

高強度 철근콘크리트 보의 剪斷終局強度 算定式의 제안

The Study on the Formula of Ultimate Shear strength of Reinforced High-Strength Concrete beams.

박 기 철\* 정 현 수\*\*  
Park, Ki Choul Chung, Heon Soo

\*\*\*\*\*

A B S T R A C T

The purpose of this paper is to suggest the equations that are able to predict the ultimate shear strength of the reinforced high-strength concrete beams. For this analysis, total of 83 rectangular beams were tested, and existing data of 400 was adopted. Through this analysis, the following equations are obtained.

a) Shear Tensile Failure Equation :

$$\tau V_u = \{K_1 \cdot K_2 (3.02 \sqrt{F_c} / \sqrt{a/d} + 1.74 P_t) + (0.18a/d + 0.567) P_{w w} \sigma_y\} b d$$

b) Shear Compressive Failure Equation :

$$c V_u = \{(29.85 \sqrt{F_c} - 130) \sqrt{a/d} + (0.089 \sqrt{a/d} + 0.04) P_{w w} \sigma_y\} b d$$

\*\*\*\*\*

1. 序 論

최근 鐵筋 콘크리트조 建築物이 高層化됨 따라 高強度 콘크리트와 鐵筋의 사용이 불가피 하게 되고 있다. 재료의 高強度화는 기존의 剪斷破壞 Mode양 상을 變化시키기 때문에 剪斷終局強度에 미치는 각 인자들의 영향을 재평가 해야한다. 剪斷補強筋의 拘束力( $P_{w w} \sigma_y$ )이 적은 범위에서는 剪斷補強筋이 降伏強度에 도달한 후 剪斷引張破壞하기 때문에 補強筋 拘束力의 효과를 모두 발휘하는 剪斷引張破壞 Mode를 나타내며, 剪斷補強筋 拘束力이 큰 경우에는 剪斷補強筋이 降伏強度에 도달하기 이전에 콘크리트 壓縮부분이 剪斷壓縮破壞를 일으키기 때문에 剪斷補強筋의 拘束능력을 전부 발휘하지 못하는 剪斷壓縮破壞 Mode를 나타낸다. 따라서, 剪斷終局強度를 산출하기 위해서는 剪斷引張破壞와 剪斷壓縮破壞 Mode로 분리해서 剪斷補強筋의 拘束力 效果를 評價해야 하며, 또한 剪斷補強筋의 拘束力 效果는 剪斷스팬比(a/d), 剪斷補強筋의 降伏強度( $w \sigma_y$ ), 콘크리트 壓縮強度등에 따라 다르게 나타내고 있다. 本 研究에서는 콘크리트 壓縮強度( $F_c$ ) 180~1200 kg/cm<sup>2</sup>, 剪斷補強筋의 降伏強度( $w \sigma_y$ ) 3000~14000 kg/cm<sup>2</sup>, 剪斷補強筋 拘束力( $P_{w w} \sigma_y$ ) 0~200 kg/cm<sup>2</sup> 범위까지 포함하는 高強度 철근콘크리트 보에 있어서 기존 剪斷實驗 Data 400여個와 本 研究室에서 剪

斷實驗한 83個의 Data分析을 통해서 剪斷引張破壞와 剪斷壓縮破壞 Mode로 분리해서 剪斷終局強度 算定式을 提案하고자 한다.

2. 剪斷終局強度에 미치는 영향인자.

2.1 剪斷引張破壞 Type

$$V = V_{Arch} + V_{Truss}$$

$$F_c, a/d, P_t \quad P_{w w} \sigma_y, a/d$$

剪斷引張破壞는 剪斷補強筋 拘束力이 比較的 적은 범위에서 剪斷補強筋이 降伏하면서 破壞되는 형태를 말하고, 이들 가운데에는 크게 다음과같이 분류한다.

i)  $V_{Arch}$

鐵筋콘크리트 보에서 일반적으로 剪斷補強筋이 없는 경우, 剪斷力을 받을때 剪斷스팬比가 2.5보다 큰 보는 剪斷初期크랙이 發生한 後 곧이어 剪斷終局強度에 到達한다. 그러나, 剪斷스팬比가 2.5보다 작은 境遇에는 Arch Action에 의해서, 剪斷스팬比가 작을 수록, 콘크리트 壓縮強度가 클 수록 어느 정도까지는 剪斷耐力는 상승한다.

