

# 고성능 감수제(지연형) 및 고성능 AE 감수제 개발과 콘크리트 물성적용에 관한 실험적 연구

성길모\* · 이재환      노재성

〈한일시멘트(주) 대전연구소〉    〈충남대 정밀공업화학과〉

## 2. 원재료 특성

### 1. 서론

본연구는 콘크리트의 성능향상을 위한 일환으로 고성능 감수제(지연형) 및 고성능 AE 감수제를 개발하고자 하였다. 본연구에서 제조한 고성능 감수제(지연형)는 나프탈렌 설폰산 축합물계와 Copolymer를 합성하여 혼합제조하였고, 고성능 AE 감수제는 나프탈렌 설폰산 축합물계와 Polyol계를 혼합하여 제조하였다. 그리고 물성적용시험은 Mini-slump cone 적용시험을 통한 Cement paste의 유동성에 대한 경시변화와 콘크리트 적용시험을 통한 공기량, 압축강도 및 슬럼프 경시변화 등을 측정하여 성능을 확인하였다.

현재 국내에서 시판되는 고성능 감수제(지연형)와 고성능 AE 감수제의 콘크리트 경시변화에 대한 성능은 아직 낮은 수준으로서 향후 고강도 콘크리트의 품질향상을 위해서는 콘크리트의 슬럼프에 대한 경시변화가 적은 혼화제의 개발이 요구되어 진다. 따라서 국내 각 혼화제 제조회사와 몇몇 대학에서 연구활동이 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

### 2.1 혼화제

〈표 1〉은 본 연구에서 사용한 혼화제의 원재료로서 NSF와 MA는 연구소 합성시료이며 P, M-150 및 M-2000WHZ은 시중품을 사용하였다. 또한 〈표 2〉는 지연형 고성능 감수제와 고성능 AE 감수제의 제조형태이다.

혼화제 종류별 혼합형태

〈표 2〉 (단위 : wt%)

구 분	혼 합 형 태
고성능감수제(지연형)	NM NSF+MA
고성능AE감수제	NP1 NSF(93)+P1(7)
	NP2 NSF(85)+P2(15)
	NP3 NSF(82)+P3(18)

시멘트 화학적 특성

〈표 3〉

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss
21.79	4.53	3.99	62.41	2.31	2.53	0.92

고성능 감수제 원재료 특성

〈표 1〉

원 재 료	성상	pH	고형분(%)	점도(cP)	비고
Naphthalene Sulfonated Formalene(NSF)	Liquid	8±1 (40% 수용액)	40	30~60	연구소합성시료
Maleic anhydride & Acryl acid(MA)	Liquid	4.5±0.5 (40% 수용액)	40	16~20	연구소합성시료
P(Polyol계 고분자)	Liquid	5.5~7.5 (1% 수용액)	-	260~340	HM사
M-150(NSF계)	Liquid	8±1 (40% 수용액)	40	30~60	MK사
M-2000WHZ(Polymer)	Liquid	8±1 (20% 수용액)	20	1~30	MK사

시멘트 물리적 특성

<표 4>

안정성(%)	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간(hr)		압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			비중
		초결	초결	3일	7일	28일	
0.10	3,247	4:08	6:01	218	254	367	3.15

잔골재 및 굵은 골재의 특성

<표 5>

종류	비중	흡수율	용중(kg/m <sup>3</sup> )	조립율	마모율(%)
잔골재	2.57	1.85	1560	2.80	-
굵은골재	2.61	0.92	1530	7.01	19.2

2.2 시멘트 및 골재

1) 시멘트

<표 3>과 <표 4>는 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 물리·화학적 특성이다.

2) 골재

<표 5>는 콘크리트 적용시험시 사용한 골재의 특성으로서 잔골재는 금강 모래이며 굵은 골재(25mm)는 대전석산 골재를 사용하였다.

3. 시험방법

1) 시멘트 paste의 유동성

Mini-slump cone (H:2.25, Base:D1.5 & Top :D 0.75inch)에 의한 유동성 시험은 시멘트 paste에 혼화제를 첨가하여 시간경과에 따른 유동성 변화를 확인하였다.

