	40 mm	25 mm	19 mm	13 mm	10 mm	No.4 체	No.8 체	
25	2.64	1.10	1580	60.0	26.5	100	100	97	73	46	34	6	2	6.83
40	2.64	1.10	1590	60.3	26.5	100	98	73	55	35	20	3	0	7.24

용하였고 이의 物理的인 특성은 表-3과 같다.

2-3 굵은 骨材

굵은 골재는 岩石(安養石山)을 크럿셔로 파쇄시킨 부순돌을 사용하고 굵은 골재의 최대치수는 25mm와 40mm를 사용하였으며 이의 物理的인 특성은 表-4와 같다.

3. 供試体의 製作과 透水試驗

3-1 配合設計

透水試驗用 供試体를 製作하기 위한 콘크리트의 配合은 試驗비비기에 의한 試的配合에 의하여 配合設計하였으며 이를 結合한 配合表는 表-5와 같다. 이때 配合을 위한 諸條件은 다음과 같다.

(1) 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고 잔골재는 漢江白砂를 사용함.

(2) 굵은 골재는 부순돌로서 최대치수 25mm와 40mm로 함.

(3) 물·시멘트比의 變化는 38%~58% (5% 간격)로 함.

(4) 잔골재율의 변화는 36%~45%로 하고 슬럼프는 7~8cm로 함.

(5) 配合設計에서 콘크리트의 設計基準 强度는 210kg/㎠를 목표로 함.

(6) 供試体의 養生은 水中에서 (20~23℃) 하고 28日을 기준으로 함.

(7) 混和劑는 쓰지않은 보통콘크리트(Palin Concrete)와 사용한 경우는 減水劑(Cormix P-7)와 防水劑(小野田 NN)를 사용함.

3-2 供試体의 製作

透水試驗用 供試体는 지름 15cm, 높이 30cm인 中心에 구멍을 뚫은 円筒形供試体로서 몰드에 3층(또는 2층)으로 나누어 채우고 각층마다 다짐막대로 25회씩 다진다.

表-5 콘크리트의 配合表

Gmax	콘크리트의 종류 (기 호)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/A (%)	단 위 수 량 (kg)	단 위 혼화제량 ℓ (방수제)	압축강도 (kg / cm²) σ_7	압축강도 (kg / cm²) σ_{28}
부순돌 40mm	보 통 콘크리트 (P-40)	7.7	1.5	38	36	184	·	286	362
		7.5	1.5	43	37	〃	·	252	316
		7.5	1.5	48	38	〃	·	222	285
		7.5	1.5	53	39	〃	·	173	262
		7.6	1.5	58	40	〃	·	155	250
	감 수 제 Co. P 7 (Co-40)	7.3	3	41	36	164	0.810	290	343
		7.5	3	46	37	〃	0.722	230	304
		7.5	3.1	51	38	〃	0.650	178	284
		7.6	3.1	56	39	〃	0.592	162	253
		7.7	3.3	61	40	〃	0.544	143	220
	방 수 제 Co. P 7 +NN (CONN-40)	7.3	3	41	36	〃	0.810 (4.5)	289	391
		7.5	3	46	37	〃	0.722 (4.5)	269	366
		7.5	3.1	51	38	〃	0.650 (4.5)	251	339
		7.6	3.1	56	39	〃	0.592 (4.5)	180	290
		7.7	3.3	61	40	〃	0.544 (4.5)	160	242
부순돌 25mm	보 통 콘크리트 (P-25)	7.2	1.5	38	40	197	·	266	334
		7.5	1.5	43	42	〃	·	250	324
		7.5	1.5	48	43	〃	·	182	284
		7.5	1.5	53	44	〃	·	156	270
		7.8	1.5	58	45	〃	·	154	256
	감 수 제 Co. P 7 (Co-25)	7	3	41	40	180	0.878	264	372
		7.2	3.1	46	41	〃	0.782	239	309
		7.5	3	51	42	〃	0.706	239	301
		7.4	3.3	56	43	〃	0.642	233	287
		7.6	3.5	61	44	〃	0.590	180	259
	방 수 제 Co. P 7 +NN (CONN-25)	7	3	41	40	〃	0.878 (4.5)	270	407
		7.2	3.1	46	41	〃	0.782 (4.5)	244	335
		7.5	3	51	42	〃	0.706 (4.5)	214	315
		7.4	3.3	56	43	〃	0.642 (4.5)	197	277
		7.6	3.5	61	44	〃	0.590 (4.5)	176	274