\*정회원 중앙대학교 건축학과 박사과정

\*\*정회원 중앙대학교 건축학과 교수, 공박

\* 本 論文은 1990년도 한국 학술진흥의 자유공모 과제 학술연구 조성비에 의해 이루어 졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

ii)  $V_{Truss}$

剪斷初期크랙이 發生한 後에는 剪斷補強筋이 剪斷力을 부담하게 된다. 剪斷力은 剪斷補強筋比( $P_w$ )와 剪斷補強筋의 降伏強度( $w\sigma_y$ )에 따라 부담할 수 있는 양은 달라지며, 同一한 剪斷補強筋 拘束力에서 도 剪斷補強筋의 降伏強度와 剪斷스팬比에 따라 剪斷補強筋의 拘束力 效果도 달라진다.

2.2 剪斷壓縮破壞 Type

$$V = V_{Arch} + V_{Truss}$$

$$\begin{matrix} | & | \\ F_c, a/d & P_w, w\sigma_y, a/d, F_c \end{matrix}$$

剪斷壓縮破壞는 剪斷補強筋의 拘束力이 40~50  $kg/cm^2$  以上으로 比較的 큰 범위에서 剪斷補強筋이 降伏하기 以前에 콘크리트 壓縮部分이 剪斷壓縮破壞하는 것을 말한다.

i)  $V_{Arch}$

$V_{Arch}$ 는 콘크리트 壓縮強度가 클 수록 剪斷스팬比가 작을 수록 增加한다.

ii)  $V_{Truss}$

剪斷補強筋 拘束力의 效果는 剪斷補強筋이 降伏하기 以前에 剪斷壓縮破壞하기 때문에 剪斷引張破壞時보다 效果를 충분히 발휘하지 못한다. 또한 剪斷補強筋 拘束力이 부담하는 剪斷力은 壓縮強度가 클 수록 增加한다.

3. 高強度 R.C보의 剪斷終局強度 算定式

3.1 剪斷引張破壞形 보의 剪斷終局強度

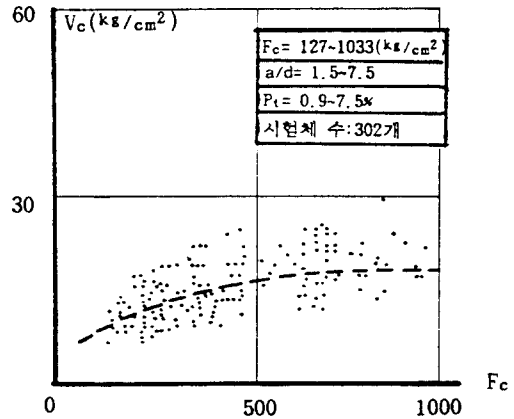
1)  $V_{Arch}$

剪斷初期크랙응력은 剪斷補強筋 拘束力에 關係없이 콘크리트 壓縮強度, 剪斷스팬比, 引張鐵筋比에 影響을 받는다. 剪斷強度에 있어서  $V_{Arch}$ 에 대한 評價는 本 研究室에서 기준에 發表한 論文<sup>1)</sup>을 토대로 하였다. (그림1)은 剪斷初期크랙應력과 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로, 剪斷初期크랙應력은 콘크리트 壓縮強度가 增加할 수록 壓縮強度의 3제곱근에 比例하는 것을 알 수 있다.

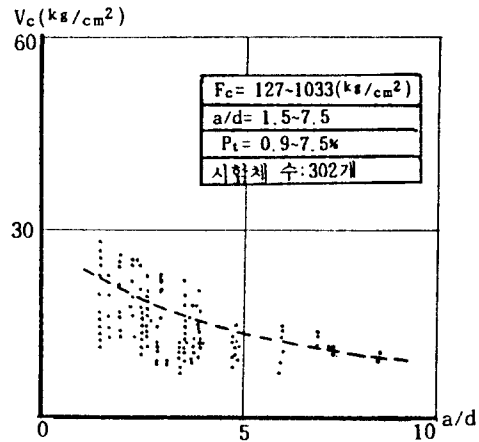
(그림2)는 剪斷初期크랙應력과 剪斷스팬比와의 關係를 나타낸 것으로, 剪斷初期크랙應력은 日本建築學會式에서 평가한  $a/d$ 보다는 오히려  $\sqrt{a/d}$ 에 反比例하는 것을 알 수 있다.

(그림3)은 剪斷初期크랙應력과 引張鐵筋比와의 關係를 나타낸 것으로, 剪斷初期크랙應력은 引張鐵筋比가 增加할 수록 直線的으로 增加하고 있다.