2) 굳지않은 콘크리트 유동성

콘크리트 배합비와 혼화제 첨가량의 차이가 유동성에 미치는 영향을 확인하였다.

3) 압축강도

굳지않은 콘크리트의 유동성 지연이 가능한 혼화제를 사용하였을때 콘크리트의 강도발현이 되지 않으면 사용할 수 없기 때문에 혼화제 원재료가 압축강도에 미치는 영향을 확인하였다.

4. 시험결과

4.1 시멘트 paste의 유동성 경시변화(Mini-slump cone적용)

1) 혼화제 원재료가 미치는 영향

<표 6>은 혼화제 원재료 종류별 시험결과로서 <그림 1>에서 보는바와 같이 경과시간에 따른 유동성 loss는 NSF가 가장 크고 MA와 P는 Plain과 유사한 경향의 유동성 loss율을 나타내어 MA와 P는 유동성 유지성능을 갖는 것으로 생각된다.

2) 혼화제 종류별 경시변화

<표 7>은 혼화제 종류별 시험결과이고 <그림 2>에서 보는바와 같이 NP 3가지와 NM 모두 경과시간별 유사한 경향의 유동성 loss율을 나타내었고 NP1, NP2 및 NP3 3가지 가운데 P의 량이 증가된 NP3로 갈수록 120분 경과시, 유동성 loss가 적은 경향으로 나타났다.

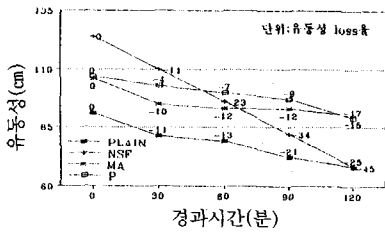
3) 시중품과의 비교

<표 8>은 시중품 혼화제의 시험결과이고 <그림 3>에서 보는바와 같이 나프탈렌계의 고성능 감수제인 NSF와 M-150은 경과시간별 유동성 loss가 크고 지연성분을 함유한 NM과 NP1은 유동성 유지를 해주는 것으로 나타났다. 그러나 M-200WHZ은 시간이 경과할수록 유동성이 증가 되었는데 이 경우에는 오히려 과대한 응결지연이 일어날 수 있을 것이다.

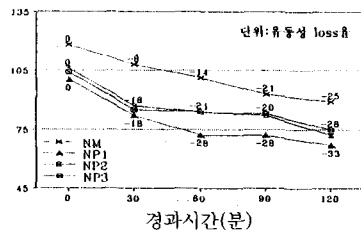
4.2 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 경시변화

1) 혼화제 종류별 경시변화

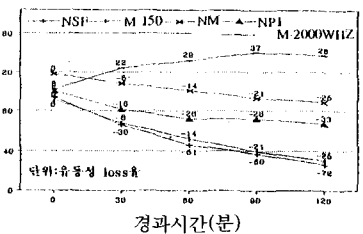
<표 9>는 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 <그림 4>에서 보는바와 같이 본 연구에서 제조한 지연형 고성능 감수제를 콘크리트에 적용, 경과 시간별 슬럼프



〈그림 1〉 혼화제 원재료 종류에 따른 경과시간별 유동성



〈그림 2〉 혼화제 종류별 경과시간에 따른 유동성



〈그림 3〉 시중품 혼화제의 유동성

혼화제 원재료 별 유동성 비교

〈표 6〉

구 분	W/C (%)	혼화제 (Cxwt%)	경과시간별 유동성 (cm)				
			0	30분	60분	90분	120분
Plain	48	-	91	81	79	72	68
NSF	40	1.37	124	110	96	82	68
MA	47	1.0	106	95	93	93	90
P	49	1.0	107	103	100	97	89

혼화제 종류별 유동성 비교

〈표 7〉

구 분	W/C (%)	혼화제 (Cxwt%)	경과시간별 유동성 (cm)				
			0	30분	60분	90분	120분
NM	38	2.0	118	108	101	93	89
NP1	35	1.5	100	82	72	72	67
NP2	39	1.5	106	87	84	82	72
NP3	40.5	1.5	104	85	84	83	75

