

고강도 콘크리트의 통계학적 분석방법

신 성 우

〈한양대학교 건축공학과 조교수·공학박사〉

1. 서론

보통 콘크리트는 그것의 생산방법이 매우 불확실한 면이 많기 때문에 압축강도를 측정하기는 어려운 점이 많다. 더우기 고강도 콘크리트($420\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상)의 경우에는 이들의 사용이 고층 건축물, 장기간 교량, 그리고 얇은 셸구조와 같은 특수구조물에 사용되기 때문에 보다 엄격한 생산관리를 요하는데, 이에 반하여 이들을 생산하기 위한 방법이 아직 국내에 보편화되어 있지 않은 실정이다.

본 내용에서는 고강도 콘크리트를 효과적으로 생산하기 위한 방법으로 기준자료를 통계적으로 분석하는 방법을 소개함으로써 국내에서의 고강도 콘크리트의 제조에 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 본론

2.1 자료건본 채취방법

본 원고에서는 강도추정을 위한 콘크리트 건본 채취를 위하여 무작위 추출법(random sampling)을 전제하는데 이는 실제로 모든 부위의 콘크리트를 시험한다는 것은 비현실적이며, 무작위 추출된 건본자료도 통계학적인 평가와, 그 건본의 특성분석이 잘되면 매우 실용적일 수 있기 때문이다. 그리고 이때의 무작위 추출은 어떤 가정이나 계획아래 채취된 것이 아님을 의미한다.

2.2 고강도 콘크리트의 품질관리에 영향을 미치는 변수 및 판정기준

고강도 콘크리트라는 목표강도를 실현하기 위하여는 많은 요인을 변수로 들수있으며, 이 중 물-시멘트비, 골재 입도율, 배합시간 등은 널리 알려져 있는 변수이나 이 중 실제로 물-시멘트비는 그것의 인지성 때문인지 실제 생각보다는 적은 문제점을 야기하고 있어 그외의 변수들에 대한 영향요인 평가에 세심한주의가 필요하며, 이들의 품질관리를 위한 기준으로 미국 콘크리트학회 ACI위원회 214에서는 초기에 4등급으로 두었는데 10%의 변동계수(Coefficient of Variance)이면 “매우 우수”(excellent)한 품질로, 그리로 10~15%이면 “양호”(good)등으로 변동계수를 분류하고 있었으나, 77년 이후에는 5등급을 압축강도의 표준편차(Standard Deviation)로 나누어, 편차가 $400\text{psi}(28\text{Kg}/\text{cm}^2)$ 이하이면 “매우 우수”, $400\text{psi}\sim 500\text{psi}(28\sim 35\text{Kg}/\text{cm}^2)$ 이면 “매우 양호”(very good) 그리고 $500\sim 600\text{psi}(35\sim 42\text{Kg}/\text{cm}^2)$ 이면 “양호”(fair)등으로 3분하였다.

그러나 앞의 기준 역시 임의성이 많기 때문에 사용자의 견해나 상황에 따라 다르게 해석될 수 있으며 이러한 규준이 고강도 콘크리트의 경우에는 적합한가 하는 것은 의문시된다. 이에 Anderson(1)은 다음과 같은 규준을 변동계수(Coefficient of Variance)에 따라 다음과 같이 제한하고 있으며 그의 자세한 내용은 표1과 같다.

표 1

제조여건	변 동 계 수				
	매우 우수 (excellent)	매우 양호 (very good)	양 호 (good)	보 통 (fair)	불 량 (poor)
일반 현장 시험	8이하	8~11	11~15	15~18	18이상
실험 시험 배합	4이하	4~6	6~8	8~10	10이상

이는 국내에서 건축공사 표준시방서(2) 고급 콘크리트의 경우 표준편차 기준으로 대개 25Kg/cm²를, 그리고 일본의 경우 압축강도의 10%로 하고 있는데 비하여 Anderson의 제안은 구분성이 명료하며 고강도 콘크리트의 범위까지 포함한 기준이므로 앞으로 국내에서의 좋은 참고가 될 것으로 보여진다.

2.3. 견본의 수학적 추정방법 (종속변수 - 독립변수 관계)

ACI 214 표2.1에서는 강도변화에 중요한 영향을 미칠 수 있는 몇가지 요인을 변수로 표시하고 있다. 그러나 변수들중 둘 또는 그 이상을 동시에 변경할때 그의 누계(Cumulative)나 순(net)효과에 대해서는 구체적 언급이 없다.