또 壓縮强度用 供試体는 굵은 골재의 최대치수가 40mm인 경우는 ϕ15×30cm 円柱供試体, 최대치수가 25mm인 경우에는 ϕ10×20cm 円柱供試体로 제작하고 各 시험체마다 6개씩 만들어 材令 7日과 材令 28日에서의 壓縮强度를 측정하였다. (KSF 2405)

3-3 透水試驗

透水試驗用 供試体는 材令 28日에서 水中에서 꺼낸후 表面의 물기를 닦고 試驗機에 定置한다. 透水試驗機는 Marui 製品의 三連式으로 Nitrogen Cylinder를 加壓源으로 하여 中空 円柱供

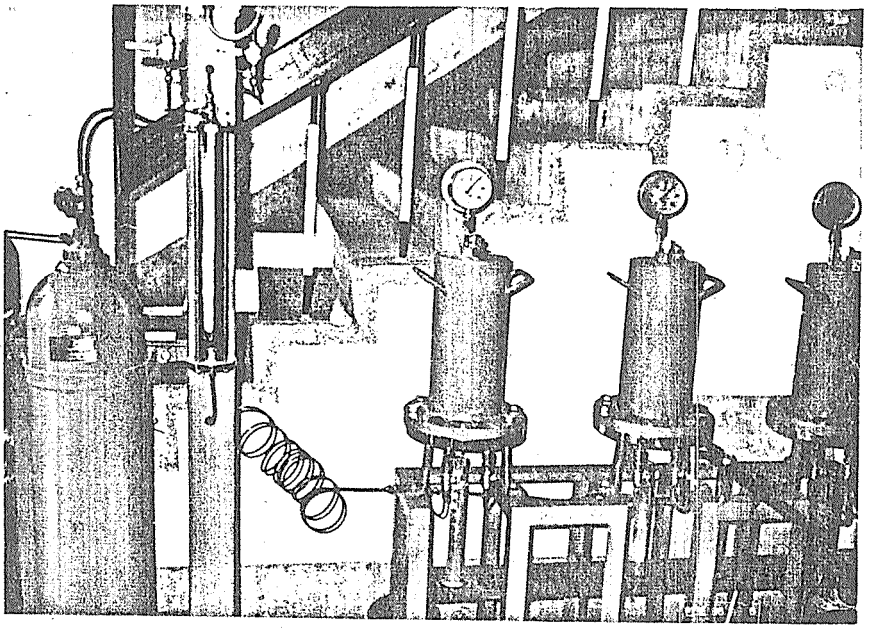

사진 1 透水試驗장치

試体의 側方円周로부터 一定壓力(본 실험에서는 평균 25kg/㎠)을 加해 中心 구멍에서 나오는 流出量을 測定해서 透水係數를 求하는 Out Put方法으로 시험하였다. 透水係數는 Pascy의 法則으로부터 다음식으로 구한다.

$$K=\frac{2.3\ell og(\gamma_o-\gamma_i)Q}{2\pi\ell P_o}\cdot P$$

여기서, K : 透水係數(cm/sec)

γ_o : 공시체의 바깥반지름(cm)

γ_i : 공시체의 中心구멍반지름(cm)

ℓ : 공시체의 높이(cm)

Q : 流水量(㎤/sec)

P_o : 設定水壓(kg/㎠)

P : 물의 단위체적 무게(kg/㎤)

4. 實驗結果 및 考察

4-1 水密性에 관한 실험결과

콘크리트 水密性에 영향을 미치는 要素는 여러가지가 있다. 表-6은 실험결과에 의한 공시체의 透水係數와 함수율을 종합한 表이며 이에 대한 分析은 다음과 같다.