시중품과의 유동성 비교

〈표 8〉

구 분	W/C (%)	혼화제 (Cxwt%)	경과시간별 유동성 (cm)				
			0	30분	60분	90분	120분
NSF	35	1.0	94	66	46	37	26
M-150	35	1.0	91	68	52	39	30
NM	38	2.0	118	108	101	93	89
NP1	35	1.5	100	82	72	72	67
M-2000 WHZ	35	1.0	102	124	132	140	137

변화는 NM과 NP2가 슬럼프 loss율이 가장 작은데 반해 NP3는 급격한 슬럼프 저하를 일으켰다. 경시변화에 유리한 슬럼프 조건은 초기 슬럼프가 커야 경시변화가 적는데 본 시험에서는 초기 슬럼프가 낮기 때문에 그로인한 슬럼프 저하가 크게 일어난 것으로 생각되어 진다.

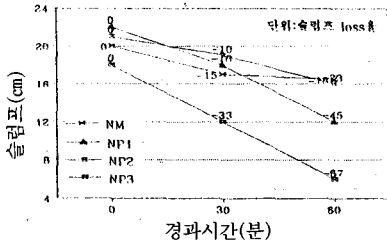
2) 배합조건 및 혼화제 사용량 차이에 따른 경시변화 〈표 10〉은 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 〈그림 5〉에서 보는바와 같이 혼화제의 사용량이 증가할수록 경시변화가 작은 경향으로 나타났고 또한 W/C의 비가 감소할수록 경시변화가 큰 것이 일반적 특성인데 반해 본 시험에서는 반대의 경향으로 나타났다. 그 이유는 고성능 감수제의 사용량이 증가되어 W/C 비가 감소된 그 이상만큼 분산성을 보상에 주었기 때문으로 생각된다.

3) 시중품과의 비교

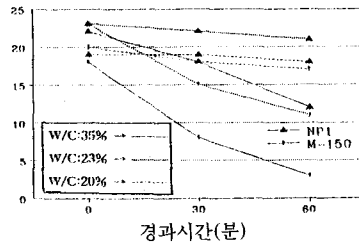
〈표 11〉은 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 〈그림 6〉에서 보는바와 같이 M-150은 경과시간에 따른 급격한 슬럼프 저하를 가져왔고 NM, NP2 및 M-2000WHZ은 슬럼프 loss가 작은 경향을 보였다. Mini-slump 시험결과에서 시간이 경과될수록 유동성이 증가되던 M-2000WHZ이 콘크리트 적용시험에서는 감소하는 경향으로 나타났는데 슬럼프 loss가 너무 작기 때문에 응결 지연 현상이 일어나 초기강도 저하가 예상된다.

4.3 압축강도

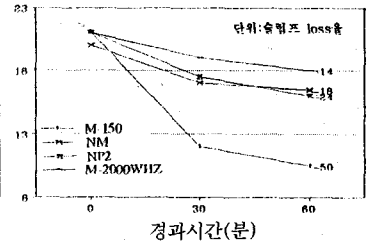
1) 혼화제 종류별 압축강도



〈그림 4〉 혼화제 종류별 경과시간에 따른 슬럼프 변화



〈그림 5〉 배합조건 및 혼화제 사용량 차이에 따른 경과시간별 슬럼프 변화



〈그림 6〉 경과시간에 따른 시중품과의 슬럼프 비교

혼화제 종류별 슬럼프 경시변화

〈표 9〉

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m <sup>3</sup> )					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	S	G	경과시간별 슬럼프 (cm)				
							0		30분	60분	
NM	37	39	169	457	687	1092	2.0	20	17	16.5	
NP1	35	40	175	500	685	1035	1.0	22	18	12	
NP2	35	40	160	457	768	1034	2.16	21	19	16	
NP3	35	40	175	500	685	1035	1.2	18	12	6	

