

## 콘크리트 반죽후의 성질 및 내동해성에 미치는 골재미분말과 혼화제의 영향

본 내용은 1997년 6월 10일 ~ 12일(2박 3일간)동안 동경 국제전시장에서 개최된 제 9회 생콘 기술대회 및 '97 생콘산업전에서 발표한 논문을 번역한 것으로 회원사의 업무에 도움을 주고자 한다.

- 편집자 주 -

宇夫方 章裕  
鈴木 昭彦  
袴田 豊

### 1. 서 두

이와테(岩手)현 생(生)콘크리트공업조합에서는 내동해성이 뛰어난 생(生)콘크리트를 공급하기 위한 기술적연구를 헤이세이원년(平成元年 : 1989)부터 계속하고 있다.

현재59개 공장에서 실제로 제조되고 있는 생콘크리트를 대상으로 한 동결융해시험을 실시해 해석한바 그 내동해성은 조골재(거친 골재)의 흡수율과 밀접한 관련이 있다는 것을 알았다. 그것에 대해서는 제7회 대회에서 이미 발표하였다.

그러나 그중에서 조골재의 흡수율이 1%이하로 극히 양호하다라는 것에도 불구하고 내동해성에는 뒤떨어지는 예가 수차례 발견되었다. 검토결과 사용되고 있는 세골재(細骨材)는 어느것이나 같은 석질의 쇄사(부순모래)이고, 이것들의 쇄사에 특유한 미분말의 존재가 내동해성에 뒤지는 원인이 아닐까 생

각해, 미분말에 주목한 동결융해시험을 행해 미분말과 내동해성과의 관계를 제8회 대회에서 발표했다.

그것들의 연장선상에서 이루어진 것이 본 연구이고, 실험1에서는 반죽후의 슬럼프(SLUMP)와 공기량등 후렛슈콘크리트의 성질 및 내동해성에 뒤떨어지는 골재미분말의 영향을 파악하는 것을 목적으로써, 또 그실험에서는 JIS A 6204 「콘크리트용 혼화제」 및 JIS A 5005 「콘크리트용 쇄석 및 쇄사」의 세척손실량의 규격을 만족하는 세골재에 주목하고 동결융해시험을 행했다.

세골재의 세척손실량은 JIS A 6204에서는 2.0%이하 JIS A 5005에서는 7.0%이하로 규정되어 있다. 동결융해시험은 이것들의 규격을 만족시키는 세골재를 이용한 콘크리트의 내동해성의 유무를 파악하는 것을 목적으로 실시한 것이다.

## 2. 시험방법

### 2.1 동결융해시험

동결융해시험은 ASTM C-666을 기준으로 공기중동결·수중융해방식(B법)로 실시했다. 시험개시 재령은 14일로 하고 온도 +15~-18℃의 범위로 300사이클까지 동결융해를 되풀이 했다. 이 사이 30사이클마다 상대동탄성계수의 측정을 행했다. 역시 콘크리트의 내동해성은 일반적으로 내구성지수에 의해 판정되는 것이므로 본실험에 있어서도 이것을 지표로 한다.

그 내구성지수는 60%이상이면, 내동해성을 가진다고 생각된다.

### 2.2 경화콘크리트의 공기량 및 기포간격계수의 측정

경화콘크리트의 공기량 및 기포간격계수의 측정은 ASTM C-457에 명시된 리니아트라바스법에 의해 구한다. 즉 콘크리트공시체를 절단해서 충분히 연마한후, 90MM의 트라바스선상의 공기포총수와 공기포현장의 총화등을 현미경 관찰에 의해 구하는 것이다.

## 3. 실험 1

### 3.1 실험개요

세골재, 조골재는 앞의실험<sup>(2)</sup>에서 열화(상태·품질이 안좋아짐)의 인식되어졌던 석회

암질의 쇄사 및 쇄석을 이용하는 것으로 했다. 세골재에 대해서는 미분말이 후레쉬콘크리트의 성질에 미치게 하는 영향을 알기위해서 채로걸러서 미분말양을 어느정도 커트한 세골재, 거꾸로 미분말을 첨가해서 미분말양을 늘린 세골재를 준비했다.