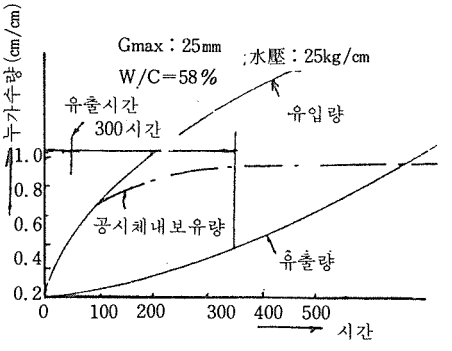

그림-1 투수시험기간과 누가수량

4-2 물·시멘트比가 콘크리트 水密性에 미치는 영향

물·시멘트가 콘크리트의 透水係數에 어떻게 영향을 미치는가를 알기 위하여 굵은 골재의 최

表-6 공시체의 투수계수와 함수율

공시체명 기호	혼화제 유무	단위 시멘트 (kg)	단위 수량 (kg)	W/C (%)	슬럼프 (%)	공기량 (%)	투수계수 $\times 10^{-9}$ (cm/sec)	흡수율 (%)	시험 일수 (日)
P-25	없음	518	197	38	7.2	1.5	0	3.2	26
		458		43	7.5	1.5	0	3.5	26
		410		48	7.5	1.5	3.0	4.1	25
		372		53	7.5	1.5	18	4.3	18
		340		58	7.8	1.5	69	5.0	12
P-40	없음	484	184	38	7.7	1.5	2.1	3.5	30
		428		43	7.5	1.5	3.3	4.0	25
		383		48	7.5	1.5	8.0	4.3	18
		347		53	7.5	1.5	26	4.6	16
		317		58	7.6	1.5	11.0	4.8	14
Co-25	감수제 Co. P 7 시멘트 100kg에 0.2ℓ 사용	439	180	41	7	3	2.0	3.8	30
		391		46	7.2	3.1	3.0	4.0	31
		353		51	7.5	3	6.0	4.7	32
		321		56	7.4	3.3	27	4.8	10
		295		61	7.6	3.3	14.0	5.1	8
	〃	405	166	41	7.3	3	11	3.8	26
		361		46	7.5	3	25	4.2	30
		325		51	7.5	3.1	30	4.8	25
		296		56	7.6	3.1	120	4.9	16
		272		61	7.7	3.3	150	5.4	16
	Co. P 7 은 시멘트 100kg에 0.2ℓ 사용 NN은 콘크리트 1㎥에 4.5ℓ 사용	439	180	41	7	3	2.5	3.1	32
		391		46	7.2	3.1	6.0	3.5	30
		353		51	7.5	3	7.5	3.9	30
		321		56	7.4	3.3	8.0	4.5	10
		295		61	7.6	3.5	23.3	5.6	7
CONN-40	〃	405	166	41	7.3	3	6.7	3.5	35
		361		46	7.5	3	8.8	4.0	31
		325		51	7.5	3.1	12	4.3	30
		296		56	7.6	3.1	14	4.6	10
		272		61	7.7	3.3	14	5.6	7

비교 (1)투수시험시의 水壓은 平均 25/㎠로 함
(2)공시체의 성형은 3층으로 콘크리트를 넣고 각층마다 25회 다짐

대치수를 25㎜, 40㎜에 대해 슬럼프 약 7~8cm 정도로 하고, 물·시멘트비의 變化를 Plain 콘크리트에서는 38%에서 5%씩 증가하여 58%까지 또 감수제 (Cormix P-7을 시멘트 100kg에 대해 0.2ℓ 사용)를 사용한 콘크리트에서는 41%에서 61%까지 변화시켜서 材令 28日에서의 透水係數를 측정하였다. 시험결과는 表-6에 있으며 이를 그림으로 일부 그린 것이 그림-2이다.