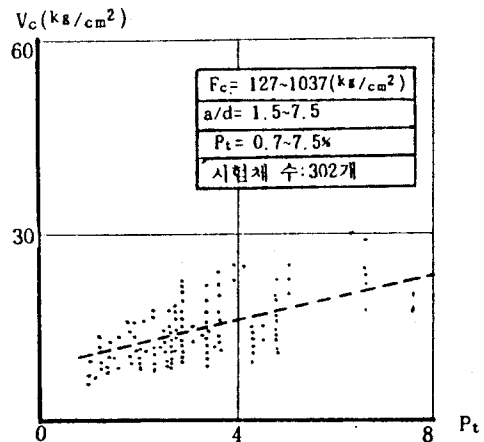
$V_{Arch}$ 는 위에서 言及한 3개의 因子, 즉  $\sqrt[3]{F_c}$ ,  $\sqrt{a/d}$ ,  $P_t$ 들이 서로 複合的인 相關關係를 이루고 있으며, (그림4)에는 이들 3개의 變數들에 對한 相關關係를 나타낸 것이다.



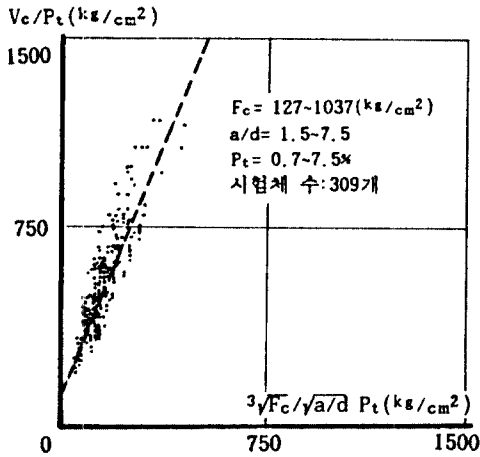
(그림 1) 전단 초기크랙응력과  $F_c$ 와의 관계



(그림 2) 전단 초기크랙응력과  $a/d$ 와의 관계



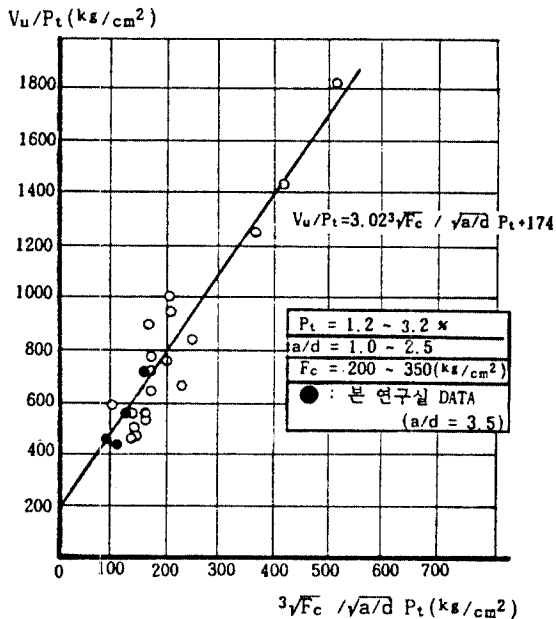
(그림 3) 전단 초기크랙응력과  $P_t$ 와의 관계



(그림 4)  $V_c/P_t$  와  $3\sqrt{F_c}/\sqrt{a/d} P_t$  의 관계

$$V_c = 2.77(3\sqrt{F_c} / \sqrt{a/d} P_t) + 1.22 P_t (\%) \quad \text{--(1)식}$$

(그림5)는 剪斷補強筋이 없는 경우에 역대칭 剪斷 가력방법에 의해 실험해 얻은 剪斷終局強度를 콘크리트 壓縮強度, 剪斷스팬비, 引張철근비와의 관계로 나타낸 것이다.  $V_u/P_t$ 는  $3\sqrt{F_c}/\sqrt{a/d} P_t$ 에 거의 직선적으로 비례하는 것을 알 수 있다. ●은 본 연구실에서 단순보 가력방법에 의해 剪斷실험한 Data로서 剪斷스팬비가 2.5미만이면 가력방법에 의한 Arch Action의 영향이 거의 없는것으로 생각된다.