이 조정에 의해 세골재의 세척손실량을 2.6%, 7.4%, 9.5%, 13.2%의 네단계로 설정할 수 있었다. 그 골재의 물리적 성질은 표-1에 나타난 대로이다. 혼화제에 대해서도 앞의실험<sup>(2)</sup>에서 내동해성을 가진다고 인정된 A 및 열화가 인정된 B의 그상품명을 시멘트에 대해서는 보통포틀랜드시멘트를 사용했다.

배합은 세골재의 세척손실량 9.5%의 콘크리트를 기준으로해서 목표 슬럼프를 8cm, 그허용차를 ±2.5cm로 설정했다. 콘크리트의 공기량은 그 내동해성에 미치는 영향이 큰 것부터 혼화제의 품목에 의한 차를 엄밀히 검토하기 위해서는 거의 동일수치로 하는 것이 바람직하다. 그런데 후레쉬콘크리트의 목표 공기량을 4.5%의 허용차를 ±0.3%로 통상보다 엄격히 설정하고 엄밀히 비교하는 것으로 했다. 또 후레쉬콘크리트의 성질과 콘크리트의 내동해성에 미치는 영향을 명확히 파악하기 위해 AE제의 사용량을 세골재의 세척손실이 바뀌어도 일정하게 한다. 즉, 세골재의 세척손실량 9.5%의 콘크리트에 있어, 반죽후의 공기량이 4.5±0.3%에 안정되었을때의 AE제사용량을 이용하는 것을 기준으로해서 다른 세종류(세골재의 세척손실량 2.6%, 7.4%, 13.2%)의 콘크리트도 섞어 반죽한 것으로 한다.

[표 1] 골재의 물리적 성질

種類	FM	입방간점성적률(%)	표건비중(%)	흡수율(%)	세척손실량(%)
碎砂	2.42	55.3	2.69	1.03	9.5
碎石2005	6.68	60.3	2.69	0.84	1.0

[표 2] 콘크리트의 배합

W/C (%)	s/a (%)	단위량(Kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	S	G
58.5	48.0	184	315	866	939

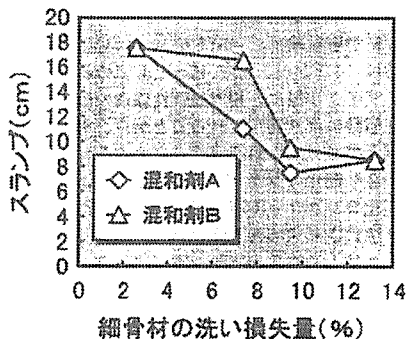
따라서 세골재의 세척손실량 9.5%이내의 3종류의 콘크리트의 슬럼프 공기량은 설정한 수치에는 구애되지 않는 것으로 한다. 실험에 사용한 콘크리트의 배합을 표-2에 표시한다. 콘크리트 공시체의 종류는 세척손실량 9.5%, 2.6%, 7.4%, 13.2%의 세골재와 혼화제 A 및 B를 조합한 8종류로 하고 모든표의 배합에 따라서 작성했다. 여기에 각종류의 相違는 세골재의 세척손실량 및 혼화제의 품목만이 된다.

이상과 같은 조건으로 콘크리트의 혼합반죽, 후레쉬콘크리트의 슬럼프, 공기량, 연속적 동결융해시험, 경화콘크리트의 공기량, 기포간격 계수의 측정을 행했다.

### 3.2 실험결과

그림-1은 세골재의 세척손실량과 슬럼프의 관계를 표시한 것이다. 혼화제 AB와함께 세척손실량이 기준의 9.5%보다 적어진대 대해 슬럼프는 커져 있다. 한편 세척손실량이 9.5%보다 많아져도 슬럼프의 그것만큼 변화가 보여지지 않는다.