그림-4에서 아는 바와 같이 슬럼프와 굵은 골재의 최대치수 및 단위수량을 같게 했을때 (시

멘트량은 변화시킴)물·시멘트비가 클수록 투수계수는 어떤 경우던 점점 커졌으나 물·시멘트비 50% 정도에서는 굵은골재의 최대치수가 25mm인 경우, P-25는 6×10^{-9}cm/sec, CO-25는 5×10^{-9}cm/sec CONN-25는 8×10^{-9}cm/sec로 거의 같았고 Gmax 40mm인 경우, P-40은 14×10^{-9}/cm/sec, Co-40은 28×10^{-9}cm/sec, CONN-40은 12×10^{-9}cm/sec로 되었으나 물·시멘트비가 60% 정도에서는 Gmax가 25mm인 경우 P-25는 90×10^{-9}cm/sec, CONN-25는 20×10^{-9}cm/sec이고, Gmax가 40mm인 경우에는 P-40은 140×10^{-9}cm/sec, Co-40은 210×10^{-9}cm/sec, CONN-40은 40×10^{-9}cm/sec로 되어 防水劑를 쓴 콘크리트를 제외하고 다른 콘크리트는 물·시멘트비 55%를 전후해서 透水係數의 변동폭이 심한 것으로 측정되었다. 즉 W/C 50%를 기준으로 할때 5% 증가에 대한 透水係數의 증가율은 Gmax 25mm에서 平均 5배 증가, Gmax 40mm에서 平均 4배 증가 했으나 W/C 10% 증가에 대해서는 透水係數의 증가율은 Gmax 25mm에서 平均 20배 증가, Gmax40mm에서는 평균 10배정도 증가하였다.

특기할만한 사실은 混和劑가 없는 보통 콘크리트라 하더라도 물·시멘트비가 50% 이하에서는 혼화제를 사용한 콘크리트와 透水係數가 거의 같거나 이보다 적어져서 水密性이 좋은콘크리트를 만들 수 있음을 보여 주었다. 그러나 물·시멘트 60% 이상에서는 防水劑나 기타 좋은 混和劑를 첨가함으로서 水密性의 콘크리트를 만들 수 있을 것이다.

4-3 굵은 골재의 최대치수가 콘크리트 水密性에 미치는 영향

表-6에서 물·시멘트比와 워커빌리티가 거의 같은 경우 굵은 골재의 최대치수 25mm와 40mm에 대하여 材令 28日에서의 壓縮强度는 거의 같은 값을 보이고 있다.

그러나 그림-3에서 보는 바와 같이 굵은 골재의 최대치수가 달라짐에 따라서 透水係數의 變化가 생겼으며 Gmax 40mm의 콘크리트는 Gmax 25mm에 비하여 보통콘크리트와 방수콘크리트는 약 2배 정도, 감수제 콘크리트는 2~5배 정도 크게 측정되었다.