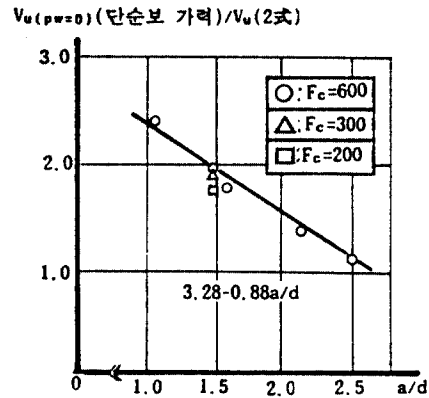


(그림 5)  $V_u/P_t$  와  $3\sqrt{F_c}/\sqrt{a/d} P_t$  의 관계

$$V_u = 3.02 \frac{3\sqrt{F_c}}{\sqrt{a/d}} + 1.74P_t \quad \text{--(2)식}$$

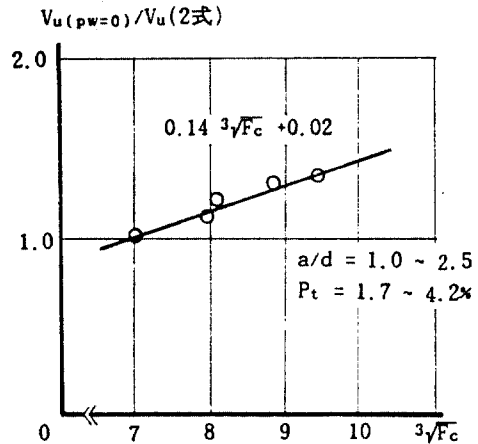
(그림6)은 단순보 가력방법에 의해 剪斷補強筋이 없는 경우에 실험한 剪斷終局強度를  $V_u(2式)$ 으로 나누어 무차원 시킨 값과 a/d의 관계를 콘크리트

強度별로 나타낸 것이다. 단순보가력시 剪斷終局強度는 역대칭 전단가력시 전단중극강도보다 剪斷스팬비가 감소할 수록 거의 직선적으로 비례해서 증가하고 있다. 이것은 단순보가력시가 역대칭가력시보다 Arch Action에 의한 영향이 크기때문으로 사료된다.



(그림 6)  $V_u(pw=0)/V_u(2式)$  와 a/d 관계

(그림7)은 콘크리트 壓縮強度 상승에 따른 Arch Action의 영향을 파악하기 위한 그림이다. Arch Action에 의한 영향은 콘크리트 壓縮強度의 세제급근에 비례해서 증가하고 있다.



(그림 7)  $V_u(pw=0)/V_u(2式)$  와  $3\sqrt{F_c}$  의 관계

$$\therefore V_{Arch} = [K_1 \cdot K_2 (3.02 \frac{3\sqrt{F_c}}{\sqrt{a/d}} + 1.74P_t)] bd$$

$K_1$ : 가력방법

연속보 :  $K_1 = 1$

단순보 :  $K_1 = (3.28 - 0.88a/d)$

$K_2$ : 壓縮強度 증가에 따른 Arch Action의 영향

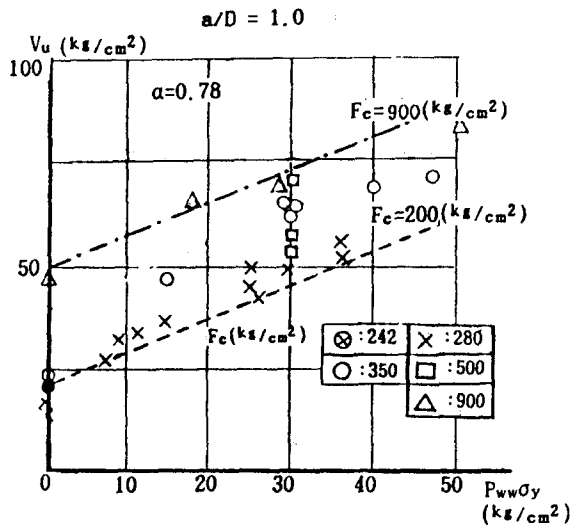
$F_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$  :  $K_2 = 1$

$F_c > 350 \text{ kg/cm}^2$  :  $K_2 = 0.14 \frac{3\sqrt{F_c}}{\sqrt{a/d}} + 0.02$