따라서 콘크리트의 품질관리의 분석을 위하여 일반 통계학자에 의하여 잘 쓰여지고 있으나 현장이나 학교를 벗어난 곳에서는 별반 쓰여지고 있지 않은 선형회귀방법을 이용함으로써 고강도 콘크리트의 품질관리를 위한 추정식으로 이용해 보고자 한다.

1) 단순 선형회귀

보통 자료상호간의 관계를 조사하는 통계적인 방법으로 선형회귀수법을 이용하는데 이러한 방법은 일반 통계에 관한 책에서 자세하게 설명되어 있다. 선형회귀방법의 사용에 있어서 변수들은 독립적(자유롭게 변하는) 또는 종속(독립변수의 변화에 의한)으로 나누고 있는데 본 예에서는 콘크리트 압축강도를 종속변수로 할당하였다.(미지의, 또는 결정되어야 할 변

수). 다른 모든 변수들은 독립변수로 하였으며 실험측정에 의해 구할 수 있다. 물-시멘트비와 같은 단하나의 독립변수의 경우에는 이식을 단순선형회귀로 부르며, 둘 또는 그 이상의 변수들이 한 식에 고려되어질 때에는 그 식을 복합선형회귀로 부른다. 단순선형회귀식과 복합선형회귀식을 해결하기 위한 소프트웨어는 소형 컴퓨터에서 사용 가능하며 만일 컴퓨터가 없는 경우에는 이러한 단순선형회귀식은 수작업에 의해서도 해결될 수 있다.

복합선형회귀식 또한 수계산으로 해결할수 있지만, 과정이 다소 지루하기 때문에 컴퓨터에 의한 해결이 바람직하다.

이때 선형회귀모델링의 결과의 하나는 독립변수와 종속변수 관계에서의 강도는 상호관계의 계수에 의해서 수치적으로 보여지고 있는데 이는 표준편차로서 회귀선 부근에서의 흩어짐 양의 측정이다. 콘크리트의 변수로 이용되는 두 가지 경우가 다음에 예로 주어져 있다.

例 1) ...주어진 재형에서의 물-시멘트비와 압축강도 사이의 선형회귀관계를 결정하기 위해 아래와 같은 실험에 의한 데이터가 주어졌다.

물-시멘트비 (X)	압축강도-psi(Kg/cm ²) (Y)
0.39	7830(548)
0.44	5620(394)
0.50	4300(301)
0.58	3900(273)
0.67	3050(214)

위의 자료로부터 유도된 선형회귀식은 다음과 같다.

$$y' = 12860 + (-15350x) \text{psi} \text{-----}(1)$$

두번째 항의 음의 계수는 선형회귀선이 하향 경사임을 나타내는데 그것은 압축강도가 물시멘트비가 증가함에 따라 감소하기 때문이다. 다른 두 통계가 위의 자료군으로부터 유도되었으며 선형회귀식은 상관계수와 표준편차사이의 상호관계이다.

$$\text{상관계수}(r) = 0.92$$

$$\text{표준에러}(s.e.) = 849 \text{ psi}(59.5\text{Kg/cm}^2)$$

r값은 무차원의 비례상수이며 표준에러(s.e.)는 종속변수의(이 경우에는 압축강도)와 같은 차원(dimension)이다.

예 2) ...압축강도와 재령의 선형회귀관계

이 예제에 대해서, 콘크리트의 재령(독립변수)은 Log로 환산하였다. 왜냐하면 콘크리트의 강도의 발현은 시간의 함수라는 것이 실험적으로 결정되었기 때문이다.

재령 (x)	재령의 log log(x)	압축강도, psi(kg/cm ²) (Y)
7	0.845	3210(225)
28	1.447	4500(315)
56	1.748	5080(356)
90	1.954	5310(372)
360	2.566	5805(407)

위의 자료에 대한 선형회귀분석은 다음과 같다.

$$y' = 2164 + 1530 \log(x) \text{ psi} \text{-----}(2)$$

$$\text{상관계수}(r) = 0.97$$

$$\text{표준편차}(s.e.) = 278 \text{ psi}(19.5\text{kg/cm}^2)$$

압축강도는 재령(혹은 재령의 log)에 따라 증가하므로 위의 두번째항의 계수는 陽數이다. 위 식(2)의 경우 표준편차가 매우 작으므로 물-시멘트비의 변화효과를 예측하는데 매우 정확한 추정식이 될수 있다. 그리고 상관계수가 1.0에 가깝기 때문에 데이터는 직선에 잘 일치하고 있음을 알수 있으나 일반 통계적인 방법에서와 같이 최종적인 것은 판단으로 해석되어져