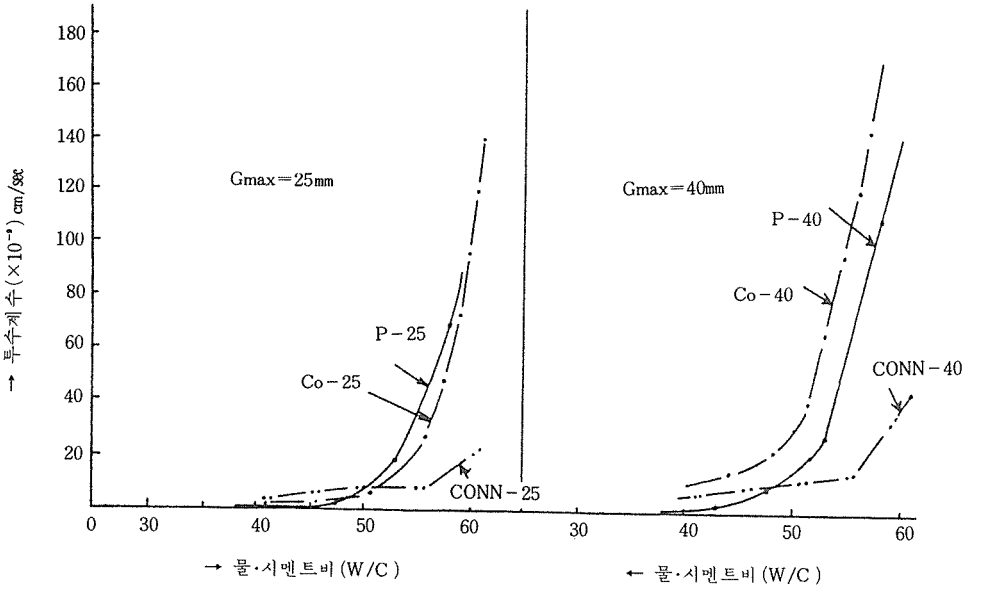

그림-2 물·시멘트比와 투수계수와의 관계

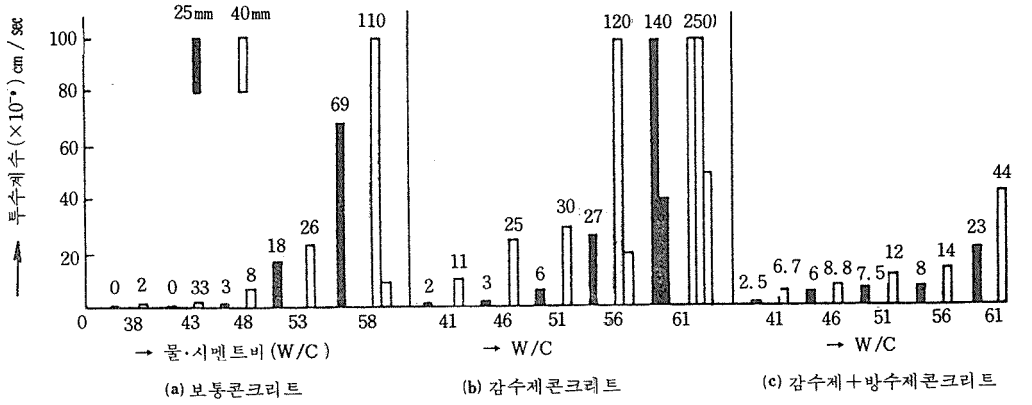

그림-3 굵은 골재의 최대치수 와 투수계수와의 관계

필자의 견해로는 공시체의 지름은 15cm 이나 中空이 있으므로 해서 실제 공시체의 두께는 6.5cm정도 밖에 되지 않으므로 40mm의 골재는 똑같은 다짐횟수로 다졌다해도 25mm 골재의 경우보다 불충분하게 다져진 결과라 보며 이로인해서 블리딩으로 골재 하면에 水膜이 형성되고 또 시멘트 풀에서의 공극도 커짐으로 해서 透水係數가 커진 것으로 판단된다.

4-4 混和劑가 콘크리트水密性에 미치는 영향

混和劑로서는 減水劑(Cormix P-7)와 減水劑+防水劑(小野田 NN)를 썼으며 이 경우 透水係數가 어떻게 변하는가를 알아본다. 表-6과 그림-4에서 보는 바와 같이 워커빌리티가 비슷한 각종 콘크리트에서 단위시멘트량이 400kg/m³ 이상에서는 混和材料를 쓴것이나 안쓴 콘크리트가 거의 비슷한 투수계수를 갖게되나 단위시멘트량이 적은 貧配合에서는 混和材料를 사용함으로서 防水에 대한 효과가 크게 나타났는데 예로서 Gmax 40mm인 경우(그림-4(b) 참고) 단위시멘트량 300kg/m³에 대하여 透水係數는 P-40이 140×10^{-9} cm/sec, Co-40이 100×10^{-9} cm/sec, CONN-40은 13×10^{-9} cm/sec로서 특히 防水劑의