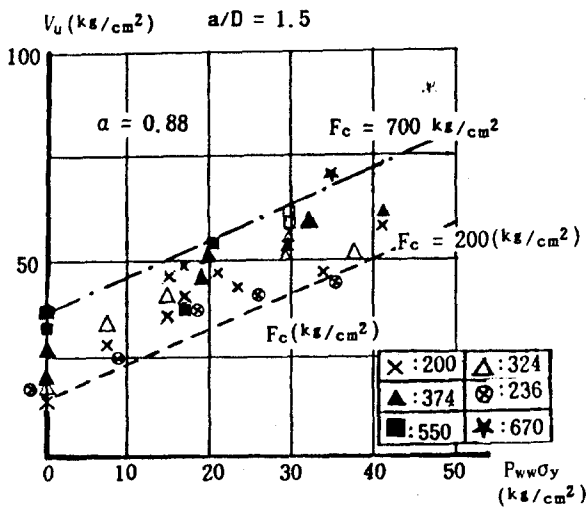
2) V<sub>Truss</sub>

i) V<sub>u</sub>와 P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub>의 관계

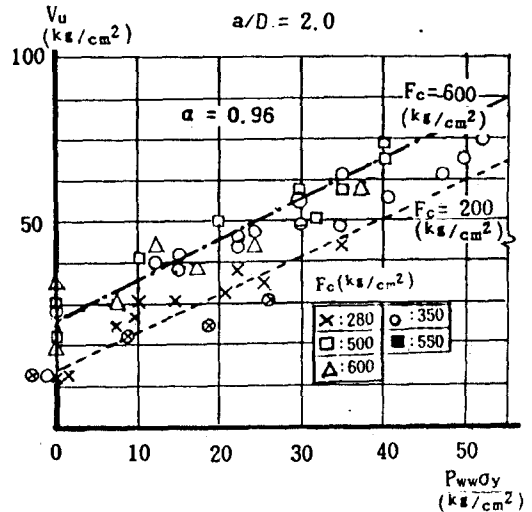
(그림8~10)은 콘크리트 壓縮強度가 200~1200kg/cm<sup>2</sup>, 剪斷補強筋 拘束力이 0~50kg/cm<sup>2</sup>의 범위에서 剪斷終局強度와 剪斷補強筋 拘束力과의 관계를 剪斷스팬비별로 나타낸 것이다. 剪斷引張破壞Mode에서 국내의 Data 156개로 회기분석한 결과, 剪斷終局強度와 剪斷補強筋 拘束力과 이루고있는 기울기는 a/D가 1.0에서 0.78, a/D가 1.5에서 0.88, a/D가 2.0에서 0.96으로 각각 나타냈다. 즉 剪斷終局強度에 미치는 剪斷補強筋의 拘束力 효과는 剪斷스팬비가 클 수록 큰것을 알수있다.



(그림 8) V<sub>u</sub> 와 P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub> 의 관계 (a/D = 1.0)



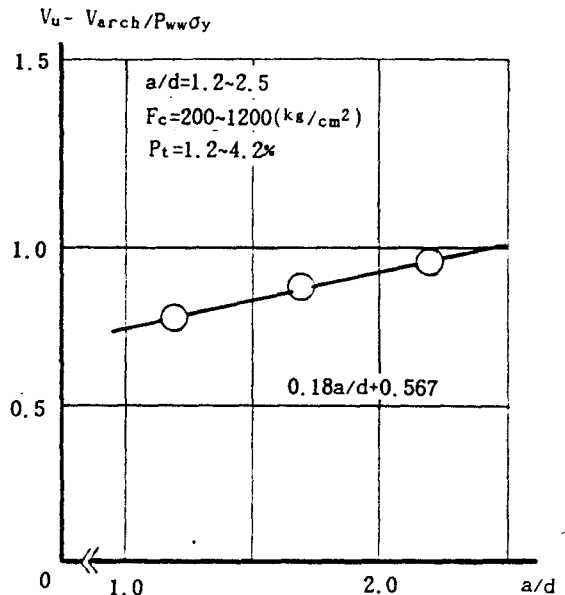
(그림 9) V<sub>u</sub> 와 P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub> 의 관계 a/D = 1.5



(그림 10) V<sub>u</sub> 와 P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub> 의 관계 (a/D = 2.0)

ii) a/d와 P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub>의 관계

(그림11)은 剪斷終局強度에 미치는 剪斷補強筋의 拘束力 효과를 剪斷스팬비별로 나타낸 것이다. 剪斷補強筋의 拘束力 효과는 剪斷스팬비가 증가할 수록 직선적으로 비례하고 있으며, 회기분석한 결과 다음과 같다.