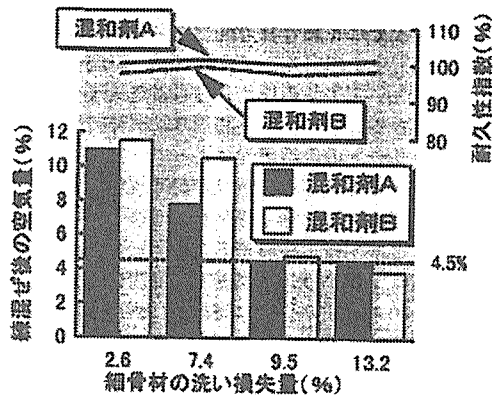
콘크리트의 슬럼프가 증가하는 현상은 콘크리트중의 세골재 이외의 미세한 입자가 감소한 경우에도 발생한다. 예를들면 시멘트의 종류를 조강포틀랜드시멘트에서 비표면적이



(그림 1) 세골재의 세척손실량과 슬럼프와의 관계

적은 보통포틀랜드시멘트로 변한 경우, 혹은 콘크리트의 배합 세골재율을 적게한 경우가 그것에 해당한다.

그림-2에서 세골재의 세척손실량과 혼합반죽후의 공기량 및 내구성지수의 관계를 나타낸다. 혼합반죽후의 공기량에 주목하면 혼화제의 첨가량은 세골재의 세척손실량 9.5%를 기준으로 해서 일정하기 때문에 기준보다 적은 세척손실량 2.6% 및 7.4%의 콘크리트에서는 AE제의 사용량이 과잉하게 되고 공기량은 세척손실량 9.5%보다 커다란 값이 되어 있다. 거꾸로 세척손실량 13.2%와 같이 콘크리트에 포함된 미분말이 증가한 경우에는 공기량이 감소하고 있는것에서 소요(所要)의 공기량을 얻기 위해서는 AE제의 사용량이 증가하게 된다.



(그림 2) 세골재의 세척손실량과 혼합반죽후의 공기량 및 내구성지수의 관계

즉, 세골재의 세척손실량과 혼합반죽후의 공기량 사이에는 미분말이 증가하면 공기량이 감소한다고 하는 역비례(逆比例)의 관계를 이해할 수 있고 세골재 미분말이 공기포의 생성을 저해하고 있는 것은 분명하다고 말할 수 있다.

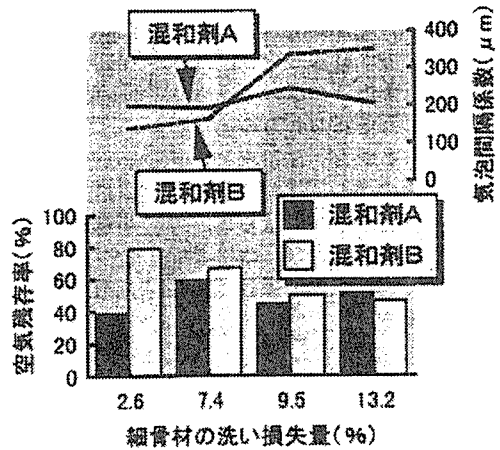
다시 표-1에 있어서 세골재의 세척손실량 2.6%, 7.4%의 콘크리트의 슬럼프가 큰폭으

로 커지는 것은 공기량의 형성을 저해하는 요인인 미분말이 극단적으로 적어졌기 때문에 혼합반죽후의 공기량이 증가하고 그것이 방아쇠가 되어 슬럼프도 커졌다고 하는것도 예상할 수 있는 것이다.

세골재의 세척손실량과 내구성지수의 관계에 대해서는 혼화제 A,B와함께 모든 세척손실량에 있어서 100%전후의 값이 되었다. 일반 내구성지수는 10%이상이면 내동해성을 가지고 있다고 생각되어 지는것이기 때문에 극히 양호한 결과라고 할 수 있다. 단, 전회(前回)의 실험<sup>(2)</sup>에서는 혼화제 B를 사용한 경우 세종류 모두의 세척손실량(7.4%, 9.5%, 13.2%)에 있어서 내구성지수 60%를 밑돌기 때문에 전회의 실험결과를 재현 하기에는 미흡했다. 그 원인으로서 세골재의 세척손실량 2.6% 및 7.4%에 대해서는 혼합반죽후의 공기량이 설정 값인 4.5%를 큰폭으로 상회하는 11.5% 및 10.5%였기 때문에 내동해성에 유효한 '에트레인드에어'가 유효하게 작용했던 것이라 생각되었던 것이다. 또 세척손실량 9.5% 및 13.2%에 있어서도 AE제의 사용량에 주목하면 전회(前回)의 실험보다도 세척손실량 9.5%는 약30% 많고, 세척손실량 13.2%에 대해서도 본 실험에서 얻어진 공기량은 설정치의 허용범위의 한계를 밑도는 3.9%였음에도 불구하고 AE제의 사용량은 전회(前回)를 15%정도 상회하고 있다.