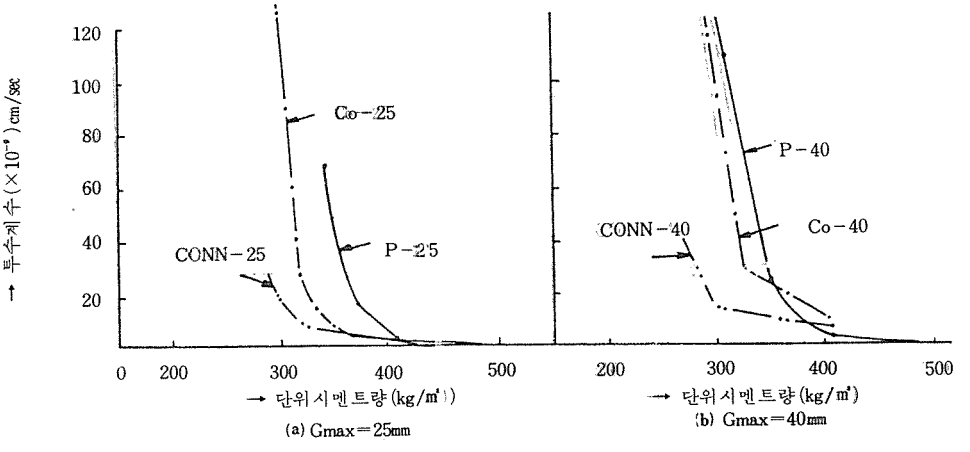

그림-4 單位시멘트량과 투수계수와의 관계

효과는 單位시멘트量이 적은 콘크리트나 물·시멘트비가 큰 콘크리트에 사용함으로써 방수효과를 기대할 수 있음을 보여 주었다.

4-5 壓縮强度가 콘크리트 水密性에 미치는 영향

그림-5는 콘크리트의 워커빌리티가 거의 같은 경우의 壓縮强度와 透水係數와의 관계를 보통콘크리트, 減水劑 콘크리트 및 防水劑콘크리트에 대하여 나타낸 그림이다.

그림에서 보는 바와 같이 壓縮强度가 점점 커짐에 따라서 콘크리트의 투수계수는 점차 감소되는 경향을 나타냈고 압축강도가 일정한 값에서 Gmax의 크기에 따른 투수계수의 변동은 보통콘크리트와 방수콘크리트에서는 별 차이가 없으나, 감수콘크리트에서는 압축강도 300kg/㎠ 범위에서 변동이 좀 있었으며 壓縮强度 270kg/㎠에서는 각 콘크리트마다 Gmax 25㎜와 Gmax 40㎜에 관계없이 투시계수가 일치되었다(그림-5에서 A점, B점, C점 참고).

4-6 다짐의 정도가 콘크리트 水密性에 미치는 영향

表-6은 각종 콘크리트 공시체 제작시 3층으으로 콘크리트를 몰드에 넣고 각층마다 다짐 막대로 25회 다진 경우의 투수계수와 함수율의 값이다.

이와 똑같은 배합을 다짐만을 달리했을때 즉 공시체 제작시 몰드에 2층으로 콘크리트를 넣고 각층마다 다짐막대로 25회 다진 경우의 투수계수의 실험값은 표-7과 같았다.

表-7에서 보는바와 같이 배합설계가 잘되고 모든 조건이 똑같다 하더라도 몰드에 공시체 성형시 다짐이 불충하면 콘크리트 내부에 공극이 많이 생기고 또 큰 공동이 생기므로 양생을 충분히 한다하더라도 콘크리트 내부에 존재하는 큰 공극으로 인하여 透水를 조장시키는 것은 당연하다. 따라서 水密性 콘크리트에서 무엇보다 중요한 것은 충분한 다짐이라 할 수 있다.