야 한다. 선형회귀모델은 그것이 유도된 데이터 영역을 포함하여야 하는데 이러한 제안을 위반할 때에는 불확실한 결과를 초래할 수도 있다. 예를 들어 위의 예 (1)의 선형회귀식은 물-시멘트비가 0.10에서 압축강도 11330psi를 논리적으로 보여주나, 그러한 결과는 실제 불가능하다고 사료된다. 만일 원래의 데이터가 물-시멘트비를 포함하고 11000~12000psi(770~840Kg/cm²)범위의 압축강도를 가졌으면 식은 아주 다른 결과를 나타냈을 것이다. 고강도 콘크리트의 실험적비범으로부터 채택된 가능한 데이터군을 반영하기 위한 세번째 예는 다음과 같다.

예 3)--- 여기서 할당 값들은 물리적 특성에 의해서는 의미가 없어지며 단지 복합 회귀식에서 그것들을 구별하기 위해서만 의미를 주고 있다. 양 골재는 이전에 시험되지 않은 것이다. 물-시멘트비가 감소하면 콘크리트 강도가 증가하는 반면에, 골재선택에 관한 상대적인 효과는 이 예에서 알려져 있지 않다.

골재산지 (X1)	물-시멘트비 (X2)	압축강도, psi(kg/cm ²) (Y)
0	0.56	4200(294)
0	0.51	4750(333)
0	0.44	5900(413)
0	0.39	6820(205)
1	0.53	4380(307)
1	0.39	4460(313)
1	0.41	6200(434)
1	0.35	8440(591)

위의 자료로부터 유도된 복합선형회귀통계는 다음과 같다.

$$(y') = 14670 - 132(X1) - 19470(X2) \text{ psi}$$

$$(r) = 0.96$$

위의 식으로부터 아래의 조건아래 다음의 압축강도가 예측될 수 있다.

지역의(1)의 골재를 사용할 때 약간의 강도의 향상이 있다. 위의 예는 단순화된 반면 좀 덜 명확한 상태로 되었다.

골재산지	물-시멘트비	압축강도, psi(Kg/cm ²)
산지(1)	0.40	6880(482)
산지(2)	0.40	6750(473)

2. 4 품질관리표(Quality Control Charts)

히스토그램(Histogram, 시간에 다른 강도시험의 도시)을 이용하면 가시적 효과때문에 고강도 콘크리트에 대해서 품질 관리체계에 효과적일 수 있다. 특히 히스토그램은 천천히 발생하는 변화에 대해 유용하며(여름과 겨울의 날씨의 효과와 같이) 나아가 Batching시설의 검사와 같은 민감한 에러에서도 유용하다. 각각의 시험값을 표시하는 것도 유용하지만, 다섯 또는 열개의 시험값의 변동하는 평균값의 경향해석에 좀더 적합한 값이 될수 있다.

3. 요 약

고강도 콘크리트를 위한 적합한 품질관리를

위하여 통계적 방법이 사용될수 있는데 이는 가변성의 측정으로서 표준편차의 사용외에 단순 또는 선형회귀와 같은 통계적인 기술이 콘크리트 강도에 있어서 변화를 초래하는 변수들을 해석하는 수단을 제공할 수 있기 때문이다.

그리고 한번 사용된 변수들은 관리의 대상이 되고 통계적인 방법에 의한 되풀이는 품질을 향상시키고 신용도를 높일수 있어, 국내에서도 앞으로서의 고강도 콘크리트 품질관리를 위하여 이러한 통계적 방법이 보다 널리 이용되리라 의심치 않는다.

4. 참고 문헌

- 1) Anderson F. David, "Statistical Controls for High Strength Concrete", ACI SP. 87-6.
- 2) 건설부, "건축공사 표준시방서", 대한건축학회, 1986.
- 3) Mendenhall, "Introduction to Probability and Statistics." 5th ed. Duxbury press, 1979.

投稿를 환영합니다

「레미콘」誌는 讀者 여러분을 筆者로 招待합니다. 많은 投稿로서 本誌를 빛내주시기 바랍니다.

內 容

1. 레미콘工業 및 관련分野의 品質 · 技術研究
2. 經濟, 經營 및 法律關係論文
3. 國內外業界消息, 動靜, 提言 등
4. 海外技術情報 및 論文翻譯

○原稿枚數

200字 원고지로 自由

○마 감 일

수시

○기 타

관련 사진, 도표 동봉 요망
掲載된 원고는 協會所定の 稿料支給.

○제 출 처

서울 · 江南區 驛三洞 832-2
한국레미콘工業協會 企劃課