(그림 11) (V<sub>u</sub> - V<sub>arch</sub>/P<sub>w</sub>σ<sub>y</sub>) 와 a/d 의 관계

$$\therefore V_{Truss} = [(0.18a/d + 0.567)P_{w}\sigma_y]bd$$

3) 剪斷引張破壞영 보의 剪斷終局強度 제안식

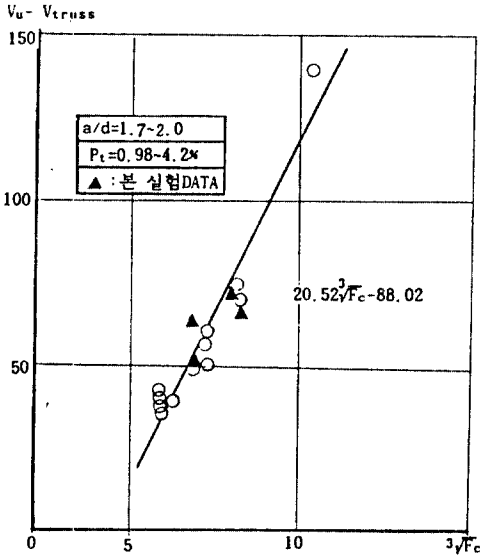
$$V_u = [K_1 \cdot K_2 (3.02^3 \sqrt{F_c} / \sqrt{a/d} + 1.74 P_t) + (0.18a/d + 0.567)P_{w}\sigma_y]bd \quad \text{-(3)式}$$

### 3.2 剪斷壓縮破壞형 보의 剪斷終局強度

1)  $V_{Arch}$

i) 壓縮強度( $F_c$ )에 대한 평가

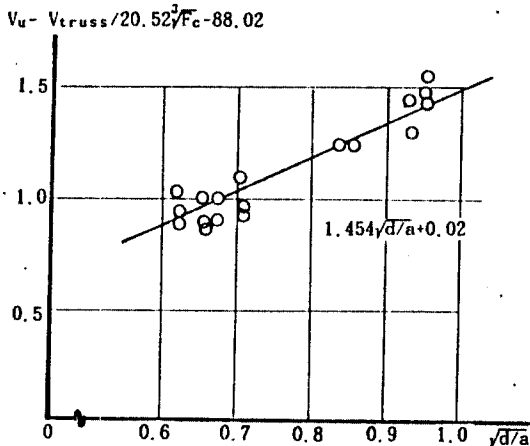
(그림12)는 剪斷終局強度에서 剪斷補強筋이 부담하는 剪斷力  $V_{Truss}$ 를 제한  $V_{Arch}$ 와 콘크리트 壓縮強度의 관계를  $a/d$ 가 1.7~2.0인 경우를 나타낸 것이다.  $V_{Arch}$ 는 콘크리트 壓縮強度가 증가할 수록 壓縮強度의 3제곱근에 비례하는 것을 알 수 있다.



(그림 12) ( $V_u - V_{truss}$ )와  $\sqrt[3]{F_c}$ 의 관계

ii)  $a/d$ 와  $F_c$ 의 관계

콘크리트 壓縮強度가 동일한 경우에 剪斷스팬비가 작을수록 剪斷終局強度  $V_{Arch}$ 는 증가한다. (그림13)은 剪斷終局強度에서  $V_{Truss}$ 를 뺀  $V_{Arch}$ 를 剪斷스팬비( $a/d$ )가 1.7~2.0인 경우의 剪斷終局強度에서  $V_{Truss}$ 를 제한 값으로 나누어 무차원 시킨 값과  $\sqrt{d/a}$ 의 관계를 나타낸 것이다.  $V_{Arch}$ 는 剪斷스팬비 역수의 제곱근에 비례하는 것을 알 수 있다.



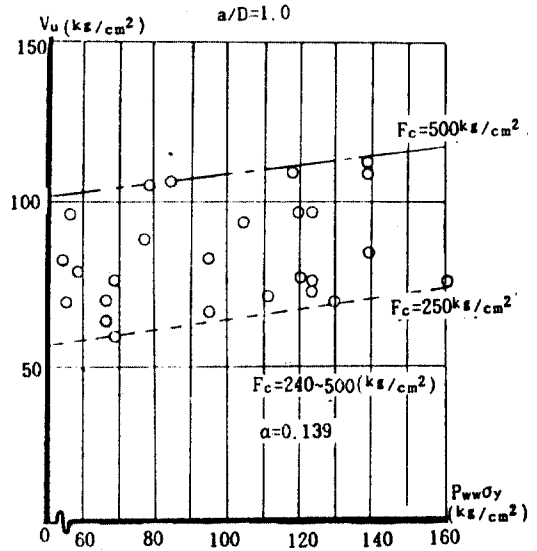
(그림 13) ( $V_u - V_{truss} / 20.52\sqrt[3]{F_c} - 88.02$ )와  $\sqrt{d/a}$ 의 관계