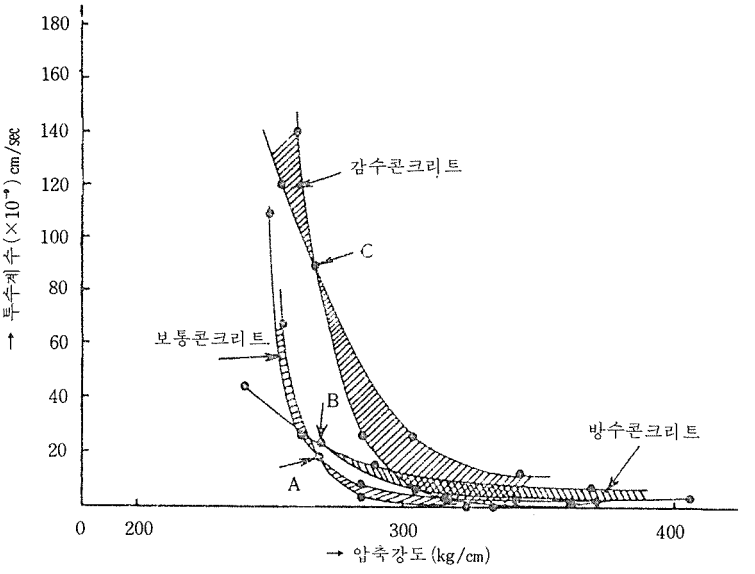

그림-5 壓縮强度와 透水價數와의 관계

表-7 공시체의 투수계수(2층으로 성형하고 각층마다 25회 다짐)

공시체명 기호	단위시멘트량(kg)	W/C (%)	슬럼프 (cm)	투수계수×10^{-9} (cm / sec)	表-6의 투수계수 ×10^{-9} (cm / sec)	대비 표7 값 / 표6 값
P-25	458	43	7.5	35.0	0	∞
P-40	428	43	7.5	61.0	3.3	18.5배
Co-25	439	41	7.0	30.0	2.0	15배
Co-40	405	41	7.3	23.0	11.0	2.1배
CONN-25	391	46	7.2	20.6	6.0	3.4배
CONN-40	405	41	7.3	27.0	6.7	4.0배

5. 結　論

콘크리트 構造物의 漏水防止를 위해서는 워커블하고 均質의 水密性 콘크리트를 만든다든지 混和劑의 利用이나 또는 콘크리트 表面에 防水皮膜材를 途布하는 등 여러方法이 있을 것이다. 本研究에서는 보통콘크리트나 混和劑를 사용한 콘크리트에 대하여 水密性에 影響을 미치는 여러 요소들을 透水試驗을 통하여 判斷하였으며 本研究結果의 實驗範圍內에서 다음의 몇가지 事實들을 알 수 있었다.

1)透水係數 K값을 알기 위한 透水試驗은 比較的 試驗에 長時日이 걸리는 不便(평균 20일로서 치밀한 콘크리트에서는 透水가 되지 않아 K값을 구할 수 없는 경우도 있음)은 있으나 理論이 確實하기 때문에 透水에 대한 정확한 답을 얻을 수 있었다.

2)일반적으로 콘크리트의 透水性에 가장 영향을 미치는 要素는 施工中의 다짐부족이라 본다(表-7 참조)다짐이 부족하면 콘크리트 내부에 공극이 생겨서 흡수를 조장시키고 또는 壓力下에서는 透水에 의한 물의 通路가 될 수 있다.

3)혼화제를 사용치 않은 보통콘크리트라도 물·시멘트비 50% 이하에서 배합이나 시공관리가 철저하면 혼화제를 쓴 콘크리트와 거의 같은 수밀성을 갖거나 그보다 좋은 수밀콘크리트를 만들 수 있다(그림-2 참조). 또한 단위시멘트량이 많으면 수밀성이 높은 콘크리트가 可能함을 보여주었다(그림-4 참조).

4)혼화제(특히 방수제)의 효과는 부배합의 물·시멘트 비가 적은 콘크리트에서는 그다지 효과가 없으며 빈배합의 물·시멘트비가 큰(W/C 60% 이상의 것)콘크리트에서 효과가 크게 나타났음을 보여주었다(그림-4 참조).

5)물·시멘트비와 반죽질기를 같게 했을 때의 사용하는 굵은 골재의 최대치수에 의한 콘크리트의 水密性은 최대치수가 커짐에 따라서 水密性이 좀 떨어지므로(그림-3 참조)일반 구조물에서 수밀성을 높이려면 워커블하고도 굵은 골재의 최대치수를 작은 것을 선택하는 편이 좋다

또한 압축강도와 水密性관계에서도 압축강도가 큰 콘크리트일수록 투수계수가 작게 측정되었다(그림-5 참조). 즉 강도가 커짐에 따라서 水密性이 증대함을 알 수 있다.*