이것은 콘크리트를 만든때의 계절적 차이지만 공기량의 방출에 영향을 받은 것이 아닌가 추측되는 것이다. 전회(前回)의 실험을 8월의 한여름 본 실험은 12월의 초겨울에 실시했다. 당연한 일이지만 골재와 시멘트등 재료의 온도는 전회보다도 저하(低下)된다. 콘크리트온도가 내려가면 후레쉬콘크리트의 슬럼프와 공기량에 변동을 초래하는 것은 경험적으로 알려져 있는 것이다. 일련의 실험결과를

비교검토하기 위해서 콘크리트온도를 20℃전후로 보존한 것은 필요조건이기 때문에 전회의 실험에서 사용한 혼합반죽 물의온도 약 5℃를 본실험에서는 50℃정도까지 올려 혼합반죽을 하지 않을 수 없었다. 즉 혼합반죽 물의온도가 전회의 실험보다도 높여 굳혀서 필요한 공기량을 얻기 위해서 AE사용량이 증가하고 그결과 에트레인드에어도 적당량섞여 내동해성에 탁월한 결과를 낳게 되었다고 생각되는 것이다.



(그림 3) 세골재의 세척손실량과 공기잔존율 및 기포간격계수의 관계

그림-3에 세골재의 세척손실량과 공기잔존율 및 기포간격계수의 관계를 나타낸다. 공기량이 콘크리트의 내동해성에 미치는 영향이 큰 것은 말할 것도 없지만 이 경우의 공기량이란 경화콘크리트에 잔존하는 공기량인 것이다.

따라서 현미경에 의한 경화콘크리트의 공기량 측정에 있어서는 가능한한 내동해성에 있어 유효하다고 하는 에트레인드에어를 대상으로 했다. 공기잔존율은 다음방식에 의해 구하고 있다.

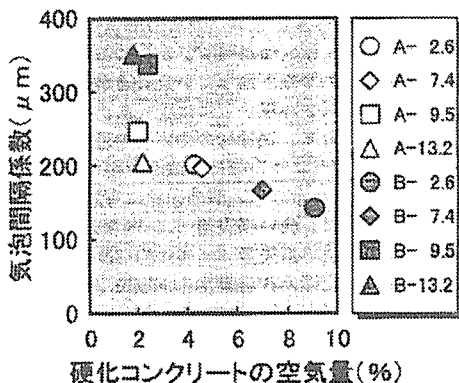
$$\text{공기잔존율(\%)} = (\text{경화후의 공기량} / \text{혼합반}$$

죽후의 공기량)×100

혼화제 A에서는 세골재의 세척손실량에 의한 변동은 어떠한 경우 공기잔존율에서는 일정한 경향은 보이지 않고 미분말의 영향을 그다지 받기 어려운 혼화제이다 라고 말할 수 있다. 한편 혼화제 B에 있어서는 세척손실량의 증가와 함께 공기잔존율이 저하 하고 있고 양자사이에는 역비례관계를 볼 수 있기 때문에 혼화제 B는 내동해성에 미치게하는 미분말의 존재의 영향을 받기쉽다고 할 수 있다.

콘크리트의 내동해성에 있어 공기량과 함께 중요한 요인으로서 기포간격계수를 들 수 있다. 기포간격계수가 작을수록 내동해성에 뛰어나다는 것은 주지의 사실이다. 혼화제 B를 사용한 세골재의 세척손실량과 기포간격계수의 관계에 있어서는 미분말의 감소에 동반하여 기포간격계수도 작아지고 있는 것을 명확히 알 수 있다. 그림-2의 세골재의 세척손실량과 혼합반죽후의 공기량의 관계에서도 알수 있듯이 미분말의 감소에 따라 공기량은 증가하고 있고 이것은 한층더 나아가서는 기포간격계수를 보다 작게하는것에 기여하고 내동해성의 향상을 가져온다고 할 수 있다.