배합조건 및 혼화제 사용량에 따른 슬럼프 경시변화

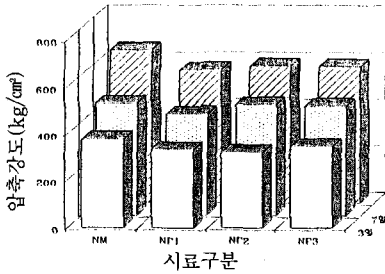
〈표 10〉

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m <sup>3</sup> )					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	S	G	경과시간별 슬럼프 (cm)				
							0		30분	60분	
NP1	35	40	175	500	685	1035	1.0	22	18	12	
M-150	35	40	175	500	685	1035	1.0	18	8	3	
NP1	23	40	150	650	622	1008	3.5	23	22	21	
M-150	23	40	150	650	622	1008	3.5	23	15	11	
NP1	20	39	135	670	652	1028	6.0	19	19	18	
M-150	20	39	135	670	652	1028	6.0	20	18	17	

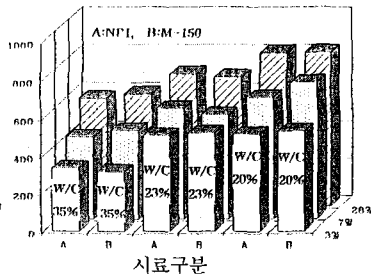
시중품과의 슬럼프 경시변화 비교

〈표 11〉

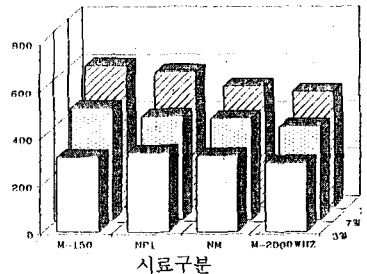
구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m <sup>3</sup> )					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	S	G	경과시간별 슬럼프 (cm)				
							0		30분	60분	
M-150	35	43	160	457	768	1034	1.5	21	12	10.5	
NM	37	39	169	457	687	1092	2.0	20	17	16.5	
NP2	35	43	160	457	768	1034	2.16	21	17.5	16	
M-2000WHZ	40	39	177	444	611	1056	1.0	21	19	18	



〈그림 7〉 혼화제 종류별 압축강도 비교



〈그림 8〉 배합조건 및 혼화제 사용량에 따른 압축강도 비교



〈그림 9〉 시중품과의 압축강도 비교

혼화제 종류별 배합비 및 시험결과

〈표 12〉

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m³)					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	S	G	압축강도 (kg/cm²)				
							3일		7일	28일	
NM	35	40	175	500	685	1035	1.2	378	478	652	
NP1	35	40	175	500	685	1035	1.2	334	434	570	
NP2	35	43	160	457	768	1034	2.16	332	474	586	
NP3	35	40	175	500	685	1035	1.2	349	468	585	

배합조건 및 혼화제 사용량에 따른 시험결과

〈표 13〉

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m³)					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	Meta kaoline	S	G		압축강도 (kg/cm²)		
									3일	7일	28일
NP1	35	40	175	500	-	685	1035	1.0	334	434	570
M-150	35	40	175	500	-	685	1035	1.0	315	470	596
NP1	23	40	150	650	-	622	1008	3.5	508	588	699
M-150	23	40	150	650	-	622	1008	3.5	521	555	683
NP1	20	39	135	670.5	67.5	652	1028	6.0	517	643	809
M-150	20	39	135	670.5	67.5	652	1028	6.0	531	721	813

시중품과의 시험비교

〈표 14〉

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m³)					혼화제 (Cxwt%)	시 험 결 과		
			W	C	S	G	압축강도 (kg/cm²)				
							3일		7일	28일	
M-150	35	40	175	500	685	1035	1.0	315	470	596	
NP1	35	40	175	500	685	1035	1.0	334	434	570	
NM	40	37	177	443	611	1056	1.2	322	425	510	
M-2000WHZ	40	37	177	443	611	1056	1.0	290	393	486	

〈표 12〉는 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 〈그림 7〉에서 보는바와 같이 지연형 고성능 감수제인 NM이 강도발현에 가장 좋은 효과를 나타내었는데 그 이유는 공기연행이 없었기 때문에 그만큼 강도가 높았으며 고성능 AE 감수제인 NP1, NP2 및 NP3의 시료가 NM보다 2%이상 공기연행이 되고 또한 약간의 배합비 차이는 있지만 서로 유사한 경향의 강도발현을 나타내었기 때문에 본 연구에서 제조한 혼화제가 시멘트의 수화에 악영향을 끼치지 않는 것으로 생각된다.