$$\therefore V_{Arch} = [(29.85 \sqrt[3]{F_c} - 128) \sqrt{d/a}] b d$$

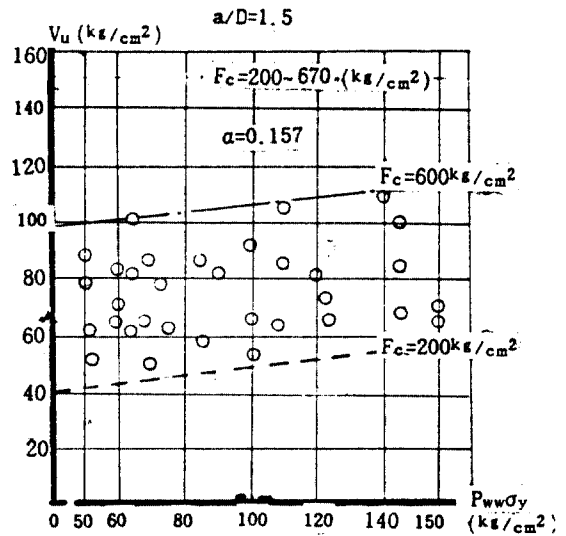
2)  $V_{Truss}$

i)  $V_u$ 와  $p_{wv} \sigma_y$ 의 관계

(그림14-16)은 콘크리트 壓縮強度가 200~1200  $kg/cm^2$  剪斷補強筋 拘束力이 50~200  $kg/cm^2$ 의 범위에서 剪斷壓縮破壞한 Data를 剪斷終局強度와 剪斷補強筋 拘束力과의 관계로 나타낸 것이다. 剪斷壓縮破壞Mode에서 국내의 109개 Data를 회기분석한 결과, 剪斷終局強度와 剪斷補強筋 拘束力과 이루고 있는 기울기는  $a/D$ 가 1.0에서 0.139,  $a/D$ 가 1.5에서 0.157,  $a/D$ 가 2.0에서 0.174로 각각 나타났다. 剪斷壓縮破壞시 剪斷補強筋의 拘束力 기울기는 剪斷引張破壞시의 기울기보다 1/5 - 1/6 정도로 감소하며, 剪斷스팬비가 증가할 수록 剪斷補強筋의 拘束力 효과는 증가하는 것으로 나타났다.



(그림 14)  $V_u$ 와  $P_{wv} \sigma_y$ 의 관계 ( $a/D=1.0$ )



(그림 15)  $V_u$ 와  $P_{wv} \sigma_y$ 의 관계 ( $a/D=1.5$ )

#### 4. 結論

本論文은 高強度 철근콘크리트 보에 있어서 기존 剪斷 實驗 Data 400여개와 본 연구실에서 剪斷 실험 한 83개의 Data 분석을 통해서 剪斷引張破壞와 剪斷 壓縮破壞 Mode로 나누어서 다음과 같은 剪斷終局強度 算定式을 얻었다.

##### 1) 剪斷初크릭應力 算定式

$$V_c = [(2.77(3\sqrt{F_c}/\sqrt{a/d} \cdot P_t) + 1.22P_t)]bd$$

##### 2) 剪斷引張壞型 보의 剪斷終局強度 算定式

$$\tau V_u = [K_1 \cdot K_2 (3.02 \cdot 3\sqrt{F_c}/\sqrt{a/d} + 1.74P_t) + (0.18a/d + 0.567)P_{w\omega} \sigma_y]bd$$

$K_1$ : 가력방법

연속보:  $K_1 = 1$

단순보:  $K_2 = (3.28 - 0.88a/d)$

$K_2$ : 壓縮強度 증가에 따른 Arch Action의 영향

$F_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$  :  $K_2 = 1$

$F_c > 350 \text{ kg/cm}^2$  :  $K_2 = 0.14 \cdot 3\sqrt{F_c} + 0.02$

##### 3) 剪斷壓縮破壞型 보의 剪斷終局強度 算定式

$$cV_u = [(29.85 \cdot 3\sqrt{F_c} - 130)\sqrt{d/a} + (0.089\sqrt{a/d} + 0.04)P_{w\omega} \sigma_y]bd$$

##### \* 提案式的 적용범위

i) 콘크리트 壓縮強度 ( $F_c$ )      ii) 剪斷스팬비 ( $a/d$ )

$180 \text{ kg/cm}^2 \leq F_c \leq 1200 \text{ kg/cm}^2$        $1.0 \leq a/d \leq 2.5$

iii) 剪斷補強筋 拘束力 ( $P_{w\omega} \sigma_y$ )      iv) 引張철근비 ( $P_t$ )

$0 \leq P_{w\omega} \sigma_y \leq 200 \text{ kg/cm}^2$        $P_t \leq 4.2\%$

##### \* 참고문헌

1. 이 영호, 박 기철, 정 현수, "철근 콘크리트보의 전단강도 예측에 관한 연구". 대한건축학회 학술발표논문집. 1988. 4. 23.