경화(硬化)후의 공기량과 기포간격계수의



(그림 4) 세골재의 세척손실량과 공기잔존율 및 기포간격계수의 관계

관계를 표시한 것이 그림-4이다.

이것에 의하면 혼화제 A 및 B가 같이 경화후의 공기량이 많아질수록 기포간격계수는 작아진다고 하는 역비례의 관계를 명확하게 파악할 수 있다. 즉 세골재의 세척손실량이 작아져도 혼화제의 사용량을 변화시키지 않으면 경화후의 공기량이 커진다. 이것은 기포간격계수를 작게하는것에 기여하고 내동해성에 양호한 결과를 가져올수 있다고 말할수 있는 것이다.

그렇지만 2종류의 혼화제를 같은정도의 공기량으로 비교해 보면 혼화제 A의 기포간격계수의 쪽이 상대적으로 작아지고 콘크리트의 내동해성에 미치는 효과는 혼화제 A쪽이 크다고 할 수 있다. 단 혼화제 B의 세척손실량 2.6%, 7.4%에 대해서는 혼화제 A보다도 경화콘크리트의 공기량은 많고 더욱 기포간격계수는 작다. 그림-2에 나타났듯이 본 실험에서는 기준이 되는 세척손실량 9.5%와 동등한 AB제의 사용량을 세척손실량 2.6%, 7.4%의 콘크리트에도 각각 적용했다. 그 결과 어느쪽의 미분말에 있어서도 혼화제 A에 비교해서 B쪽이 혼합반죽후의 공기량은 상대적으로 큰수치를 나타냈다.

이것은 세골재의 미분말이라고 하는 콘크리트의 공기포형성을 저해하는 요인이 없다면 혼화제 B는 A보다도 공기포를 형성하기 쉬워진다는 것을 나타내는 것이라 할수있지만 그 원인에 대해서는 금후의 연구과제일 것이다.

이상에서 미분말이 설정치보다 지나치게 적게 포함된 세골재를 이용하면 슬럼프 및 혼합반죽후의 공기량의 증가 그것을 보완하기 위해서는 단위수량과 AB제 사용량을 낮추는 것이 필요하다는 것등, 혼합반죽후의 상태와 콘크리트의 배합에 미치는 영향이 지대함을 알았다.

거듭 콘크리트의 내동해성은 미분말과 혼화제의 품목의 영향을 그다지 받지 않았지만 내동해성을 확보하기 위해서는 기포간격계수 350 $\mu$ m정도 이상을 확보할수 있는 혼화제를 선정하여 사용하는 것이 필요하다 할수 있다.

## 4. 실험

### 4.1 실험개요

실제로 제조되어 있는 생콘크리트를 대상으로 했던 동결융해실험에 있어서 콘크리트에 이용했던 조골재의 흡수율이 1%이하로 지금껏 양호함에도 불구하고 내동해성에서 뒤떨어지는 것은 세골재에 포함된 다량의 미분말이 원인이 아닐까 생각되어 미분말에 주목한 실험을 이제까지 되풀이해 왔다.

그러나 JIS A 6204「콘크리트용 화학 혼화제」에 있어서는 세척손실량 2.0%이하로 비교적 적은 미분말이 섞여져 있는 세골재를 이용해서 동결융해저항성을 확인하게끔 규정되어 있다. 또 JIS A 5005「콘크리트용 쇄석(碎石) 및 쇄사(碎砂)」에는 세척손실량 7.0%이하라고 하는 규정도 있다. 이들 규정을 만족하는 골재를 사용한 콘크리트의 내동해성의 유무를 확인하는 것이 본 실험의 목적이다.

실험에 사용한 골재는 실험-1과 같은 석회암질의 쇄사 및 쇄석으로 하고 조정에 의해 세골재의 세척손실량은 각각의 규격을 만족하는 0.86% 및 6.4%로 설정했다. 혼화제는 세척손실량 0.86%가 실험-1에서 사용했던 그제품을 포함한 A~F의 6제품, 세척손실량 6.4%에서는 실험-1과 같은 A 및 B의 2제품을 이용한 것으로 했다. 즉, 콘크리트의 편성은 합계로 8종류로 했다.