### 2) 배합조건 및 혼화제 사용량 차이에 따른 압축강도

〈표 13〉은 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 〈그림 8〉에서 보는바와 같이 W/C의 비가 감소할수록 압축강도가 증가되는 일반특성이 본 시험에서도 나타났으며 지연형 고성능 감수제인 NP1과 표준형 고성능 감수제인 M-150을 W/C의 비를 감소시키면서 혼화제 사용량을 증가하여 서로 비교한 결과 지연특성을 갖는 NP1의 강도발현은 정상적으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제조한 혼화제가 콘크리트 압축강도 발현에는 악영향을 주지않는 것으로 생각된다.

### 3) 시중품과의 비교

〈표 14〉는 콘크리트 배합비 및 시험결과이고 〈그림 9〉에서 보는바와 같이 표준형 고성능 감수제인 M-150과 지연형 고성능 감수제인 NM을 비교해 보면 M-150의 압축강도가 더 높는데 그 이유는 W/C의 비가 M-150이 더 낮기 때문에 차이를 보이는 것으로 생각되어 지고 고성능 AE 감수제인 NP1과 M-2000WHZ를 서로 비교해 보면 M-2000WHZ의 압축강도 발현이 낮는데 경시변화 시험에서 예상했던 응결지연으로 인한 강도저하가 발생한 것으로 생각된다. 반면 M-2000WHZ이 NP1보다 W/C의 비가 높기 때문에 강도저하를 생각할 수 있으나 M-2000WHZ은 공기연행이 되지 않았기 때문에 NP1보다 약3%이상의 공기량 차이를 보이므로 그로 인해 강도 차이가 적을 것으로 예상할 수 있고, 동일한 W/C의 비로 시험한 결과 역시 압축강도 차이를 확인할 수 있었다.

## 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 시멘트 유동성 유지를 위해 무수말레인산계 및 Polymer계의 지연형 고성능 감수제를 제조하여 물성 적용시험을 한 결과 다음과같은 결론을 얻었다

- 1) 본 연구에서 제조한 혼화제가 시멘트 paste 적용 시험시 paste의 유동성 유지를 하는 것으로 나타났다.
- 2) 굳지않은 콘크리트 적용시험시 슬럼프 유지는 콘크리트 배합조건, 혼화제의 사용량 및 혼화제의 성능이 슬럼프 유지의 중요인자로 나타났다.
- 3) 콘크리트의 W/C의 비가 40, 35, 23, 20%인 배합조건에 적용한 결과 압축강도 발현에 나쁜 영향을 주지않는 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구에서 제조한 지연형 고성능 감수제와 고성능 AE 감수제를 시중품과 비교시 감수, 유동성, 슬럼프 유지 그리고 압축강도등의 일반적 특성은 큰 차이없이 유사한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 지연형 고성능 감수제 및 고성능 AE 감수제를 개발하여 단편적 특성에 한정, 물성 적용시험을 하였기 때문에 향후 시험계획은 이를 보완하여 다음과 같은 사항에 대한 연구를 계속 진행하고자 한다.

- 무수말레인산계 및 Polymer계의 적절한 제조조건 설정을 하여 지연형 고성능 감수제의 성능향상과 또한 여기에 공기연행제를 혼입하여 고성능 AE 감수제의 제조가 필요하다.
- 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 유지를 위해 배합비별 혼화제를 제조하고 그에 따른 표준 사용량 선정 시험이 필요하다.
- 고성능 AE 감수제의 공기연행성에 대한 연구와 또한 혼화제 적용시의 콘크리트 길이변화, 동결융해 저항성 및 내구성에 대한 물성적용시험이 필요하다.
- 본 연구에서는 실험실적 조건하에서 적용시험한 결과이므로 이를 바탕으로 현장조건 및 서중 콘크리트 적용시험을 통하여 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 유지 등의 특성을 확인하여야 한다.