2. 박 기철, 이 덕한, 정 현수, "고강도 전단보강근과 콘크리트를 사용한 철근 콘크리트보의 전단강도에 관한 실험적 연구(I, II)". 대한건축학회 추계 학술발표논문집. 1990. 10월

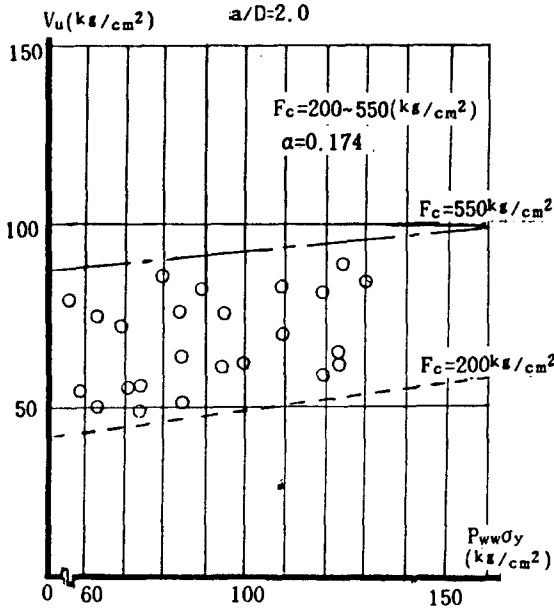
3. 윤 석훈, 박 기철, 정 현수, "고강도 전단보강근을 사용한 철근 콘크리트보의 전단성상에 관한 실험적 연구". 대한건축학회 추계 학술발표논문집. 1991. 10월

4. 福原正志, "高強度せん断補強筋を用いた鉄筋コンクリート梁のせん断終局強度に関する實驗研究". 博士學位論文, 1985.

5. 坪田修士外3名, "高強度せん断補強筋を用いたR.C梁のせん断性状に関する實驗研究". 日本建築學會大會, 1989. 10

6. 黒正清治外5名, "高強度せん断補強筋を用いたR.C梁のせん断性状に関する實驗研究". 日本建築學會大會, 1987. 10

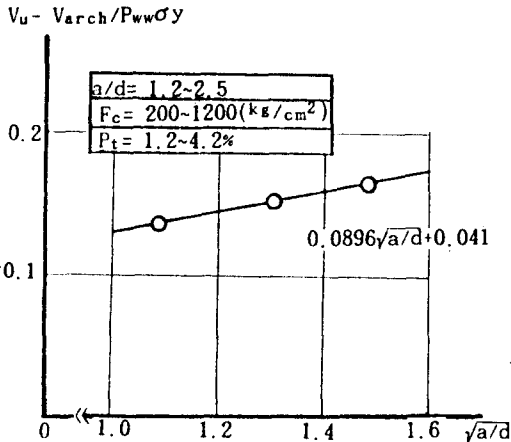
7. A. H. Mattock, "Stirrup Effectiveness in Reinforced Concrete Beams with Axial Force", ASCE, 1976.



(그림 16)  $V_u$  와  $P_{w\omega} \sigma_y$  의 관계 ( $a/D=2.0$ )

##### ii) $a/d$ 와 $P_{w\omega} \sigma_y$ 의 관계

(그림 17)은 剪斷終局強度에서  $V_{Arch}$ 를 제한 값을 剪斷補強筋 拘束力으로 나누어 무차원 시킨 값과 剪斷스팬비와의 관계를 나타냈다. 剪斷補強筋의 拘束力 효과는 剪斷스팬비의 제곱근에 비례해서 증가하고 있으며, 剪斷스팬비별 기울기를 회기분석한 결과 아래와 같은 식을 얻었다.



(그림 17) ( $V_u - V_{Arch}/P_{w\omega} \sigma_y$ ) 와  $\sqrt{a/d}$  의 관계

$$\therefore V_{Truss} = [(0.089\sqrt{a/d} + 0.04)P_{w\omega} \sigma_y]bd$$

##### 3) 剪斷壓縮破壞型 보의 剪斷終局強度 제안식

(4)식

$$V_u = [(29.85 \cdot 3\sqrt{F_c} - 130)\sqrt{d/a} + (0.089\sqrt{a/d} + 0.04)P_{w\omega} \sigma_y]bd$$