세골재의 세척손실량은 실험-1에서의 배합 기준 9.5%를 밑돌기 때문에 실험-1의 단위수량을 그대로 사용하면 슬럼프는 8cm를 크

게 상회한다. 그래서 콘크리트의 단위수량을 낮추어 슬럼프 8cm정도를 확보할수 있게끔 했다. 표-3은 단위수량을 포함한 배합을 나타내고 있다.

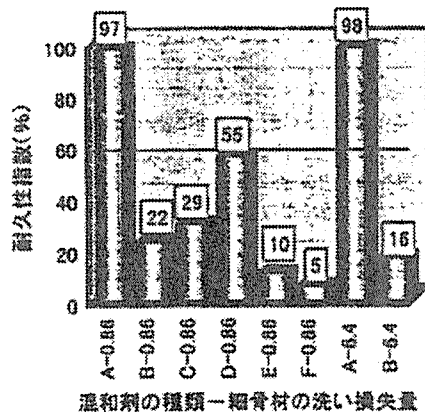
또 혼합반죽 후의 공기량은 어떤 콘크리트도 4.5 $\pm$ 0.3%가 되게끔 설정했다.

(표 3) 콘크리트의 배합

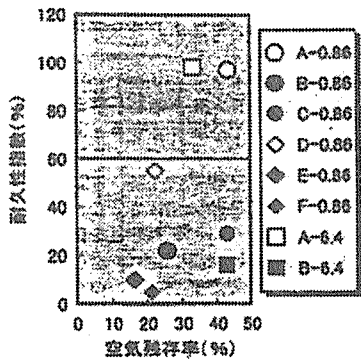
세골재의 세척손실량 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
0.86	58.5	48.0	170	291	896	968
6.4	58.5	48.0	174	297	888	960

### 4.2 실험결과

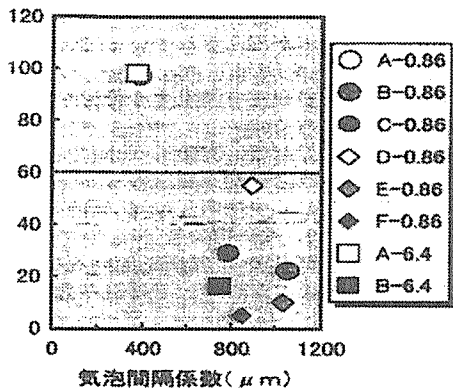
각각의 콘크리트의 내구성지수를 그림-5에서 표시한다. 세척손실량 0.86%, 6.4%의 어느쪽에 있어서도 혼화제 A를 이용한 콘크리트의 내구성지수는 100%에 가까운수치로 표시하고 있지만 다른 5종류의 혼화제를 이용한 콘크리트의 내구성지수는 모두 60%를 밑돌고 있고 두가지 규격의 세척손실량을 만족시키는 쇄사를 사용하여도 내동해성에 뒤떨어진다고 판단하지 않을수 없는 결과가 되었다.



(그림 5) 세골재세척손실량과 내구성지수와와의 관계



(그림 6) 공기 잔존율과 내구성지수와의 관계



(그림 7) 기포간격계수와 내구성지수와의 관계

그림-6의 공기잔존율과 내구성지수의 관계를 살펴보면 혼화제 B와 세척손실량 6.4%: 혼화제C와 세척손실량 0.86%의 조합이 전체의 경향에서 벗어나 있기는 하지만 공기잔존율이 커질수록 내동해성에 뛰어나다고 하는 비례관계를 발견할 수 있다.

전체의 경향에서 벗어난 두가지의 조합은 뛰어난 내동해성을 나타낸 혼화제 A 및 세척손실량 0.86%의 조합과 거의 같은 정도의 공기잔존율을 확보하고 있음에도 불구하고 내동해성에 뒤떨어지는 결과가 나왔다.

그래서 콘크리트의 동결융해저항성과 보다 밀접한 관계가 있다고 하는 기포간격계수에 주목하여 내구성지수와의 관계를 그림-7에서 나타낸다.

혼화제 A를 이용한 콘크리트는 어떤 세척손실량에 있어서도 기포간격계수 400 $\mu$ m이하를 나타내고 있고 동결융해시험에 있어 콘크리트온도의 저하에 수반하여 발생하는 팽창압을 완화할 수 있었기 때문에 뛰어난 내동해성을 나타낸 것이라고 생각되어진다. 이것에 대해서 제품 A이외의 혼화제를 사용했던 6종류의 콘크리트는 어느쪽도 기포간격계수 700 $\mu$ m정도 이상을 나타내고 있고 콘크리트온도의 저하에 따라 발생하는 팽창압을 완화할 수 없어 내동해성에 뒤지는 것은 분명하다.

그림-6에서 전체의 경향에서 벗어나 있던 2종류의 콘크리트와 기포간격계수도 이영역에 들어가 있고 공기잔존율이 40%이상으로 비교적 커도 기포간격계수가 400 $\mu$ m정도를 나타내지 않으면 내동해성에 뛰어난 콘크리트를 확보할 수 없다고 할 수 있다. 특히 혼화제 B를 사용했던 콘크리트의 공기포는 실험-1의 결과와는 다르게 혼화제 A를 사용했던 공기포 보다도 현상(弦長)이 크고 공기잔존율을 크게하는 것은 가능하고 내동해성에 유효한 100 $\mu$ m정도이하 보다 작은기포가 적었기 때문에 기포간격계수가 커지고 내동해성이 떨어졌다고 생각되는 것이다. 더욱이 현미경관찰에 의하면 세척손실량 0.86%로 제품 A이외의 혼화제를 사용했던 콘크리트는 어느쪽도 질 좋은 콘크리트에 비교해서 조직이 거칠고 미분말이 극단적으로 적었기 때문에 경화후의 공기량이 0.7%에서 1.8%로 에트레인드에어를 섞어넣기 쉽지않고 내동해성이 뒤떨어지는 것은 아닐까 추측되는 것이다.

이것은 에트레인드 에어를 가장 형성하기 쉬운 세골재의 입도(粒度)는 150-600 $\mu$ m이라는 연구에서도 엿볼 수 있다.

이상의 결과에서 세척손실량의 규격을 만족시키는 세골재를 사용했던 콘크리트에서도 혼화제의 제품에 따라서는 반드시 뛰어난 내

동해성을 나타낸다고는 단정할 수 없고 혼화제의 선정에서는 주의를 요한다고 할 수 있다.

## 5. 맺음말

일련의 실험결과에서 세골재에 포함된 미분말이 콘크리트의 내동해성에 미치는 영향이 큰 것은 틀림없는 것이다. 그러나 본 실험-2에 있어서 세척손실량의 규격을 만족시키는 세골재를 사용했음에도 불구하고 A를 제외한 5제품의 혼화제를 이용했던 콘크리트의 내동해성이 뒤떨어졌던 것은 틀림없는 사실이다.

여기서 이 세골재에는 미분말 이외에도 내동해성을 저해하는 요인이 있는 것은 아닐까 생각해 보지 않을수 없는 것이다. 그 요인이 무엇일까를 규명하고 이 세골재를 이용한 콘크리트의 내동해성을 확립하는 것이 이후의 과제이다.

그리고 본연구는 이와테(岩手)현 생콘크리트공업조합의 기술위원회(佐々木 箋雄委員長)아래 설치되어 있는 내동해성 검토를 위한 워킹그룹이 실시한 것이고 본 논문의 저자 이외의 멤버는 아래와 같다.

佐藤匡昭 (岩手縣生コンクリート工業組合), 中澤岩男(同), 和山俊樹 (同), 藤原裕介(同), 山内茂樹 (岩手縣南生 コン業協同組合), 藤原忠司 (岩手大學)

## 참고문헌

- (1) 佐, 中澤, 原, 子: 第7回 生コン技術大會研究發表論文集, (36), 1993
- (2) 佐, 山内, 原, 子: 第8回 生コン技術大會研究發表論文集, (31), 1995
- (3) 笠井芳夫·小林正凡編: エメント・コンクリート用混和材料, pp.242, 技術書院, 1986